

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ РЕФЕРЕНТНЫЕ УРОВНИ – НОВЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ МЕДИЦИНСКОМ ОБЛУЧЕНИИ

DIAGNOSTIC REFERENCE LEVELS – A NEW APPROACH TO RADIATION PROTECTION DURING MEDICAL EXPOSURE

К. А. Веренич^{1,2}, В. Ф. Миненко¹

К. А. Viarenich, V. F. Minenko

*¹Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, НИИ ЯП БГУ*

г. Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, БГУ

г. Минск, Республика Беларусь

Verenich@inp.bsu.by

¹Institute for Nuclear Problems, Belarusian State University, INP BSU

Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian State University, BSU

Minsk, Republic of Belarus

Диагностические референтные уровни представляют собой современный подход к радиационной защите пациентов при медицинском облучении. Концепция диагностических референтных уровней успешно внедрена в Европе. Снижение доз на входной поверхности пациента достигается как за счет перехода к использованию современной рентгенодиагностической техники, и за счет мероприятий, непосредственно нацеленных на выравнивание доз по диагностическому референтному уровню. В отсутствие инструментальных средств контроля облучения пациентов определение диагностических референтных уровней возможно с использованием компьютерного моделирования.

Diagnostic reference levels are a contemporary approach to radiation protection of patients during medical exposure. The concept of diagnostic reference levels was successfully implemented in Europe. Entrance surface doses to the patients decrease because modern X-ray machines are started to be used and also caused by measures taken to flatten the doses to match diagnostic reference level. If instrumental tools to control exposure of the patient are unavailable, diagnostic reference levels could be determined using computer simulation.

Ключевые слова: моделирование, доза, фантом.

Keywords: simulation, dose, phantom.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2023-1-318-321>

Медицинское облучение, проводимое в диагностических целях, нацелено на получение изображений. Использование при этом ионизирующего излучения неотъемлемо от радиационного риска. Задачей радиационной защиты при медицинском облучении является сохранение баланса между пользой от медицинского облучения и риском для данного пациента.

Обоснованность проведения рентгенологического исследования определяется тем, что врач-специалист направляет на процедуру, а врач-рентгенолог принимает решение о возможности ее выполнения. Очевидно, что в зависимости от показаний исследование может быть исключено. Например, при наличии у пациентки беременности следует избегать облучения, при котором эмбрион будет находиться в области прямого излучения.

С одной стороны, медицинское облучение представляет собой основной источник излучения, действующего на человека, вред от которого меньше, чем приносимая польза для пациента. Пределы доз не применяются для медицинского облучения.

С другой стороны, в случае профессионального облучения дозы облучения отдельных лиц из числа профессионалов существенно выше, чем от естественного фона и диагностического медицинского облучения и приносимый излучением вред здоровью может значительно превысить получаемую выгоду. Для профессионального облучения вводятся ограничения по дозам облучения органов, тканей и тела человека – основные дозовые пределы. Поэтому при профессиональном облучении широко используется оптимизация радиационной защиты путем снижения индивидуальной дозы облучения в данной радиационной зоне.

При медицинском облучении пациентов множество факторов влияет на получаемую дозу облучения. В качестве инструмента для оптимизации защиты при медицинском облучении пациентов для диагностических и интервенционных процедур была предложена форма уровня расследования, называемая диагностическим

референтным уровнем (ДРУ). Он используется в медицинской визуализации с использованием ионизирующего излучения, чтобы указать, является ли в обычных условиях количество излучения, используемое для указанной процедуры, необычно высоким или низким для этой процедуры. Например, выявляемые высокие дозы облучения могут быть обусловлены использованием рентгенодиагностических аппаратов с менее чувствительным приемником изображения. Поэтому нельзя ожидать, что дозы облучения в кабинетах с устаревшими пленочными рентгеновскими аппаратами будут соответствовать этому значению ДРУ. Таким образом, необходимо выяснить, почему в данном учреждении здравоохранения постоянно регистрируются высокие дозы, когда такая ситуация наблюдается не в единичных случаях, а систематически.

ДРУ не являются пределами доз облучения. Подход к определению ДРУ сформулирован в специальном руководстве по безопасности МАГАТЭ «Радиационная защита при медицинском использовании ионизирующего излучения» [1]. Величины, которые используются в качестве величины для определения ДРУ, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Величины, используемые для определения ДРУ [1]

Вид обследования	Используемая величина
Рентгенография	Доза на входной поверхности по центру пучка, произведение дозы на площадь поля излучения
Компьютерная томография	Компьютерно-томографический индекс дозы, произведение дозы на длину сканирования
Рентгеноскопия	Произведение дозы на площадь поля излучения
Маммография и томосинтез	Доза на входной поверхности по центру пучка, доза в молочной железе
Дентальная рентгенография	Доза в воздухе (без обратного рассеяния) для проекционной рентгенографии; произведение дозы на площадь поля излучения (для панорамной рентгенографии и конусно-лучевой компьютерной томографии)
Интервенционные процедуры	Произведение дозы на площадь поля излучения, интегральная доза на входной поверхности кожи пациента

После внедрения системы ДРУ подходящий интервал между национальными / региональными обследованиями сбора данных по дальнейшему изменению ДРУ может составлять 3-5 лет в зависимости от степени изменчивости результатов опроса, внедрения новых технологий или программного обеспечения для обработки изображений и наличия персонала для проведения анализа. Снижение ДРУ может происходить после мероприятий, направленных на снижение доз облучения в тех учреждениях здравоохранения, в которых медианные значения величин превышают установленный национальный ДРУ. Такие мероприятия проводились в различных странах. При переходе к рентгенодиагностическим аппаратам с цифровыми приемниками изображения коренным образом изменяется возможность оптимизации радиационной защиты. При использовании рентгеновской пленки изображение приемлемого качества получалось при определенном сочетании экспозиции, напряжения на рентгеновской трубке и фильтра излучения. Повышение экспозиции рентгеновского излучения вело к засвечиванию пленки. В этой ситуации оптимизация радиационной защиты достигалась путем подбора параметров излучения, ведущих к снижению дозы. При использовании цифрового приемника увеличение экспозиции не приводит к ухудшению качества получаемого рентгеновского изображения. В этом случае есть возможность снизить экспозицию. Однако, необходимо, чтобы качество снимка оставалось достаточно высоким.

Существенно, что оптимизация радиационной защиты при диагностических процедурах может потребовать повышения дозы излучения от рентгенодиагностического аппарата. Так, использование отсеивающих решеток для снижения вуали приводит к необходимости повышения дозы облучения от 2 до 4 раз [2].

В Российской Федерации в 2012 году утверждены Методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12 «Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения», в которой изложена методика определения ДРУ, но их национальные значения не определены [3]. Особенностью данных методических рекомендаций является то, что в них предложено устанавливать ДРУ для рентгенографии по эффективной дозе, а также по дозе на входной поверхности пациента и произведению дозы на площадь поля излучения.

Расчет дозы на входной поверхности пациента может осуществляться по следующей формуле:

$$ESD = RY \cdot r^2 \cdot R^{-2} I \cdot t \cdot BSF, \quad (1)$$

где ESD (с англ. entrance surface dose) – доза на входной поверхности пациента, мГр; RY – радиационный выход, измеренный на расстоянии r от фокального пятна, мГр/(мА·с), r – расстояние, см; R – расстояние от фокального пятна до точки на входной поверхности пациента по центру пучка, см; I – ток на аноде рентгеновской трубки, мА; t – экспозиция, с; BSF (с англ. backscatter factor) – коэффициент обратного рассеяния.

Радиационный выход RY можно достаточно легко определить при проведении текущего контроля эксплуатационных параметров рентгеновского оборудования в соответствии с СанПиН 2.6.1.8-38-2003 «Гигиенические

требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований». При этом не учитывается влияние температуры рентгеновской трубки и других текущих параметров на ее радиационный выход. 8 марта 2023 года в Беларуси вступил в силу новый Гигиенический норматив «Критерии радиационного воздействия», в пункте «Критерии радиационной безопасности медицинских ИИИ» которого требуется обязательное наличие устройства по регистрации параметров для оценки доз пациентов. К таким устройствам могут относиться проходные ионизационные камеры, закрепленные на тубусе рентгеновской трубки, и измеряющие произведение дозы на площадь. Преимуществом этих ионизационных камер является возможность измерения дозы облучения в режиме реального времени. В свою очередь, произведение дозы на площадь может использоваться для установления ДРУ как самостоятельная величина, так и косвенная, на основании которой может рассчитываться доза на входной поверхности по следующей формуле [4]:

$$ESD = \frac{DAP}{S} \cdot \frac{FID^2}{R^2} \cdot BSF, \quad (2)$$

где DAP – произведение дозы на площадь, измеренная проходной ионизационной камерой, мГр·см²; S – площадь поля излучения в плоскости приемника изображения, см²; FID (с англ. *focus-image distance*) – расстояние от фокального пятна рентгеновской трубки до приемника изображения, см.

Наиболее надежные расчеты входной дозы обычно проводятся с помощью метода Монте-Карло, который реализован в ряде компьютерных программ. Расчет величин, используемых для установления ДРУ, путем математического моделирования приобретает особую ценность при отсутствии результатов прямых измерений дозы.

Радиационный выход R_Y можно рассчитать аналитически по закону обратных квадратов, если известен спектр излучения рентгеновской трубки или другие характеристики, по которым можно подобрать подходящий спектр (слой половинного ослабления или полная эквивалентная фильтрация, напряжение на рентгеновской трубке). Коэффициент обратного рассеяния BSF зависит от размеров поля излучения и используемой рентгенологической укладки. BSF можно либо изменить на коже пациента с использованием термолюминесцентного дозиметра, либо рассчитать с помощью метода Монте-Карло и вычислительного фантома.

Нами были проведены расчеты входной дозы при рентгенографии грудной полости в заднепередней проекции для вычислительного фантома взрослого мужчины, рекомендованного Международной комиссией по радиологической защите (рост – 176 см, вес – 73 кг). Спектр излучения рентгеновской трубки моделировался с помощью свободной компьютерной программы SpekPy для расчета спектров излучения рентгеновских трубок, написанной на языке Python (http://bitbucket.org/spekpy/spekpy_release). Фокальное пятно рентгеновской трубки моделировалось точечным источником. Прямоугольное поле пучка излучения формировалось с помощью свинцовых шторок. Перенос рентгеновского излучения рассчитывался в программе MCNP. В качестве детектора использован прямоугольный параллелепипед площадью 25 см² в плоскости, поперечной направлению пучка излучения и толщиной 0,55 см. Во всех случаях fid составляло 181 см, $R = 154$ см, $I = 1$ мА, $t = 1$ с. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов входной дозы при рентгенографии органов грудной полости

Напряжение, кВ	Фильтр, мм Al	S, см ²	ESD, мГр	BSF, отн. ед.
110	2,5	35×35	0,078	1,334
110	2,5	30×40	0,078	1,331
125	2,5	35×35	0,096	1,345
125	2,5	30×40	0,094	1,318

Статистическая погрешность расчетов ESD, обусловленная методом Монте-Карло, для значений в таблице 2 составила не более 0,5 %. Значение входной дозы в таблице 2 приведено в расчете на единичное произведение $I \cdot t$, поэтому для расчета входной дозы используется коэффициент обратного рассеяния BSF, подставляемый в формулу (1) или (2).

Аналогичным образом коэффициенты обратного рассеяния для расчета входной дозы облучения рассчитаны для различных сочетаний проекций, размеров поля излучения, напряжения на рентгеновской трубке, эквивалентного алюминиевого фильтра и пульсации напряжения и 13 рентгенологических укладок (череп, кишечник, флюорография, желудок, органы грудной клетки, таз/крестец, ребра/грудина, грудной отдел позвоночника, шейный отдел позвоночника, поясничный отдел позвоночника, цистография, урография и холецистография). Всего рассчитано 1600 коэффициентов. Эти коэффициенты внесены в базу данных программного продукта «Оценка доз», предназначенного для экспресс-оценки доз облучения пациентов при диагностической рентгенографии [5]. Программный продукт «Оценка доз» доступен в НИИ ЯП БГУ по запросу. Эта программа позволяет определять как входную дозу, так и вычислять эффективную дозу облучения в соответствии с алгоритмом расчета, рекомендованным в Публикации № 103 МКРЗ. Программный продукт «Оценка доз» может быть полезным для внедрения концепции ДРУ в клиническую практику, поскольку использованный в расчетах референтный фантом МКРЗ взрослого мужчины по своим антропометрическим параметрам соответствует человеку средних размеров.

Таким образом, диагностические референтные уровни являются современным и нужным средством радиационной защиты пациента при медицинском облучении. Внедрение этого инструмента в практическое здравоохранение проведено в России и уже успело показать свою эффективность. Работа по разработке этих уровней в Беларуси для рентгенографии находится в начале пути и на данном этапе не может целиком опираться на измерения. Поэтому предлагается в отсутствие дозиметрической аппаратуры пользоваться программным продуктом «Оценка доз».

ЛИТЕРАТУРА

1. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation [Electronic resource]: Specific Safety Guide No. SSG-46. – Vienna: IAEA, 2018. – Mode of Access: <https://www.iaea.org/publications/11102/radiation-protection-and-safety-in-medical-uses-of-ionizing-radiation>. – Date of access: 28.05.2020.
2. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ : пер. с англ. / Под ред. Д. Валентина. – СПб, 2011. – 66 с.
3. Водоватов, А.В. Анализ уровней облучения взрослых пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований в Российской Федерации в 2009-2014 гг. / А. В. Водоватов, В. Ю. Голиков, С. А. Кальницкий, И. Г. Шацкий, Л. А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, №. 3. – С. 66–75.
4. Стадник, Л. Л. Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней / Л. Л. Стадник, О. Ю. Шалепа, О. В. Носик // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 84–91.
5. Веренич, К. А. Компьютерная программа для экспресс-оценки доз облучения пациентов при диагностической рентгенографии / К. А. Веренич, В. Ф. Миненко, С. А. Кутень // Здоровье и окружающая среда : сборник научных трудов. – Минск : РИВШ, 2019. – Вып. 29. – С. 27–30.

АНАЛИЗ СРЕДНЕСТАТИСТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ УКЛАДКЕ ПАЦИЕНТОВ С ЛЕВОСТОРОННИМ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СИСТЕМЫ CATALYST+HD И СИСТЕМЫ ABC

ANALYSIS OF AVERAGE STATISTICAL ERRORS IN THE PLACEMENT OF PATIENTS WITH LEFT-SIDED BREAST CANCER USING THE CATALYST+HD SYSTEM AND THE ABC SYSTEM

С. К. Семковский¹, Е. А. Лобова²
S. K. Semkovsky, E. A. Lobova

¹Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ
г. Минск, Республика Беларусь

²Минский городской клинический онкологический центр, г. Минск, Республика Беларусь
lizlobova@gmail.com

¹International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus ²Minsk City Clinical Oncology Center, Minsk, Republic of Belarus

Лучевая терапия злокачественных новообразований способна вызвать у пациентов лучевые реакции и осложнения со стороны нормальных тканей. Главное требование к радиационной защите пациентов состоит в максимально возможном снижении дозы в нормальных органах и тканях, окружающих мишень. При лечении рака левой молочной железы часто используется дистанционная лучевая терапия. Для снижения дозовой нагрузки на органы и ткани, располагающиеся рядом с мишенью, применяются несколько методик, основанные на задержке дыхания, такие как система Catalyst+HD и системы ABC.

Radiation therapy of malignant neoplasms can cause radiation reactions and complications from normal tissues in patients. The main requirement for radiation protection of patients is the maximum possible dose reduction in normal organs and tissues surrounding the target. In the treatment of cancer of the left breast, remote radiation therapy is often used. To reduce the dose load on organs and tissues located near the target, several techniques based on breath retention are used, such as the Catalyst+HD system and ABC systems.

Ключевые слова: рак левой молочной железы, термопластичная фиксирующая маска, задержка дыхания на глубоком вдохе, система Catalyst+HD, система ABC (Active breathing coordinator), DIBH (Deep Inspiration Breath Hold).