

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Охрименко С.Е.^{1,2,4}, Ильин Л.А.¹, Коренков И.П.¹, Морозов С.П.², Бирюков А.П.¹, Гомболевский В.А.², Прохоров Н.И.³, Лантух З.А.², Рыжов С.А.², Солдатов И.В.², Фомин А.А.¹**ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ**¹ГНЦ РФ ФГБУ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, 123098, Москва;²ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», 109029, Москва;³ФАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова» (Сеченовский университет), Минздрава России, 119435, Москва;⁴ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования» Минздрава России, 125993, Москва**Введение.** Радиационная безопасность при медицинском диагностическом облучении является сегодня одной из дискутируемых тем в профессиональном сообществе.**Цель исследования:** оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике на основе риск-ориентированных подходов.**Материал и методы.** Проанализированы результаты современных исследований по оценке воздействия радиации на человека, подходы к обеспечению радиационной безопасности международных организаций (МКРЗ, МАГАТЭ), современная практика лучевой диагностики и проблемы оптимизации доз облучения пациентов.**Результаты.** В статье дан подробный обзор современных научных взглядов на действие малых доз радиации, выявлены дискуссионные аспекты данной проблемы, в том числе по вопросу порога стохастических эффектов. Отмечено значение детских возрастных групп в реализации радиогенных рисков. Проведён анализ основных факторов формирования дозы медицинского диагностического облучения. Сделан вывод о том, что она формируется в основном в области диагностического облучения, в то время как ограничение (1 мЗв) распространяется только на профилактическое облучение. Это приводит к отсутствию системных подходов к разумному ограничению, оптимизации и обоснованию диагностических лучевых процедур. Показано, что значительная часть дозовой нагрузки формируется за счёт необоснованных или ошибочных направлений на исследование. Медицинское облучение имеет существенное отличие от других видов – техногенного и природного, а риск диагностического облучения конкурирует с риском отказа от лучевой диагностики. Предложен ряд мер, направленных на разумное ограничение медицинского облучения и снижение рисков стохастических эффектов при обеспечении высокого качества диагностики. В основе предложений лежит положение о снижении радиогенных рисков с увеличением возраста. Также сформулировано предложение о разработке «практических порогов» медицинского облучения для различных возрастных категорий.**Заключение.** Необходима коррекция процедуры обоснования лучевых исследований с учётом особенностей пациентов, разработка «практических порогов» медицинского диагностического облучения при приоритете качества диагностики.**Ключевые слова:** медицинское облучение; доза облучения; «симптомный» пациент; «бессимптомный» пациент; лучевая диагностика; радиационная защита; линейно-беспороговая концепция (ЛБК); зависимость «доза-эффект» (ЗДЭ); радиационно-эпидемиологическое исследование (РЭИ); канцерогенез; стохастические эффекты.**Для цитирования:** Охрименко С.Е., Ильин Л.А., Коренков И.П., Морозов С.П., Бирюков А.П., Гомболевский В.А., Прохоров Н.И., Лантух З.А., Рыжов С.А., Солдатов И.В., Фомин А.А. Оптимизация доз облучения пациентов в лучевой диагностике. *Гигиена и санитария*. 2019; 98 (12): 1331-1337. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1331-1337>**Для корреспонденции:** Охрименко Сергей Евгеньевич, кандидат мед. наук, докторант ГНЦ РФ ФГБУ «Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва. E-mail: ooniii@mail.ru**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**Участие авторов:** концепция и дизайн исследования – Охрименко С.Е., Коренков И.П.; сбор и обработка материала – Охрименко С.Е., Коренков И.П., Гомболевский В.А., Солдатов И.В., Рыжов С.А.; статистическая обработка – Лантух З.А., Фомин А.А.; написание текста – Охрименко С.Е., Коренков И.П., Гомболевский В.А.; редактирование – Ильин Л.А., Морозов С.П., Прохоров Н.И., Бирюков А.П.; утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Поступила 23.10.2019

Принята к печати 17.11.19

Опубликована: декабрь 2019

Okhrimenko S.E.¹, Ilin L.A.¹, Korenkov I.P.², Morozov S.P.³, Birukov A.P.², Gombolevskiy V.A.³, Prokhorov N.I.⁴, Lantukh Z.A.³, Ridzhov S.A.³, Soldatov I.V.³**OPTIMIZATION OF RADIATION DOSES TO PATIENTS IN X-RAY DIAGNOSTICS**¹Russian Medical Academy of Continuing Postgraduate Education Russian Ministry of Health, Moscow, 125993, Russian Federation;²A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Centre, Moscow, 123182, Russian Federation;³Scientific and Practical Clinical Centre for Diagnostics and Telemedicine, Moscow, 109029, Russian Federation;⁴I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119435, Russian Federation**Introduction.** The document analyzes the current state of issues of medical exposure of the population using methods of radiation diagnostics.**Purpose of research** is the development of approaches to optimization of radiation doses to patients, taking into account radio-susceptibility and radioresistance of different age groups exposed to medical irradiation (MI), forming radiation doses and risks of induction of long-term stochastic effects in these groups.

Material and methods. Analysis of factors affecting the formation of dose load approaches to the study of x-ray diagnostics at the present stage.

Results. The paper gives a detailed review of modern scientific views on the effect of low doses of radiation, identifies controversial aspects of this problem, including the threshold of stochastic effects. The analysis of the main factors of MI dose formation is carried out. It is concluded that it is formed mainly in the field of diagnostic irradiation, while the restriction (1 mSv) applies only to preventive irradiation. This leads to a lack of systematic approaches to the reasonable limitation, optimization, and justification of diagnostic radiation procedures. The significant part of the dose load was shown to be formed due to unreasonable or erroneous directions to the study. Medical exposure is significantly different from other types – man-made and natural, and the risk of medical exposure competes with the risk of failure of radiation diagnostics. A number of measures aimed at reasonable limitation of medical exposure and reduction of risks of stochastic effects while ensuring high quality of diagnostics are proposed. The proposals are based on the provision to reduce radiogenic risks with increasing age. It is also proposed to develop “practical thresholds” of medical exposure for different age groups.

Conclusion. The necessity of correction and approaches detailing on justification and purpose of studies in x-ray diagnostics, taking into account features of irradiated contingents, development on this basis of “practical thresholds” of MI at a priority of quality of clinical diagnostics is established.

Key words: medical exposure; radiation dose; “symptomatic” patient; “asymptomatic” patient; preventive research; diagnostic research; small doses; radiation diagnostics; radiation protection; non-threshold concept, dose-effect relationship (DER), radio-epidemiological research (RER); carcinogenesis; stochastic effects

For citation: Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Morozov S.P., Biryukov A.P., Gombolevskiy V.A., Prokhorov N.I., Lantukh Z.A., Ridzhov S.A., Soldatov I.V. Optimization of radiation doses to patients in x-ray diagnostics. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(12): 1331-1337. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-12-1331-1337>

For correspondence: Sergei E. Okhrimenko, MD, Ph.D., Ass. Prof, Russian Medical Academy of Continuing Postgraduate Education, Moscow, 125993, Russian Federation. E-mail: ooniii@mail.ru

Information about the authors: Okhrimenko S.E., <https://orcid.org/0000-0002-8282-1798>; Ilin L.A., <https://orcid.org/0000-0003-3204-3358>; Korenkov I.P., <http://orcid.org/0000-0002-5709-0858>; Morozov S.P., <https://orcid.org/0000-0001-6545-6170>; Biryukov A.P., <http://orcid.org/0000-0002-8267-7319>; Gombolevskiy V.A., <https://orcid.org/0000-0003-1816-1315>; Prokhorov N.I., <http://orcid.org/0000-0002-4510-2890>; Soldatov I.V., <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>; Fomin A.A., <https://orcid.org/0000-0002-3898-7977>

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: Concept and design of the study – Okhrimenko S.E., Korenkov I.P.; Collection and processing of material – Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Gombolevskiy V.A., Soldatov I.V., Ridzhov S.A.; Statistical processing – Lantukh Z.A., Fomin A.A.; Writing text – Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Gombolevskiy V.A.; Editing – Ilin L.A., Morozov S.P., Prokhorov N.I., Biryukov A.P.; Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all co-authors.

Received: March 19, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: December 2019

Введение

Современное представление о радиационной безопасности базируется на 3 основных принципах: нормировании, обосновании, оптимизации. Данная триада распространяется на все случаи облучения человека ионизирующим излучением (ИИ): техногенное, в условиях нормальной эксплуатации ИИ, аварийное, природное, медицинское. Указанные варианты существенно отличаются между собой по характеру воздействия: уровням доз, мощностям доз, продолжительности, геометрии облучения (тотальное, локальное, рассеянное, направленное), путям воздействия (внешнее, внутреннее). Для всех случаев результирующим является доза облучения, а для эффектов, лежащих ниже пороговых, – эффективная доза (ЭД). В свою очередь ЭД является инструментом оценки ущерба облучения – стохастических отдаленных последствий, выражающихся в радиационно-индуцированных случаях онкологических и генетических заболеваний. Риски рассчитаны и составляют примерно 5,5% на 1 Зв и применяются в соответствии с линейно-беспороговой концепцией (ЛБК) действия радиации на человека. Предполагается, что представление о риске должно распространяться на все виды облучения. Исходя из данной парадигмы, дозы от всех видов облучения необходимо снижать всеми доступными способами, невзирая на диапазон доз и вид облучения, включая и медицинское [1]. Однако медицинское диагностическое облучение (МО) нельзя отождествлять ни с одним из перечисленных видов: ни техногенным, ни аварийным, ни природным [1–5]. МО очень кратковременное, в основном в диапазоне очень малых или малых доз, при относительно высоких мощностях доз, формируемых дискретно и на протяжении всей жизни индивидуума.

Важное значение сегодня отводится диапазону доз, в котором происходит облучение или в котором находится накопленная доза и от которого зависит степень радиогенного риска

(табл. 1) [6, 7]. Основные виды процедур лучевой диагностики (ЛД) также можно распределить по условным диапазонам доз, формируемых при их проведении.

Данные исследования когорты людей, переживших атомную бомбардировку городов Хиросима и Нагасаки (получившего сокращённое обозначение LSS: Life Span Study), являются главным источником для разработки зависимости «доза-эффект» (ЗДЭ) для ИИ, на основании которых сделаны выводы о результатах воздействия различных диапазонов доз, разработаны подходы по оценке облучения при меньших дозах и мощностях доз, взвешивающие коэффициенты и т. д. [6–11, 31]. Несмотря на отсутствие данных, необходимых для построения более точных моделей ЗДЭ и понимания механизмов развития стохастических эффектов (радиационного канцерогенеза), ряда дискуссионных вопросов (как то: наличие или отсутствие порога для стохастических эффектов и др.), радиационно-эпидемиологические (РЭИ) исследования на данном этапе в целом поддерживают представление о ЛБК, основываясь на механизме действия ИИ [6].

Сведения об эпидемиологических эффектах в области очень малых и малых доз можно встретить в ряде международных документов и публикаций, описывающих облучение японской когорты LSS, профессиональных групп и населения (работники ядерной отрасли США, ликвидаторы аварии на ЧАЭС, жители районов Индии и Китая с повышенным радиационным фоном), а также детей при воздействии повышенного радиационного фона, облучении *in utero* и при проведении компьютерной томографии [6, 13, 15, 32, 34].

Наряду с позицией НКАДР ООН по вопросу о доказанности раков и лейкозов после воздействия излучения с низкой ЛПЭ в малых дозах [14, 17] следующее утверждение НКАДР гласит, что вследствие заведомой недостаточности статистической мощности исследований нет возможности доказать канцерогенные

Таблица 1

Ориентировочные диапазоны эффективных доз, характерные для различных видов лучевой диагностики, и основные радиационно-биологические эффекты [6]

Диапазон	мЗв	Лучевая диагностика	Основные радиационно-биологические эффекты
Очень малые	$5 \cdot 10^{-2}$ – 10	Флюорография Рентгенография Рентгеноскопия	ОР, возможность ДР и др. (гормезис, адаптивный ответ, клеточная гибель, апоптоз), репарация снижена
Малые	10 – 10^2	Компьютерная томография Изотопная диагностика	Эффекты очень малых доз приобретают значительно большую устойчивость и достоверность, повреждение ДНК всех типов, более достоверные данные об индукции репарации ДНК, цитогенетические повреждения, описаны эпидемиологические эффекты, отдельные данные о тканевых реакциях (?)
Средние	10^2 – 10^3	Рентгенотерапия Компьютерная томография ПЭТ-компьютерная томография	Повреждение ДНК, репарация, репродуктивная гибель, апоптоз – выраженная линейная зависимость, гормезис в начальном диапазоне средних доз, все типы цитогенетических эффектов, доказанные эпидемиологические эффекты
Большие	$> 10^3$	Дистанционная, внутрисполостная, внутритканевая терапия	Тканевые реакции, стохастические эффекты
Очень большие	$> 10^4$	–	–

эффекты малых доз в связи с высокой степенью неопределённости таких эффектов [14, 17]. Некоторые авторы [1, 6, 15, 16] считают целесообразным шире использовать понятие «практический порог» (ПП), в том числе и для стохастических эффектов облучения, которые в большинстве случаев будут находиться вне диапазона очень малых и малых доз. Этот подход представляется оправданным и согласуется с критериями приемлемых рисков МКРЗ ($5 \cdot 10^{-5}$ и $1 \cdot 10^{-4}$ случаев за год) для населения и профессионалов соответственно. Эпидемиологические исследования по когорте жителей Японии, пострадавших от атомной бомбардировки (основной источник данных по ЗДЭ для ИИ), обладают малой статистической мощностью, что неизбежно приводит к значительным неопределёностям в получаемых результатах этих исследований. Обращает на себя внимание, что главный массив единичных данных по выходу раков и лейкозов после воздействия радиации в малых дозах получен преимущественно для облучения детских контингентов, при этом риски по величине очень невелики [6, 15].

Вместе с тем, несмотря на ряд противоречий (неопределённости оценки выхода биологических эффектов при малых дозах, недостаточной мощности РЭИ и др.), МКРЗ считает, что использование ЛБК даёт устойчивую основу для практических целей радиационной защиты и управления рисками облучения, включая малые дозы. Предполагается, что при дозах ниже приблизительно 100 мЗв, заданное увеличение дозы приведёт к прямо пропорциональному увеличению вероятности развития рака или наследственных эффектов, связанных с облучением. Концепция (точнее, рабочая гипотеза) беспорогового действия ионизирующего излучения по-прежнему постулирует линейную зависимость биологических эффектов от дозы облучения, включая малые дозы. МКРЗ подчёркивает, что, хотя ЛБК является обоснованным элементом практической системы радиационной защиты, вряд ли удастся собрать информацию, которая бесспорно подтвердит гипотезу, лежащую в основе этой модели. В то же время Академия наук Франции (2005 г.) настаивает на существовании ПП для радиационного риска [1, 6, 15, 16].

Необходимо отметить наличие исследований и публикаций, указывающих на благоприятное влияние малых доз облучения как при воздействии техногенных, так и природных ИИ, и постулирующих, что дозы до 300 мЗв обладают благоприятным антиканцерогенным действием (гормезис) с пиком между 100–200 мЗв, а также отмечающих выявление отрицательной зависимости между активностью радона в помещениях и развитием рака лёгкого. Имеется обоснованная критика достоверности статистических оценок [19, 35–41]. И хотя эти сведения не вполне согласуются с данными приведённых выше РЭИ, они также должны быть учтены.

Материал и методы

В статье рассмотрены результаты национальных и международных радиобиологических и радиационно-эпидемиологических исследований по оценке воздействия радиации на человека

в диапазоне от очень малых до средних доз. Проанализированы выводы и концептуальные подходы к обеспечению радиационной безопасности ведущих международных организаций (НКАДР ООН, МКРЗ, МАГАТЭ). Обобщены материалы мировой и отечественной практики лучевой диагностики в рамках проблемы обоснования исследований и оптимизации доз облучения пациентов.

Результаты

Дозы в медицине продолжают неуклонно расти во всём мире. Исключение составляет Россия, где этот показатель неуклонно снижается на протяжении всего времени регистрации медицинской дозы в рамках формы Государственной статистической отчётности 3-ДОЗ. По данным «Радиационно-гигиенического паспорта Российской Федерации» за 2017 г., средняя индивидуальная доза за счёт диагностического облучения составила 0,6 мЗв [30]. В США – 3 мЗв [1], Германия – 2 мЗв (Суздаль, 2003). В России в области научных подходов и в рамках административного регулирования вопросу снижения и обоснования медицинского облучения уделялось немало внимания, и были рекомендованы соответствующие подходы (максимальное ограничение, обоснование, замена на нерадиационные методы и т. д.). Что имеем в результате? В 2017 г. в России проведено 284 млн рентгенорадиологических процедур, в среднем 1,93 на одного жителя России (при населении 147 млн человек). Коллективная доза населения России составила 80,3 тысячи чел./Зв. Количество исследований возросло: рентгенографий – на 2,4%, радионуклидных исследований – на 1,9%, компьютерных томографий – на 12,2%. Уменьшилось количество рентгеноскопий и флюорографий на 1,2 и 0,6% соответственно. Средняя годовая эффективная доза на одного жителя за счёт МО составила 0,55 мЗв, а средняя доза за процедуру – 0,28 мЗв. Вклад исследований в структуру дозовой нагрузки представлен в табл. 2 [30].

Таблица 2

Вклад различных методов диагностики в дозу МО населения России в 2017 г.

Вид исследования	Вклад в дозу, %
Компьютерная томография	50,3
Рентгенография	23,3
Флюорография	7,5
Рентгеноскопия	6,0
Радионуклидная диагностика	2,6
Прочие	10,3

Таблица 3

Направления на диагностические исследования, выданные через Единую информационно-аналитическую систему (ЕМИАС), в амбулаторно-поликлинических медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы

Вид исследования	2018 г., абс.	Динамика к 2017 г., %
Магнитно-резонансная томография	98 982	+ 22
Компьютерная томография	178 247	+ 1
Маммография	524 470	+ 1
Рентгенография	3 841 811	+ 10
УЗИ	3 749 401	+ 7
Всего...	8 491 893*	+ 7

Примечание. * – из них 48% без лучевой нагрузки и 52% – с лучевой нагрузкой.

В Москве в 2018 г., по данным [38], проведено следующее количество лучевых диагностических исследований (табл. 3).

Однако при анализе данных по г. Москве отмечается серьёзная проблема с обоснованностью назначения методов ЛД (некорректность направлений, применение неинформативных методов исследования). До настоящего времени обоснованием считается наличие направления на исследование как такового, притом, что само обоснование исследования может полностью отсутствовать. Только 67% направлений назначены врачами-клиницистами. Ежегодно выявляется до 700–800 тыс. необоснованных и неинформативных исследований. Кроме того, ситуация применения лучевых методов диагностики в значительной степени зависит от экономических факторов [20]. Всё это в совокупности создаёт серьёзную проблему в области облучения, прежде всего, «симптомных пациентов», в то время как все ограничения концентрируются на профилактике, которая не вносит существенного вклада в совокупную дозу МО. Сегодня не существует реального механизма ограничения облучения «симптомных» пациентов, дозы которых могут в десятки раз превышать разумные пределы. Авторам известен случай назначения 18-летнему пациенту (военнослужащий по призыву) 13 КТ-исследований лёгких в связи с пневмонией, осложнённой абсцессом лёгкого. Неоднократно выявлялись проблемы массовых рентгенологических исследований недоношенных новорождённых, детей первого года жизни по поводу дисплазии тазобедренного сустава и др. Основной проблемой МО является диагностическое облучение «симптомных» пациентов. Можно предполагать, что в этих условиях реальная средняя индивидуальная эффективная доза облучения для России может лежать в пределах от > 1 до 5 мЗв год.

Очевидно, что упрощённый подход к вопросу медицинского облучения по принципу «чем меньше доза – тем лучше» неприемлем. В то же время на примере г. Москвы можно говорить о существенном положительном эффекте лучевых технологий на примере скрининговых обследований групп риска. Так, в ходе реализации программы скрининга рака молочной железы проведено 15 889 маммографий женщинам, находящимся в группе риска. Выявлены 2056 пациенток с BiRADS «0», из которых пришли на дообследование 1262, в результате чего выявлено 74 бессимптомных рака молочной железы. Программа скрининга рака лёгкого (РЛ) для группы риска проводится уже 3 года с помощью ультранизкодозового КТ (Ультра-НДКТ). Обследовано более 13 000 «бессимптомных» пациентов, а также 15 000 работников медицинских организаций Департамента здравоохранения г. Москвы при проведении процедур в рамках Приказа № 129 от 21.02.2018 г. Сегодня в скрининге РЛ выявленных случаев рака составляет 308 на 10 тыс. человек в группе риска. Если в 2017 г. вне программы скрининга выявлено 30% рака лёгкого I и II стадии, то в рамках скрининга на ранних стадиях выявлено уже 40,3% пациентов, а доля I стадии в скрининге более чем на 10% больше, чем вне скрининга. Количество Ультра-НДКТ для выявления 1 случая рака лёгкого на ранней стадии – 57, частота встречаемости РЛ – 2,7%, одного-

дичная летальность от рака лёгкого уменьшилась на 22,6% по сравнению с показателями вне скрининга. Необходимо отметить целенаправленную работу московского здравоохранения по развитию и внедрению низкодозовых технологий лучевой диагностики [20, 21].

В этой связи большой интерес представляют современные информативные низкодозовые протоколы «высокоточных» технологий. Так, по данным исследований [21], при однофазных КТ-исследованиях преобладали исследования органов грудной клетки (27,9–33,1%), а при многофазных – исследования органов брюшной полости (18,9–25,2%). Средние эффективные дозы за одно многофазное исследование составили для областей: головы 3,2–4,6 мЗв, органов грудной клетки – 5,33–8,41 мЗв, органов брюшной полости и малого таза – 27,3–49,6 мЗв. Продемонстрирована возможность снижения дозы облучения пациентов без ухудшения качества исследования путём применения различных вариантов низкодозовых методик: снижение дозы при однофазных КТ-исследованиях органов грудной клетки – в 2,6–3,7 раза, при многофазных КТ-исследованиях органов грудной и брюшной полости и малого таза – в 3,6–6,4 раза. Вместе с тем метод Ультра-НДКТ, разработанный под реализацию программы раннего выявления РЛ, достиг величины эффективной дозы на пациента 0,7–0,5 мЗв за одно сканирование грудной клетки [20]. Также показана возможность снижения доз облучения на пациентов-детей, что наиболее важно. Наибольшее количество многократно повторяющихся в динамике КТ-исследований проводится детям с лимфомами. Показатели лучевой нагрузки увеличиваются в несколько раз при многофазном сканировании с контрастным усилением. Применение предложенного авторами метода сокращённого протокола КТ не снижает качество лучевой диагностики лимфомы Ходжкина у детей и одновременно позволяет заметно уменьшить лучевую нагрузку на ребёнка [22].

Правильное определение групп риска «бессимптомных» пациентов – залог успеха. И наоборот. Когда группы риска определены ошибочно, мы имеем исключительно неоднозначные результаты. Так, в соответствии с Приказом Департамента здравоохранения г. Москвы [20, 23] предусмотрено, в рамках ежегодных профессиональных профилактических медицинских осмотров проведение Ультра-НДКТ грудной клетки, а через 6 мес и флюорографическое обследование всех медицинских работников системы московского здравоохранения. В результате обследования 6000 человек методом Ультра-НДКТ 215 из них были направлены во физиотрическую службу. Однако до настоящего времени не поступило официальной информации о подтверждении случаев туберкулёза в отобранной группе обследованных.

Проблемы России хорошо согласуются и с международной практикой, осуществляемой в значительной степени под эгидой и на основе документов МАГАТЭ [24–26]. Объективными факторами увеличения дозовой нагрузки являются более сложное оборудование и новые технологии: многотекторные КТ, цифровые приёмники изображения, гибридные технологии (ОФЭКТ-КТ, ПЭТ-КТ), интервенционные процедуры, томосинтез, 3D-изображения. Отмечено, что значительная часть исследований в развитых странах проводится без обоснования или необоснованно повторяется: 3% of patients had > 10 CT scans (Jaffe et al. AJR. 2007; 189 (5): 1015–22); Multiple CT studies: mean 13.4, max 70 CT scans (Richard and Sodickson. AJR. 2009; 192:887–892); 22 years, 32000 patients: 33% of patents > 5 CTs, 5% of patients > 22–132 CTs, 15% received > 100 mSv, 5% received > 250 mSv (Sodickson et al. Radiology. 2009; 251: 175–84); 106 haemodialysis patients in 3 years, 17 (16%) had a total cumulative dose > 100 mSv (De Mauri et al. J Am Soc Nephrol. 2011; 22: 571–8) [27].

Важнейшей нерешённой задачей сегодняшнего дня в лучевой диагностике является стандартизация диагностических исследований. Известно, что в 10–50% лучевых исследований назначаются необоснованно. Исследование, проведённое ESR для Комиссии Евросоюза (2013), выявило неудовлетворительную ситуацию со стандартами по назначению лучевых исследований в ЕС. Только Великобритания и Франция подготовили руководство по этой проблеме [20]. С гигиенических же позиций необходимо отметить, что именно стандарт исследования является ограничителем облучения «симптомного» пациента.

Таблица 4

Точечные относительные риски солидных опухолей когорты ликвидаторов, 1986–2012 гг.

Дозовый интервал, мЗв	Доза, мЗв	Относительный риск
< 5	2,32	1,00
5,1–15,0	8,68	1,11
15,1–40,0	24,67	1,20
40,1–100,0	66,64	1,19
100,1–170,0	129,0	1,05
> 170,0	229,5	0,98

Обсуждение

Если учесть ранее упомянутый факт, что главный массив единичных данных по выходу раков и лейкозов после воздействия радиации в малых дозах получен преимущественно для облучения детских контингентов, то становится понятным и возможный подход к ограничению медицинского облучения. Если в области техногенного облучения подходы, принятые на основе беспороговой концепции-гипотезы понятны, то в области медицинского облучения дело обстоит несколько иначе. Медицинское облучение не только отличается от других видов, но и несёт в себе риски в случае «необлучения» или «недооблучения», которые могут быть больше рисков облучения. Ограничение медицинского облучения только профилактическими исследованиями (1 мЗв) не решает задач снижения медицинских рисков облучения. Под понятие «профилактика» попадают все лица, которых можно отнести к группе «бессимптомных» пациентов, что неверно. Лица, проходящие предварительные или текущие профессиональные медицинские осмотры, не соответствуют лицам из групп риска, проходящим, например, скрининговые исследования. Подходы к ним должны быть разными. Ориентация на 1 мЗв также может привести к неконтролируемому увеличению дозы облучения «бессимптомных» пациентов за счёт применения так называемых «низкодозовых» протоколов сложных, но «высокодозовых», по сути, исследований. Так, Ультра-НДКТ даст дозу не менее 0,5 мЗв, в то время как рентгенография только 0,05 мЗв. Но и то, и другое будет в пределах 1 мЗв. Кроме того, принцип «чем меньше доза – тем лучше» неприемлем с точки зрения качества и надёжности диагностики. Необоснованное облучение отмечается в основном в группе «симптомных пациентов», а не в профилактических группах. Общее представление о рисках при облучении в медицине нужно увязывать с возрастными категориями и группами риска, так как в этих группах радиогенные риски одного и того же облучения будут различны. Можно считать совершенно бесспорно установленным, что наибольшие риски формируются при облучении плода, детских и юношеских возрастов. Представляет интерес не только оценка риска по определённой группе заболеваний, но также динамика изменений риска по мере увеличения дозы и возраста. Наибольшей неопределённостью характеризуются риски в диапазоне малых доз, где часто имеет место некоторый пороговый

уровень дозы или даже картина гомеозиса (табл. 4). В таблице представлены данные стратификации по дозам внешнего облучения, полученным при ликвидации последствий аварии на ЧАЭС когортой ликвидаторов в 1986–1987 гг. работы. Относительные риски (ОР) рассчитаны для заболевания ликвидаторов всеми солидными злокачественными новообразованиями в каждой дозовой страте. За контроль взята заболеваемость в первой дозовой страте [18].

Как следует из табл. 4, имеет место прирост ОР в ещё малых по величине дозах. В дальнейшем до некоторого уровня доз (~ 200 мЗв) значения ОР стабилизируются в достаточно узком диапазоне [18]. Между тем видно, что смертность и заболеваемость злокачественными новообразованиями существенно зависят от возраста (рис. 1) [33]. Например, рак лёгкого практически не встречается у лиц моложе 15 лет, а затем (в особенности после 40 лет) смертность от рака лёгкого удваивается каждые 5 лет [12]. И эта закономерность распространяется на большинство онкологических заболеваний.

В то же время риск отдалённых стохастических эффектов при воздействии ИИ в значительной степени связан с возрастом облучаемых лиц обратной зависимостью – уменьшением риска с возрастом (табл. 5) [28].

Из табл. 5 видно, что доза для достижения одного и того же уровня риска между возрастными группами (< 18, 18–65 и > 65 лет) различается на порядки и более. Можно предполагать подобное соотношение и между рисками разных групп. Распределение потенциальных рисков в облучаемой популяции неравномерно и существенно зависит от возраста. Основные риски МО приходятся на детский и юный возраст. С возрастом должно идти существенное снижение «удельных рисков», и априори их распределение можно представить следующим образом (рис. 3, см. на 3-й стр. обложки).

Таким образом, имеет место «перекрёст» радиогенных и спонтанных рисков раков (рис. 2). Предполагаемый возраст

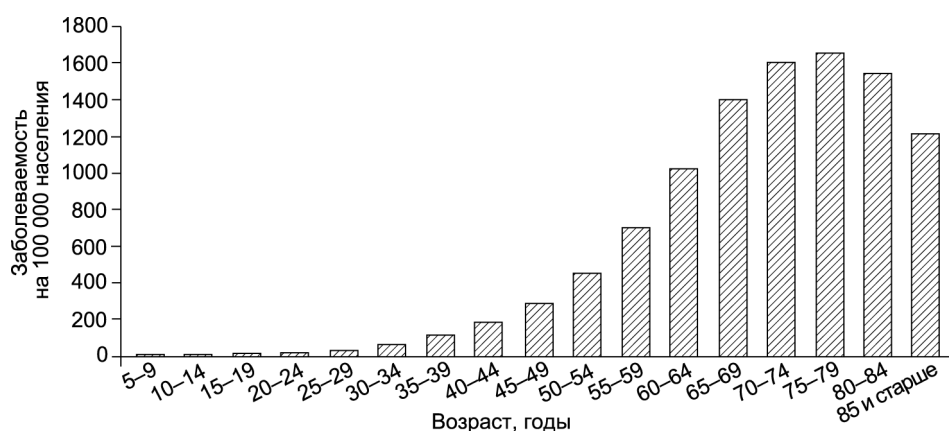


Рис. 1. Повозрастная онкологическая заболеваемость в России за 2017 г.

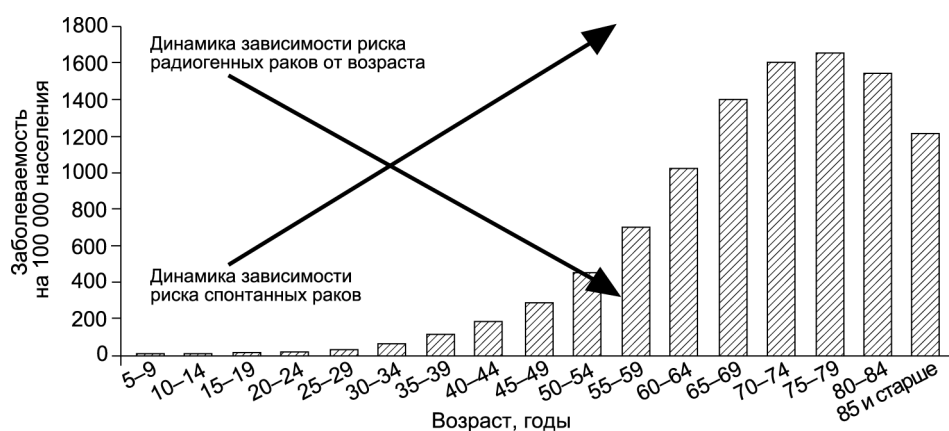


Рис. 2. «Перекрёст» спонтанных и радиогенных рисков с «пересечением» в области 30 лет.

Таблица 5

Диапазон эффективных доз (мЗв), соответствующих разным уровням радиационного риска

Радиационный риск, отн. ед.	Эффективная доза, мЗв		
	до 18 лет	18–64 года	65 лет и более
Пренебрежимо малый (10^{-6})	< 0,01	< 0,02	< 0,2
Минимальный (10^{-6} – 10^{-5})	0,01–0,1	0,02–0,2	0,2–2
Очень низкий (10^{-5} – 10^{-4})	0,1–1	0,2–2	2–20
Низкий (10^{-4} – 10^{-3})	1–10	2–20	20–200
Умеренный (10^{-3} – $3 \cdot 10^{-3}$)	10–30	20–60	200–500
Существенный ($3 \cdot 10^{-3}$ – 10^{-2})	30–100	60–200	–

«перекрёста» – около 30 лет, 30-летний рубеж также является нормативным требованием при отборе людей для ликвидации радиационных аварий и при планируемом переобучении [29].

Заключение

Учитывая вышеизложенное, авторы предлагают следующее.

Разделить понятие «профилактические» исследования («бессимптомных» групп на три категории: обследование в рамках профессиональных медицинских осмотров, обследование в рамках всеобщей диспансеризации, обследование групп повышенного риска в рамках скрининга. Установить порядок назначения рентгенологических исследований для указанных групп. При этом необходимо учитывать возрастную категорию обследуемых «бессимптомных» и исходить из того, что риски радиогенных раков наиболее высоки в возрасте до 30 лет, в то время как риски развития спонтанных раков существенно увеличиваются с возрастом – за пределами 30 лет. Поэтому для лиц моложе 30 лет рентгенологическое исследование должно назначаться только при наличии соответствующих анамнестических данных (anamnesis vite, anamnesis morbi), сбор которых должен быть обязательным как при профессиональных профилактических, так и при диспансеризационных обследованиях (часто болеющие, неблагоприятные социальные условия, наличие признаков возможных заболеваний, данные других медицинских исследований и т. д.). В рамках профессиональных медицинских осмотров и всеобщей диспансеризации рентгеновские исследования грудной клетки в обязательном порядке следует проводить только лицам старше 30 лет.

Необходимо разработать стандарты лучевых исследований, а до разработки национальных стандартов – внедрять локальные временные стандарты лучевой диагностики (региональные, ведомственные, стандарты организаций), разрабатываемые на основании методических документов (методики, руководства), международных рекомендаций, литературы (статьи, монографии). Максимально исключить внутриутробное обследование плода, а в детском и юношеском возрасте – только по строгим, специально обоснованным показаниям, оформленным должным образом. Осуществить перераспределение сложных высокодозных обследований, включая их низкодозовые варианты в обоснованные группы риска, а также в более поздние возрастные группы, имея в виду выход периода реализации риска развития радиогенных опухолей за пределы ожидаемой продолжительности жизни. Разработать уровни «практического порога» как для групп риска (бессимптомных пациентов), так и для возрастных категорий «симптомных» пациентов.

Литература

(пп. 14, 17, 26, 31, 32, 34–41 см. References)

- Ильин Л.А., Коренков И.П., Наркевич Б.Я. *Радиационная гигиена. 5-е изд., перераб. и доп.* М.: ГЭОТАР-Медиа; 2019. 413 с.
- Романович И.К., Стагат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. *Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия.* Под ред. Г.Г. Онищенко, А.Ю. Поповой. СПб.: ИМЖ-СПб; 2018. 431 с.
- Киселёв С.М. Формирование современной методологии регулирования защиты населения от облучения радоном. *Гигиена и санитария.* 2017; 96 (1): 52–6.

- Шандала Н.К., Коренков И.П., Котенко К.В., Новикова Н.Я. *Глобальные и аварийные выпадения ^{137}Cs ^{90}Sr .* Под ред. Л.А. Ильина. М.: Медицина; 2008. 200 с.
- Коренков И.П., Шандала Н.К., Лашёнова Т.Н., Соболев И.А. *Защита окружающей среды при эксплуатации и выводе из эксплуатации радиационно-опасных объектов.* М.: БИКОМ; 2014. 443 с.
- Котеров А.Н., Вайнсон А.А. Биологические и медицинские эффекты излучения с низкой ЛПЭ для различных диапазонов доз. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2015; 3: 5–31.
- Котеров А.Н. История представлений о нестабильности генома при малых дозах радиации. Научная точка, вероятно, поставлена. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2014; 1: 5–19.
- Рюм В., Волощак Г., Шор Р., Азизова Т.В. и соавт. Эффекты дозы и мощности дозы ионизирующего излучения – дискуссия с позиции радиологической защиты. К вопросу о нестабильности генома. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2017; 3: 5–72.
- Гонзалес А.Х. Коэффициент эффективности (DDREF) дозы и мощности доз: ненужные, спорные и противоречивые вопросы. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2017; 2: 13–26.
- Нугис В.Ю., Бушманов А.Ю., Западникова Е.Э., Козлова М.Г., Тихонова О.А. Цитогенетические исследования через 28–29 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2016; 4: 35–42.
- Демин В.Ф., Бирюков А.П., Забелин М.В., Соловьев В.Ю. Проблемы установления зависимости доза – эффект для радиационного канцерогенеза. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2018; 3: 19–27.
- Сокольников М.Э., Востротин В.В., Ефимов А.В., Василенко Е.К., Романов С.А. Пожизненный риск смерти от рака лёгкого при ингаляции плутония-239. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2017; 1: 27–31.
- Заключение Российской научной комиссии по радиологической защите по докладу «Оценка радиационных рисков онкологической заболеваемости и смертности среди ликвидаторов последствий радиационной аварии на ЧАЭС по данным Национального радиационно-эпидемиологического регистра». *Радиация и риск.* 2010; 4: 7–10.
- Методика оценки производственного риска для здоровья персонала опасных и особо опасных производств и населения прилегающих территорий. Методические рекомендации. М.: ФМБА России; 2017. 48 с.
- Публикация 103 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Под ред. Киселёв М.Ф., Шандала Н.К. М.: Алана; 2009. 344 с.
- Шафранский И.Л., Туков А.Р., Бирюков А.П., Сидорин И.В., Потапова Л.А., Прохорова О.Н. и соавт. Оценка избыточного относительного риска заболевания злокачественными новообразованиями работников атомной промышленности – участников ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2018; (6): 34–40.
- Булдаков Л.А. *Радиационное воздействие на организм – положительные эффекты.* Булдаков Л.А., Калистратова К.С., М.: Информ-Атом; 2005. 246 с.
- Морозов С.П., Сеницын В.Е., Владимировский А.В., Ветшева Н.Н., Гомбоевский В.А., Колпакова Л.В. Применение принципа обоснования в медицинской практике РФ. Межведомственный круглый стол (презентация). ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения г. Москвы». М.; 2019.
- Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Башков А.Н. Сравнение доз облучения пациентов при проведении однофазной и многофазной компьютерной томографии в многопрофильном лечебном учреждении. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2016; 6: 50–6.
- Хасанова К.А., Тюрин И.Е., Рыжов С.А., Кижяев Е.В. Снижение дозовой нагрузки при проведении компьютерной томографии у детей. *Медицинская радиология и радиационная безопасность.* 2019; 1: 38–40.
- Приказ Департамента здравоохранения г. Москвы от 21.02.2018 № 129 «Об усилении мероприятий по предупреждению возникновения и распространения туберкулёза среди работников медицинских организаций государственной системы здравоохранения города Москвы». 2018. 5 с.
- Нормы МАГАТЭ по безопасности для защиты людей и окружающей среды. Основы безопасности принципы безопасности. Основы безопасности № SF-1. Вена; 2007. 23 с.
- Нормы безопасности МАГАТЭ для защиты людей и окружающей среды. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности, часть 3, № GSP Part 3. Вена; 2015. 477 с.
- Василева Е. Актуальность проблемы обоснования лучевых процедур. Позиция и рекомендации МАГАТЭ (презентация). Межведомственный круглый стол по вопросам применения принципа обоснования в медицинской практике в РФ. М.; 2019.
- Оценка радиационных рисков у пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований. Методические рекомендации 2.6.1. 0098-15. Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. М.; 2015. 12 с.
- Санитарные правила и нормы СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности – НРБ-99/2009. Федеральная служба Роспотребнадзора. М.; 2018. 100 с.

30. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2017 год. *Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации*. Федеральная служба Роспотребнадзора. М.; 2018. 128 с.
33. Каприн А.Л. Злокачественные новообразования в России в 2017 году (заболеваемость и смертность). Под ред. Каприна А.Д., Старинского В.В., Петрова Г.В. Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Российский Центр информационных технологий и эпидемиологических исследований в области онкологии. М.; 2018.

References

1. Ilyin L.A., Korenkov I.P., Narkevich B.Ya. *Radiation hygiene. 5th edition, revised and supplemented [Radiatsionnaya gigiyena. 5-e izdaniye]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. 413 p. (in Russian)
2. Romanovich I.K., Stamat I.P., Kormanovskaya T.A., Kononenko D.V. *Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures [Prirodnyye istochniki ioniziruyushchego izlucheniya: dozy oblucheniya, radiatsionnyye riski, profilakticheskiye meropriyatiya]*. Edit. by G.G. Onishchenko., A.Yu. Popova. Saint Petersburg: IMG-SPB; 2018. 431 p. (in Russian)
3. Kiselev S.M. Formation of modern methodology of regulation of protection of the population from radon irradiation. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2017 (1): 52–6. (in Russian)
4. Shandala N.K., Korenkov I.P., Kotenko K.V., Novikova N.Y. *Global and emergency fallout 137Cs 90Sr [Global'nyye i avariynnyye vypadeniya 137Cs 90Sr]*. Edit. by L.A. Ilyin. Moscow: Meditsina; 2008. 200 p. (in Russian)
5. Korenkov I.P., Shandala N.K., Lashchenova T.N., Sobolev I.A. *Environmental protection during operation and decommissioning of radiation-hazardous facilities [Zashchita okruzhayushchey sredy pri ekspluatatsii i vyvode iz ekspluatatsii radiatsionno-opasnykh ob'yektov]*. Moscow: BICOM; 2014. 443 p. (in Russian)
6. Koterov A.N., Vinson A.A. Biological and medical effects of radiation with low let for different ranges of doses. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2015; 3: 5–31. (in Russian)
7. Koterov A.N. History of ideas about genome instability at low radiation doses. The scientific point is probably made. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2014; 1: 5–19. (in Russian)
8. Ruhm W., Woloschak G.E., Shore R.E., Azizova T.V. et al. Dose and Dose-rate Effects of Ionizing Radiation: a Discussion in the Light of Radiological Protection. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2017; 3: 5–72. (in Russian)
9. Abel Julio Gonzales. Efficiency Ratio (DDREF) dose and dose rates: unnecessary, controversial and controversial issues. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2017; 2: 1–26.
10. Nugis V.Yu., Bushmanov A.Yu., Zapadinskaya E.E., Kozlova M.G., Tikhonova O.A. Cytogenetic studies 28–29 years after the Chernobyl accident. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical radiology and radiation safety]*. 2016; 4: 35–42. (in Russian)
11. Demin V.F., Biryukov A.P., Zabelin M.V., Soloviev V.Yu. Problems of establishing dose – effect dependence for radiation carcinogenesis. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical radiology and radiation safety]*. 2018; 3: 19–27. (in Russian)
12. Sokolnikov M.E., Vostrotin V.V., Efimov A.V., Vasilenko E.K., Romanov S.A. Lifetime risk of death from lung cancer by inhalation of plutonium-239. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical radiology and radiation safety]*. 2017; 1: 27–31. (in Russian)
13. Conclusion of the Russian scientific Commission on radiological protection on the report “Assessment of radiation risks of cancer morbidity and mortality among liquidators of the consequences of the Chernobyl radiation accident according to the National radiation and epidemiological register”. *Radiatsiya i risk [Radiation and Risk]*. 2010; 4: 7–10. (in Russian)
14. UNSCEAR 2012. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex B. Uncertainties in risk estimates for radiation-induced cancer. New York: United Nations; 2014. 219 p.
15. Methods of assessing the occupational risk to the health of personnel of hazardous and especially dangerous industries and the population of adjacent territories. Methodical recommendation. Moscow: FMBA of Russia; 2017. 48 p. (in Russian)
16. Publication 103 of the International Commission on radiation protection (ICRP). Kiselev M.F., Shandala N.K., eds. Moscow: Alana; 2009. 344 p. (in Russian)
17. UNSCEAR 2000. Report to the General Assembly, with Scientific Annex. Annex I. Epidemiological evaluation of radiation radiation-induced cancer. New York: United Nations; 2000: 297–450.
18. Shafransky I.L., Tukov A.R., Biryukov A.P., Sidorin I.V., Potapova L.A., Prokhorova O.N. et al. Assessment of excessive relative risk of malignant neoplasms of nuclear industry workers – participants in the liquidation of the Chernobyl accident. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2018; 6: 34–40. (in Russian)
19. *Radiation effects on the body-positive effects [Radiatsionnoye vozdeystviye na organizm – polozhitel'nyye efekty]*. Edit. by L.A. Buldakov, K.S. Kalistratov. Moscow: Inform-Atom; 2005. 246 p. (in Russian)
20. Morozov S.P., Sinitsyn V.E., Vladzimirsky A.V., Vetsheva N.N., Gombalevsky V.A., Kolpakova L.V. Application of the principle of justification in medical practice of the Russian Federation. Interdepartmental round table (presentation). Scientific and practical clinical center of diagnostics and telemedicine technologies of the Department of health of the city of Moscow. Moscow; 2019. (in Russian)
21. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Bashkov A.N. Comparison of radiation doses of patients during single-phase and multiphase computed tomography in a multidisciplinary medical institution. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2016; 6: 50–6. (in Russian)
22. Khasanova K.A., Tyurin I.E., Ryzhov S.A., Kizhaev E.V. Dose reduction during computed tomography in children. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost' [Medical Radiology and Radiation Safety]*. 2019; 1: 38–40. (in Russian)
23. The order of Department of health of Moscow of 21.02.2018 No. 129 about strengthening of actions for the prevention of emergence and distribution of tuberculosis among workers of the medical organizations of the state system of health care of the city of Moscow. 2018. 5 p. (in Russian)
24. IAEA safety standards for the protection of people and the environment. The fundamental principles of security. SF-1 safety basics. Vienna; 2007. 23 p.
25. IAEA safety standards for the protection of people and the environment. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. General safety requirements, part 3, no. GSP Part 3. Vienna; 2015. 477 p.
26. IAEA Safety Standards for protecting people and environment. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Specific Safety Guide. Vienna; 2015. 318 p.
27. Vasilieva J. Relevance of the problem of justification of radiation procedures. Position and recommendations of the IAEA (presentation). Interdepartmental round table application of the principle of justification in medical practice in the Russian Federation. Moscow; 2019. (in Russian)
28. Assessment of radiation risks in patients during X-ray radiological studies. Methodical recommendations. Methodical recommendations 2.6.1. 0098-15. The Federal service for supervision of consumer rights protection and human well-being. Moscow; 2015. 12 p. (in Russian)
29. Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 radiation safety Standards-NRB-99/2009. Federal service of Rosпотребнадзор. Moscow; 2018. 100 p. (in Russian)
30. Results of radiation-hygienic certification in the subjects of the Russian Federation for 2017. Radiation-hygienic passport of the Russian Federation. Federal service of Rosпотребнадзор. Moscow; 2018. 128 p. (in Russian)
31. Preston D.L., Ron E., Tokuoka S. et al. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958–1998. *Radiat Res*. 2007; 168 (1): 1–64.
32. Mathews J.D., Forsythe A.V., Brady Z., Butler M.W., Goergen S.K., Byrnes G.B. et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ*. 2013; 21; 346: f2360. DOI: 10.1136/bmj.f2360.
33. Kaprin A.L. *Malignant neoplasms in Russia in 2017 (morbidity and mortality)*. Kaprin A.D., Starinsky V.V., Petrova G.V., eds. Moscow research oncology institute named after P.A. Herzen – branch of the National medical research center of radiology of the Ministry of health of the Russian Federation Russian, Center of information technologies and epidemiological research in the field of oncology. Moscow; 2018. (in Russian)
34. Darby S., Hill D., Deo H. et al. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14 208 persons without lung cancer from 13 epidemiological studies in Europe. *Scand J Work Environ Health*. 2006; 32 (Suppl. 1): 1–84.
35. Cohen B.L. A test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis. *Environ Res*. 1990; 53 (2): 193–220.
36. Cohen B.L. Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Phys*. 1995; 68 (2): 157–74.
37. Cohen B.L. Lung cancer rate vs. mean radon level in U.S. counties of various characteristics. *Health Phys*. 2008; 72 (1): 114–9.
38. Cohen B.L. Problems in the radon vs. lung cancer test of the linear no-threshold theory and a procedure for resolving them. *Health Phys*. 1997; 72 (4): 623–8.
39. Cohen B.L. Response to criticisms of Smith et al. *Health Phys*. 1998; 75 (1): 23–33.
40. Cohen B.L. Testing a BEIR-VI suggestion for explaining the lung cancer vs. radon relationship for U.S. counties. *Health Phys*. 2000; 78 (5): 522–7.
41. Riccia P.F., Tharmalingamb S. Ionizing radiations epidemiology does not support the LNT model. *Chem.-Biol. Interact*. 2019; 30: 128–40.

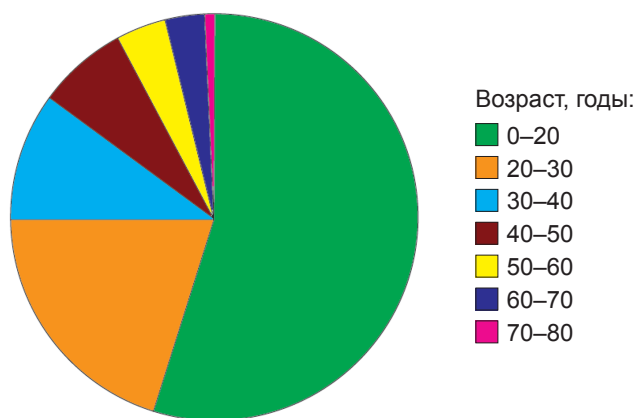


Рис. 3. Распределение условного «удельного риска» радиогенных раков по возрастным группам.