

УДК: 616-006-085.849.1:574.24

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК (взгляд радиобиолога)

Э.А. Дёмина

Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии
им. Р.Е. Кавецкого НАН Украины, г. Киев

Медицинские рентгенологические исследования вносят наибольший вклад в фоновое облучение населения, значительная часть которого подлежит обследованию с целью диагностики основного заболевания, динамического наблюдения за пациентом в ходе лечения, поиска сопутствующих заболеваний, профилактических обследований и т. д. В этой связи облучение населения в результате использования источников ионизирующих излучений (ИИ) в диагностических целях занимает особое место в общей программе радиационной безопасности населения, так как связано с наибольшим риском развития негативных отдаленных последствий, в том числе канцерогенных. По данным МАГАТЭ, ежегодно в мире осуществляется свыше 2,5 млрд рентгенологических исследований с диагностической целью. Значение годовой коллективной дозы для населения Украины вследствие диагностических обследований составляет почти 20 тыс. чел.-Зв. При этом 84% из всех рентгенологических методов занимают рентгено- и флюорографические исследования [1].

По данным [2], полученным в конце прошлого века, эффективная доза за счет медицинских рентгенологических исследований составляла в среднем 3,0 мЗв/год на человека. Автор работы рассчитал, что в популяции численностью 150 млн человек реально ожидаемое число случаев злокачественных новообразований радиационного генеза составит в будущем 12500-17000 за год.

Вклад рентгенологических исследований в коллективную эффективную дозу (КЭД) для населения стран СНГ по сравнению с природным облучением составляет 0,8-1,3 мЗв [3]. Среди рентгенологических методов исследований наибольший вклад в КЭД для населения Украины вносит пленочная флюорография (свыше 30%), которая используется для проведения профилактических обследований населения, в том числе в группах повышенного канцерогенного риска [4]. С одной стороны, флюорография является распространенным методом исследования [1], а с другой – облучение пациентов во время проведения этого исследования превышает референтный уровень для рентгенографии органов грудной клетки (ОГК), установленный в международных стандартах безопасности Basic Safety Standards, Series no. 115 [5], и в сотни раз – значения эффективной дозы для данного вида исследований, указанного в руководстве по радиологической визуализации Referral Gui-

delines for Imaging [6]. Кроме того, при проведении флюорографии в двух проекциях эффективная доза на пациента превышает 1,0 мЗв, что является нарушением «Норм радиационной безопасности Украины» — НРБУ-97 [7]. При этом «тільки у 19% рентгенівських апаратів значення радіаційного виходу лежить в інтервалі $\pm 25\%$ стандартизованого значення, а розкид їх значень від апарата до апарата перевищує 200 разів» [1].

Одновременно специалисты отмечают, что внедрение в Украине современных низкодозовых цифровых аппаратов, в том числе замена пленочной флюорографии цифровой скрининговой рентгенографией, позволяет на порядок снизить лучевые нагрузки на пациентов при проведении профилактических обследований и уменьшить КЭД для населения Украины в 2 раза [8]. Например, если при использовании пленочной флюорографии экспозиционная доза на кадр на входе составляет 2,5 мР, а эффективная доза – 264,5 мкЗв, то при цифровой – 0,4 мР и 42,3 мкЗв соответственно [9].

Ведущее место в структуре онкологической патологии женского населения большинства экономически развитых стран мира занимает рак грудной железы (РГЖ). В последнее время наблюдается повышение уровня заболеваемости РГЖ и ежегодный прирост составляет 1-2%. Уровень заболеваемости РГЖ среди женского населения Украины составляет 61,2 на 100 тыс. населения [10]. Наибольший риск возникновения этого заболевания отмечается в возрастной группе 55-65 лет и только 10% — моложе 30 лет.

Согласно современным воззрениям, мутации генов-супрессоров BRCA-1 (в 17-й хромосоме) и BRCA-2 (в 13-й хромосоме), участвующих в репарации двунитевых разрывов ДНК, а также гена-супрессора p53 – в задержке клеточного цикла, способствуют развитию данной патологии. В соответствии с данными работы [11], экспрессия BRCA-1 повышает канцерогенный риск на 50-80%, а экспрессия BRCA-2 – на 40-70% соответственно.

Риск развития РГЖ радиационного генеза повышается при облучении в возрасте 15-18 лет; радиационное воздействие в дозе 1,0 Гр повышает риск возникновения РГЖ в 3 раза [12]. У больных, подвергавшихся неоднократной рентгеноскопии ОГК, риск развития РГЖ возрастал по мере увеличения числа этих диагностических процедур.

В Шотландии обследована группа женщин (243 чел.), которые в процессе лечения туберкулеза неодно-

кратно подвергались рентгеноскопическому исследованию ОГК, при котором луч проходил по направлению от груди к спине, то есть пациентки были обращены лицом к источнику излучения. Величина поглощенной дозы на грудную железу за один сеанс равна в среднем 7,5 сГр. Время между сеансами составляло дни или недели. При этом суммарная поглощенная доза для грудной железы составляла примерно 8,5 Гр. Частота возникновения РГЖ в этой группе превысила ожидаемую более чем в 6 раз [13, 14].

В работах [15, 16] представлены данные обследования британских рабочих, наносивших люминесцирующий состав (радий-226) на циферблаты измерительных приборов. Суммарная доза на грудные железы работниц составляла 0,5 сГр за неделю, а общая поглощенная доза – 40 сГр. Среди женщин, возраст которых к началу выполнения работ составлял 20 лет, в последующем РГЖ наблюдался в 2 раза чаще ожидаемой частоты.

Выявляемость РГЖ, в том числе радиогенного генеза, во время профилактических осмотров в Украине остается низкой, а показатель запущенности (IIIБ-IV ст.), который является основным критерием качества диагностики, наоборот, высоким. Реальный путь улучшения результатов лечения РГЖ – раннее выявление заболевания с использованием лучевых методов диагностики с высокой разрешающей способностью: рентгеновской маммографии (РМ), компьютерной томографии грудной железы (ГЖ), магнитно-резонансной томографии, позитронно-эмиссионной томографии, сцинтимаммографии. РМ остается «золотым стандартом» выявления РГЖ и позволяет визуализировать опухоли диаметром от 0,3 см [10]. Диагностическая эффективность метода составляет 75-95% и широко используется в программах скрининга РГЖ, а также позволяет выявлять инфильтративный протоковый рак I стадии в 50-70% случаев. При обследовании пациентов в молодом возрасте, когда железистая ткань хорошо развита и четко визуализируется при ультразвуковой маммографии (УЗМ), а также с целью уменьшения лучевой нагрузки на пациентов при динамическом наблюдении, рекомендуется сочетать РМ с УЗМ (с применением доплерографии).

Уместно отметить, что согласно данным исследований, проведенных недавно в США, при маммографическом обследовании рекомендована обязательная регистрация плотности грудных желез за счет дополнительного ультразвукового исследования [17]. Это позволяет выявить у женщин с плотностью грудных желез >50% дополнительно 3,4 случая рака на 1000 обследованных.

Использование маммографии для широкого исследования женского населения с целью ранней диагностики РГЖ явилось предметом многочисленных дискуссий среди специалистов и ученых на протяжении ряда лет. Так, было показано [18], что использование данного метода для раннего выявления РГЖ, несмотря на ценность диагностической информации, может обусловить повышенный риск его возникновения. Напомним, что дан-

ный метод лучевой диагностики привлек особое внимание в середине 70-х годов прошлого века, когда у супруги президента США Д. Форда был обнаружен РГЖ. В тот период во всех штатах Америки миллионы женщин, многим из которых в то время было не более 20 лет, панически обращались в медицинские учреждения, требуя диагностического обследования с использованием маммографии.

В этой связи уже в 80-е годы Американское противораковое общество рекомендовало проводить однократную маммографию до 35 лет и ежегодную – после 40 лет. Было рассчитано, что при такой периодичности профилактическая маммография может обеспечить раннюю диагностику 60% случаев РГЖ нерадиационного генеза и почти такой же процент опухолей этой локализации, но радиогенной природы вследствие проведенных ранее маммографических обследований. Эти данные рекомендовали учитывать при оценке соотношения «польза-риск» при проведении маммографического скрининга [19]. Показано, что польза маммографических обследований женщин в возрасте 50 и более лет превышает канцерогенный риск [20].

Современные рекомендации по радиационной защите населения базируются на линейной беспороговой концепции (ЛБК) канцерогенеза, согласно которой даже самые малые дозы могут обусловить злокачественную трансформацию клеток. Установлено, что эффективные дозы облучения, получаемые при компьютерной томографии (КТ), обычно находятся в диапазоне от 1,0 до 20,0 мЗв [21]. Основываясь на ЛБК радиационного канцерогенеза, высказано предположение, что в последние десятилетия около 1,5-2,0% регистрируемых случаев рака в США являются следствием применения КТ [22]. Существует и противоположная точка зрения, согласно которой радиационное воздействие с диагностической целью может снижать риск возникновения рака вследствие элиминации преканцерогенных трансформированных клеток и даже предотвращать метастазирование уже существующих опухолей, то есть проявлять горметические эффекты [23-25].

Одной из основных парадигм радиобиологии является аргументированная классификация биологических эффектов облучения на детерминированные и стохастические. Последние характеризуются линейной беспороговой зависимостью их развития от дозы ИИ. При этом от величины дозы ИИ зависит только частота рассматриваемых событий, а не их тяжесть. Это означает, что даже самая минимальная лучевая экспозиция увеличивает вероятность возникновения стохастического эффекта. То есть, по сути, это эффекты действия малых доз ионизирующей радиации. К стохастическим эффектам принадлежат точковые мутации, хромосомные aberrации, злокачественная трансформация клеток и те радиобиологические реакции, которые не имеют дозового порога [26].

Классическое микродозиметрическое определение малой дозы ИИ – это доза, при действии которой на один чувствительный объем клетки в

среднем приходится один ионизирующий трек. Анализ микродозиметрических данных показал, что для микрообъектов с диаметром 8 мкм (что соответствует диаметру ядер лимфоцитов человека) – это доза одиночного события, которая зависит от энергии частицы и находится в интервале нескольких мГр. Она минимальна (6 мГр) для электронов с энергией 20-25 КэВ, для протонов и альфа-частиц с энергией 1-10 МэВ – 20-100 и 200 мГр соответственно, для гамма-излучения ^{60}Co , ^{137}Cs – 250 КэВ, рентгеновского излучения – от единиц до нескольких десятков мГр [27]. Приемлемым приближением к указанному определению следует считать верхней границей дозу, при которой одному попаданию ионизирующей частицы подвергаются не более 20% ядер. Это означает, что в отсутствие взаимодействия пораженных участков хромосомы при прохождении одного кванта резко снижается вероятность возникновения неправильно или медленно репарируемых двунитевых разрывов ДНК. Таким образом, дефиниция «малой дозы» жестко привязана к понятию «чувствительный объем». Если за чувствительный объем принимать клеточное ядро, то доза, которая приходится на один акт энергопоглощения при действии редкоионизирующего излучения, будет составлять 0,2-0,3 сГр [26]; если же в качестве мишени считать ДНК, что составляет в эукариотических клетках 1-2%, то, по данным [28], эти дозы находятся в диапазоне 20-30 сГр.

Остается актуальной дефиниция «необходимой» и «достаточной» степени радиационной безопасности как для пациентов, так и для персонала, что может свидетельствовать о приемлемости оправданного риска при действии малых доз ИИ. Поэтому основной задачей нормирования радиационной безопасности является анализ двух альтернативных категорий «польза» и «вред» и определение условий облучения, при которых польза существенно преобладает над ущербом (принцип ALARA – «настолько мало, насколько разумно достижимо — As Low As Reasonable Achievable») [29]. Поскольку воздействие ИИ – явление потенциально онкогенное, то наилучший способ защиты – это удерживать уровни облучения «как можно на более низком, разумно достижимом уровне». Это означает, что дозы облучения персонала и населения должны быть минимальны и не достигать верхних границ нормативов. При этом возникает проблема в определении понятия «разумно достижимый уровень облучения».

Принцип ALARA используется в практике радиационной безопасности (в Америке — еще со времен Манхэттенского проекта создания атомной бомбы) для ограничения нежелательного облучения людей. Основанием для введения этого принципа служили недостаточные знания о возможных неблагоприятных для здоровья человека последствиях облучения в дозах меньше установленных пределов. В 1977 г. МКРЗ сформулировала новые позиции, согласно которым облучение на уровне предела дозы должно рассматриваться как исключительное, а повседневная практика обеспечения

радиационной безопасности должна опираться на применение принципа ALARA. К определению принципа были добавлены слова: «с учетом социальных и экономических факторов». Основанием изменения позиции МКРЗ послужили данные о стохастических эффектах малых доз ИИ. Это придает, в свою очередь, принципу ALARA количественный характер. Отсюда вытекает основная задача нормирования радиационной безопасности: анализ двух альтернативных категорий «польза» и «вред» и определение условий облучения, при которых польза существенно преобладает над ущербом. Это обеспечит, в свою очередь, приемлемость оправданного риска при действии малых доз ИИ как для пациентов, так и для персонала, снижение дозовых нагрузок без ущерба для диагностической ценности. Важно еще раз отметить, что медицинские рентгенологические исследования вносят наибольший вклад в надфоновое облучение населения. Принцип ALARA предполагает отсутствие абсолютно безопасного уровня; тем не менее устанавливаются ограничения профессиональной дозы лучевой нагрузки, преследующие цель предупредить возникновение детерминированных эффектов облучения путем выбора предельной поглощаемой дозы ниже порогового уровня и ограничить риск возникновения стохастических эффектов уровнем, разумным с точки зрения социальных потребностей и ценностей, получаемой пользы и экономических факторов.

Наиболее репрезентативная информация получена в отношении частоты аберраций хромосом, индуцированных в лимфоцитах периферической крови (ЛПК) человека при облучении в малых дозах. Общепризнано, что хромосомные аберрации – одни из важнейших проявлений действия ИИ на геном человека [30], которые могут давать клоны предопухолевых клеток [31]. Уникальное сочетание свойств закономерно выдвинуло лимфоциты на первое место среди всех тест-систем, предназначенных для оценки генетических эффектов малых доз ИИ. Именно на этом объекте выполнены наиболее масштабные исследования характера зависимости «доза-эффект».

Радиобиология располагает неоспоримыми доказательствами в пользу того, что индуцированные под влиянием облучения аберрации хромосом, образование которых связано с изменением структуры и активности онкогенов, принимают участие в злокачественной трансформации клеток. Практически даже при самых низких дозах ИИ (1 мГр и менее) при проведении рентгенологических исследований органов грудной клетки, пищевода, желудка в ЛПК обследуемых лиц регистрируется повышенный уровень аберраций хромосом [32]. Спустя десятилетия после диагностического облучения регистрируется повышенный уровень аберрантных лимфоцитов в кровяном русле [33].

Для контроля лучевых нагрузок при проведении скрининговых рентгенологических обследований отдельных контингентов населения целесообразно использование методов биологической, а именно цитогенетической дозиметрии/индикации, осно-

ванной на учете радиационно-индуцированных aberrаций хромосом в культуре ЛПК человека (в исследованиях *in vitro* и *in vivo*) [34]. В этом случае радиобиологическая информация может быть получена путем моделирования условий облучения на тканеэквивалентном фантоме.

В радиобиологических исследованиях [35, 36] сопоставлены данные биологической (цитогенетической) индикации лучевого воздействия и физической дозиметрии в следующих условиях: при флюорографии ОГК флаконы с донорской кровью располагали в экспериментальных точках в области щитовидной, вилочковой и грудных желез тканеэквивалентного фантома «Alderson»; при маммографии – на верхней и нижней поверхностях фантома грудной железы. С целью индикации степени лучевого воздействия использована тест-система культуры ЛПК условно здоровых лиц с метафазным анализом aberrаций хромосом [29]. Физическую дозиметрию проводили с помощью автоматизированной термолюминесцентной системы ALNOR. Установлено, что при флюорографии ОГК в передней прямой и правой боковой проекциях суммарное число aberrаций хромосом в экспериментальной точке на верхней и нижней поверхностях левой грудной железы (находившейся ближе к источнику ИИ) при значении эквивалентной дозы 3,25 мЗв составляло $9,5 \pm 2,1$ на 100 клеток, что превысило спонтанный уровень хромосомных aberrаций в 3 раза.

При маммографии в двух проекциях (прямой и боковой) общее число aberrаций хромосом в экспериментальной точке на верхней поверхности грудной железы при значении эквивалентной дозы 6,08 мЗв достигало $13,0 \pm 2,5$, что превысило спонтанный уровень более чем в 4 раза [35, 36].

Экспериментальный материал, полученный на хромосомном уровне высоко радиочувствительных клеток человека (Т-лимфоцитах), позволяет констатировать, что при многопроекционной флюорографии ОГК и при маммографии в тканях грудной железы могут развиваться радиационно-индуцированные повреждения, которые потенциально повышают риск развития РГЖ радиационного генеза.

Показано, что при проведении рентгенологических исследований ОГК (низкие дозы локального облучения) выход перестроек хромосом в клетках крови пациентов существенно возрастает [37]. По убеждениям авторов работы, это может предопределить в будущем развитие радиационно-ассоциированного рака среди лиц, прошедших профилактическую флюорографию.

Важно отметить, что рентгенологи представляют собой уникальную профессиональную группу, связанную с облучением с низкой мощностью дозы. В работе [38] установлена взаимосвязь между частотой развития некоторых видов радиационно-ассоциированных опухолей (карцинома грудной железы, меланома, лейкомия) в группе рентгенологов и хроническим профессиональным облучением.

Часто при рентгенологических исследованиях облучению подвергается значительная часть

активного костного мозга, который в скелете распределен неравномерно. Наиболее высокая концентрация костного мозга в костях таза, позвоночника, черепа. Поэтому исследователи полагают, что повышенный уровень aberrаций хромосом в клетках костного мозга является признаком предлейкозного состояния [32].

Таким образом, облучение в малых (надфоновых) дозах при рентгенологических обследованиях может индуцировать повышенный уровень aberrаций хромосом в клетках облучаемых тканей. При флюорографическом и маммографическом скрининге существует риск развития радиационно-индуцированной нестабильности в клетках грудной железы, что является актуальным при обследовании женского населения Украины, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях. Повторные радиационные воздействия для этих клеток могут служить промотором канцерогенеза.

На основании выполненных исследований нами сформулированы задачи биологической (цитогенетической) дозиметрии/индикации в рентгенологии [34], которые позволят снизить вероятность развития стохастических отдаленных эффектов (уровень радиационно-индуцированных генетических изменений и канцерогенный риск) малых доз:

- моделирование условий проведения рентгенологических исследований на тканеэквивалентном фантоме и оценка радиационно-индуцированных цитогенетических эффектов прежде всего в области критических тканей и органов (исследование *in vitro*);
- цитогенетический мониторинг пациентов после проведения рентгенологических обследований с целью объективизации оценки негативных отдаленных последствий облучения. Это касается, прежде всего, пациентов с хроническими заболеваниями, подвергающихся частым повторным рентгенологическим исследованиям, с ослабленным иммунитетом и т. д. (исследования *in vivo*).

Мы полагаем, что эти задачи актуальны и в настоящее время, несмотря на техническое усовершенствование рентгенодиагностической аппаратуры и радиационной защиты пациентов и персонала.

Выводы

Анализ данных литературы и собственных исследований аргументирует необходимость разработки более взвешенных показаний к проведению профилактических рентгенологических обследований населения с учетом вероятности развития радиационного канцерогенеза. Однако такая позиция не должна привести к необоснованному сокращению рентгеновских диагностических исследований и, таким образом, ухудшению здоровья населения. Для Украины в условиях длительного радиоэкологического кризиса после Чернобыльской аварии [39], повышения уровней заболеваемости злокачественными новообразованиями [10] и туберкулезом [40] актуальность таких исследований очевидна. Это аргументирует необходимость пристального внимания, в том числе специалистов

в області радіаційної гігієни [41], к доповнителюму облученню населення за счет лучевой діагностики, а также защиты жизненно важных органов и тканей с обязательным контролем дозовых нагрузок и привлечением методов клинической радиобиологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пилипенко М.І. Діагностичні референтні (реко-мендовані) рівні в рентгенодіагностиці / М.І. Пилипенко, Л.Л. Стадник, О.А. Федько, О.Ю. Шальопа // Укр. радіол. журнал. – 2010. – Т. XIII, № 4. – С. 396-400.
2. Ставицкий Р.В. Контроль и ограничение дозовых нагрузок на пациентов при рентгенологических исследованиях. Методические рекомендации / В.М. Ставицкий. – М.: Минздрав РФ, 1993. – 16 с.
3. Малаховский В.Н. Радиационная безопасность рентгенологических исследований (учеб.-метод. пособие для врачей) / В.Н. Малаховский, Г.Е. Труфанов, В.В. Рязанов. – СПб.: ЭЛБИ-СПб, 2007. – 104 с.
4. Коваленко Ю.Н. Роль цифровых технологий в снижении радиационных рисков в рентгенодиагностике / Ю.Н. Коваленко, С.И. Мирошниченко, В.А. Чижевский // Радіолог. вісник. – 2009. – № 2. – С. 28-30.
5. Basic safety standards: safety for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources / Vienna: IAEA., 1996. – Safety Series № 115. – 140 p.
6. Radiation Protection 118. Update Mars 2008. Referral Guidelines For Imaging: European Commission Publication. Directorate-General for Energy and Transport Directorate H – Nuclear Energy Unit H4. – Radiation Protection, 2008. – 125 p.
7. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). Державні гігієнічні нормативи. – К., 1998. – 198 с.
8. Коваленко Ю.М. Роль цифрових технологій у зменшенні променевого навантаження на пацієнтів при проведенні рентгенологічних досліджень / Ю.М. Коваленко // Укр. радіол. журн. – 2011. – Т. XIX, № 3. – С. 340-341.
9. Сіднев О.Б. Дозиметрія радіаційного контролю в медичній діагностиці / О.Б. Сіднев // Гігієна населених місць. – 2010. – № 56. – С. 227-235.
10. Справочник по онкологии / Под ред. С.А. Шалимова, Ю.А. Гриневича, Д.В. Мясоєдова. – К.: Здоров'я, 2008. – 576 с.
11. Rassi H. Practical aspects in breast cancer tumors for mutation detection / H. Rassi, M. Haushmand, N.G. Gorovenko // Abstract Book 17th Intern. Congress on Anti-Cancer Treatment. — Paris, France, 2006. – P. 184.
12. Францевич К.А. Застосування рентгенівської мамографічної системи DIAMOND з цифровою стереотаксичною приставкою DELTA 32 для біопсії молочної залози / К.А. Францевич // Вісник НТУУ «КПІ». – 2009. – Вип. 38. – С. 117-127.
13. Myrden J.A. Breast Cancer Following Multiple Fluoroscopies during Artificial Pneumothorax Treatment of Pulmonary Tuberculosis / J.A. Myrden, J.E. Hiltz // J. Canadian Medical Association. – 1969. – V. 100. – P. 1032-1034.
14. Boise L.D. Estimation of Breast Doses and Breast Cancer Risk Associated with Repeated Fluoroscopic Chest Examination of Women with Tuberculosis / L.D. Boise, M. Rosenstein, E.D. Trout // Radiat. Research. – 1978. – V. 73. – P. 373-390.
15. Baverstock K.F. Risk of Radiation at low Dose Rates /K.F. Baverstock, D. Papworth, I.J. Vennart // Lancet. — 1981. – I (Feb. 21). – P. 430-433.
16. Baverstock K.F. A note on Radium Body Content and Breast Cancer in UK. Radium Luminescence / K.F. Baverstock, I.L. Vennart // Health Physics. — 1983. — V. 44, Suppl. № 1. – P. 575-577.
17. Федорова О.А. Новые стандарты скрининга по раннему выявлению рака молочной железы // Укр. мед. часопис. – 2013. – № 2. – С. 123.
18. Холл Э.В. Радиация и жизнь. Пер. с англ. – М.: Медицина, 1989. – 256 с.

19. Cohagan I.K. Radiogenic breast cancer effects of mammographic screening / I.K.Cohagan // J. Nat. Cancer Inst. – 1986. – V. 77 (1). – P. 71-76.
20. Hildreth N.G. Radiation-induced breast cancer / N.G. Hildreth // N.Y. State J. Med. — 1984. – V. 84 (12). – P. 588-589.
21. Вайсерман А.М. Заболеваемость и смертность от рака при облучении в малых дозах: эпидемиологические аспекты / А.М. Вайсерман, Л.В. Мехова, Н.М. Кошель, В.П. Войтенко // Радиаци. биология. Радиоэкология. – 2010. – Т. 50, № 6. – С. 691-702.
22. Brenner D.J. Computed Tomography – An Increasing Source of Radiation Exposure / D.J. Brenner, E.J. Hall // N. Engl. J. Med. – 2007. – V. 357. – P. 2277-2284.
23. Scott B.R. It's time for a new low-dose radiation risk assessment paradigm – one that acknowledges hormesis / B.R. Scott // Dose Response. – 2008. – V. 6. – P. 333-351.
24. Scott B.R. Sparsely Ionizing Diagnostic and Natural Background Radiations are Likely Preventing Cancer and Other Genomic-Instability-Associated Diseases / B.R. Scott, J. Di Palma // Dose Response. – 2007. – V. 5. – P. 230-255.
25. Bauer G. Low dose radiation and intercellular induction of apoptosis: potential implications for the control of oncogenesis / G. Bauer // Int. J. Radiat. Biol. – 2007. – V. 83 (11-12). – P. 873-888.
26. ICRU, Report 36. – Maryland: Int. Comis. On Radiat. Units and Measu. – 1983. – 170 p.
27. Рождественский Л.М. Про и contra пороговости/беспороговости мутагенного (канцерогенного) действия ионизирующего излучения низкого уровня / Л.М. Рождественский // Радиаци. биология. Радиоэкология. – 2001. – Т. 41, № 5. – С. 580-588.
28. Burkart W. Microdosimetric constraints on specific adaptation mechanisms to reduce DNA damage caused by ionizing radiation / W. Burkart, P. Heusser // Radiat. Protect. Dosim. – 1990. – V. 31 (1/4). – P. 269-274.
29. Демина Э.А. Радиационная цитогенетика / Э.А. Демина, М.А. Пилинская, Ю.И. Петунин, Д.А. Ключин. – К.: Здоров'я, 2009. – 368 с.
30. Эйдельман Ю.А. Исследование дозовой зависимости индуцированных комплексных межхромосомных обменов методами биофизического моделирования / Ю.А. Эйдельман, С.В. Сланина, С.Г. Андреев // Радиаци. биология. Радиоэкология. – 2014. – Т. 54, № 2. – С. 140-152.
31. Bouffler S.D. Chromosomal mechanisms in murine radiation acute myeloid leukaemogenesis / S.D. Bouffler, G. Breckon, R. Cox // Carcinogenesis. – 1996. – V. 17, № 4. – P. 655-659.
32. Ставицкий Р.В. Радиационная защита в медицинской рентгенологии / Р.В. Ставицкий, М.М. Блинов, И.Х. Рабкин, Л.А. Лебедев. – М.: Кабур, 1994. – 272 с.
33. Шевченко В.А. Использование метода биологической дозиметрии в условиях аварии на ЧАЭС / В.А. Шевченко, Э.А. Акаева, И.М. Елисеев и др. // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – М.: ВНИИТИ, 1990. – № 2. – С. 69-90.
34. Демина Э.А. Задачи биологической (цитогенетической) дозиметрии в рентгенологии / Э.А. Демина // 36. наук. праць «Променева діагностика, променева терапія». — К.: Медицина України, 2005. – С. 54-55.
35. Демин В.Т. Цитогенетическая индикация лучевого воздействия на ткани молочной железы при проведении скрининговых рентгенологических обследований женщин / В.Т. Демин, Э.А. Демина // Злоякісні новоутворення. – 2002. – № 2. – С. 43-44.
36. Demin V. The cytogenetic method of dosimetric control for screening mammography / V. Demin, E. Domina // European Congress Radiology. March 2-6 2004. Vienna, Austria, 2004. – P. 390.
37. Рабкин И.Х. Тканевые дозы при рентгенологических исследованиях / И.Х. Рабкин, Р.В. Ставицкий, Н.Н. Блинов, Ю.Д. Васильев. – М.: Медицина, 1985. – 223 с.
38. Рон И. Смертность и частота рака у рентгенологов США / И. Рон, М. Дуди, Э. Сигурдсон / Матер. III Междунар. симпозиума «Хроническое радиационное воздействие: медико-биологические эффекты». — Челябинск. – 2005. – С. 47.

39. 25 лет Чернобыльской катастрофы. Безопасность будущего / Национальный доклад Украины. – К. : КІМ, 2011. – 368 с.

40. Фещенко, Ю.І. Туберкульоз: організація, діагностика, лікування, профілактика та контроль за смертністю / Ю.І. Фещенко, В.М. Мельник, Л.В. Турченко, С.В. Лірник. – К.: Здоров'я, 2010. – 447 с.

41. Мурашко В.О. Радіаційна гігієна: підручник для лікарів-інтернів та лікарів-слухачів / В.О. Мурашко, Д.С. Мечев, В.Г. Бардов та ін. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 376 с.

ПРОМЕНЕВА ДІАГНОСТИКА І КАНЦЕРОГЕННИЙ РИЗИК (погляд радіобіолога)

Е.А. Дьоміна

Мета огляду – узагальнення даних літератури та результатів власних радіобіологічних досліджень щодо розвитку радіаційно-асоційованих пухлин унаслідок променевої діагностики. Медичні рентгенологічні дослідження роблять найбільший внесок у над фонове опромінення населення, значна частина якого підлягає обстеженню з метою діагностики основного захворювання, динамічного спостереження за пацієнтом протягом лікування, пошуку супутніх захворювань, профілактичних обстежень. Аргументовано із залученням радіобіологічних даних необхідність подальшої розробки більш зважених показань для проведення профілактичних рентгенологічних обстежень населення в умовах радіоекологічної кризи після Чорнобильської аварії з урахуванням вірогідності розвитку радіаційного канцерогенезу. Сформульовані завдання використання біологічної дозиметрії/індикації для променевої діагностики, які актуальні, незважаючи на технічне удосконалення діагностичної апаратури та радіаційного захисту пацієнтів та персоналу.

Ключові слова: рентгенологічні та радіобіологічні дослідження, малі дози, лімфоцити, хромосомні аберації, радіаційний канцерогенез.

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА И КАНЦЕРОГЕННЫЙ РИСК (взгляд радиобиолога)

Э.А. Дёмина

Цель обзора – обобщение данных литературы и результатов собственных радиобиологических (биодозиметрических) исследований относительно развития радиационно-ассоциированных опухолей как следствие лучевой диагностики. Медицинские рентгенологические

исследования вносят наибольший вклад в надфоновое облучение населения, значительная часть которого подлeжит обследованию с целью диагностики основного заболевания, динамического наблюдения за пациентом в ходе лечения, поиска сопутствующих заболеваний, профилактических обследований. Аргументирована с привлечением радиобиологических данных необходимость разработки более взвешенных показаний к проведению профилактических рентгенологических обследований населения в условиях радиоэкологического кризиса после Чернобыльской аварии с учетом вероятности развития радиационного канцерогенеза. Сформулированы задачи использования биологической дозиметрии/индикации в области лучевой диагностики, которые актуальны, несмотря на техническое усовершенствование рентгенодиагностической аппаратуры и радиационной защиты пациентов и персонала.

Ключевые слова: рентгенологические и радиобиологические исследования, малые дозы, лимфоциты, хромосомные аберации, радиационный канцерогенез.

RADIOLOGICAL DIAGNOSIS AND CANCER RISK (view of radiobiologist)

E.A. Demina

The purpose of the review was the synthesis of the literature data and the results of our radiobiological research on the development of radiation-associated tumors as a result of medical radiography (X-ray) diagnostic. Medical X-ray examinations contribute the most to the excess of radiation exposure of the population, much of which is subject to examination to diagnose the underlying disease, the dynamic observation of the patient during treatment, the research of related diseases, and preventative examinations. The review provides arguments for the necessity of developing a more balanced indication for preventative radiological examination of the population in the aftermath of radio-ecological crisis caused by the Chernobyl accident, taking into account the likelihood of radiation carcinogenesis. This paper formulates the objectives of using biological dosimetry /indication in the field of radiology diagnostics, that are still relevant despite the technical improvement of X-ray equipment and radiation protection of patients and staff.

Key words: radiology and radiobiology researches, small doses, lymphocytes, chromosomal aberration, radiation carcinogenesis.

ЗАХОДИ АСОЦІАЦІЇ РАДІОЛОГІВ

5 З'їзд УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ФАХІВЦІВ З ЯДЕРНОЇ МЕДИЦИНИ (УТФЯМ)

15 вересня 2015 р., м. Ужгород

НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ З МІЖНАРОДНОЮ УЧАСТЮ «ПРОМЕНЕВА ДІАГНОСТИКА В ОСТЕОЛОГІЇ»

1-2 жовтня 2015 р., м. Харків