

## Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней

Л.Л. Стадник, О.Ю. Шалепя, О.В. Носик

Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева НАМН Украины, Харьков, Украина

*В работе представлены данные измерений входных поверхностных доз пациентов для таких массовых рентгенодиагностических исследований, как: рентгенография органов грудной клетки, шейного, грудного, поясничного отделов позвоночника, таза и флюорография. Оценка диагностических референтных уровней проведена по результатам изучения распределений доз с определением третьих квартилей. Оптимизация доз пациентов в рентгенодиагностике возможна путем их мониторинга различными дозиметрическими методами и сопоставления с установленными национальными диагностическими референтными уровнями.*

Ключевые слова: рентгенография, флюорография, мониторинг доз пациентов, диагностические рекомендованные уровни.

### Введение

По данным НКДАР ООН, рентгенодиагностические исследования вносят наибольший вклад (70–90%) в коллективную эффективную дозу населения от техногенных источников ионизирующего излучения. Одной из проблем радиационной защиты населения во всем мире является оптимизация рентгенологических исследований, которая заключается в снижении дозовых нагрузок пациентов при сохранении высокого качества диагностической информации. Как показывает международная практика, одним из основных инструментов оптимизации доз пациентов является установление национальных диагностических референтных уровней (ДРУ) медицинского облучения на основе широкомасштабных исследований в каждой стране [1].

В большинстве ведущих стран мира установление ДРУ для наиболее массовых видов исследований и для рентгенологических процедур с высокими эффективными дозами стало обязательным требованием и закреплено в нормативных документах ЕС: Медицинской Директиве 97/43 по радиационной безопасности и Руководстве ЕС №109 по установлению ДРУ при медицинском облучении [2, 3].

В начале 2000-х гг. МАГАТЭ инициировало несколько международных проектов по оценке дозовых нагрузок пациентов и возможности оптимизации рентгенологических процедур. По результатам проведенных исследований опубликован Технический доклад МАГАТЭ № 1423 [4], в котором предложена методология оптимизации радиационной защиты пациентов при медицинском диагностическом облучении, основанная на мониторинге доз пациентов, их сопоставлении с установленными ДРУ, оценке качества диагностического изображения и введении в практику программы контроля качества.

В Украине используется большой парк рентгенодиагностического оборудования – свыше 10,5 тыс. рентгеновских аппаратов, в том числе: около 2 тыс. флюорографов, 7,5 тыс. рентгеновских аппаратов общего назначения, свыше 200 компьютерных томографов, 300 маммографов, 100 ангиографов. По данным МОЗ Украины, ежегодно в стране проводится около 50 млн рентгеновских

исследований, что составляет 1,1 процедуры на душу населения. При этом национальные ДРУ не установлены, не разработана и не внедрена в практику программа контроля качества рентгенодиагностического оборудования и процедур. Оценка доз пациентов проводится согласно табличным данным, представленным в Приказе МОЗ Украины № 295 от 18.07.2001 г. [5]. Однако приведенные табличные значения доз не соответствуют реальным дозовым нагрузкам пациентов, поскольку не учитывают радиационный выход рентгеновской трубки, технику проведения исследования в отдельно взятом кабинете. Для решения данной проблемы необходимо установление национальных ДРУ, а также организация регулярного мониторинга рентгеновских аппаратов для оценки доз облучения пациентов и их сличения с установленными ДРУ.

**Цель исследования** – изучение дозовых нагрузок пациентов при наиболее массовых видах рентгенографических исследований с последующим установлением национальных диагностических рекомендованных уровней медицинского облучения, выбор и сопоставление методов проведения мониторинга доз пациентов, которые могут быть использованы на практике.

### Материалы и методы

В рамках национального исследования по изучению дозовых нагрузок пациентов, структуры рентгенодиагностических исследований, а также техники и режимов проведения процедур было проведено анкетирование рентгено-радиологических служб всех областей Украины. По результатам анкетирования установлено, что к наиболее массовым видам рентгеновских процедур относятся флюорография органов грудной клетки (ОГК) – 43,3 %, рентгенография ОГК – 16,4 %, рентгенография костно-суставной системы – 25 %. Среди органов костно-суставной системы наибольшие эффективные дозы у пациентов формируются при проведении диагностических исследований шейного, грудного, поясничного отделов позвоночника и костей таза.

Для изучения дозовых нагрузок пациентов, формирующих наибольший вклад в коллективную эффективную дозу, было выбрано 9 видов рентгенографических исследований, а именно: обзорная рентгенография ОГК; рентгенография шейного, грудного и поясничного отделов позвоночника (в двух проекциях); рентгенография костей таза, а также флюорография ОГК.

В соответствии с Техническим докладом МАГАТЭ № 457 «Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice» в качестве измеряемой дозиметрической величины в рентгенографии была выбрана входная поверхностная доза (ВПД) пациентов [6]. Оценку доз пациентов проводили двумя методами:

- прямым методом – измерение ВПД с помощью термолюминесцентных дозиметров (ТЛД);
- косвенным методом – расчет ВПД по результатам измерения радиационного выхода рентгеновской трубки или «произведения доза – площадь».

Входные поверхностные дозы пациентов измеряли методом ТЛ-дозиметрии непосредственно на пациентах во время проведения рентгенодиагностической процедуры. Пакет с термолюминесцентными детекторами размещали на коже пациента в центре поля облучения. Для измерений использовали детекторы типа MTS-N (LiF:Mg, Ti) в виде таблеток диаметром 4,5 мм, толщиной 0,8 мм (Польша). Для считывания ТЛ-сигнала использовалась установка PCI-3 (Fimel, Франция). Для получения репрезентативных результатов для каждого вида исследования на одном аппарате проводили измерения входных поверхностных доз не менее чем для 10 пациентов, близких к «стандартному» размеру (масса  $70 \pm 5$  кг, рост  $170 \pm 10$  см). Схема измерения входной поверхностной дозы пациента представлена на рисунке 1.

Было проведено около 3200 измерений доз пациентов ТЛД-методом на 92 рентгеновских аппаратах в 9 областях Украины. На каждом аппарате, где проводились измерения ВПД пациентов, были изучены условия и режимы проведения исследований (анодное напряжение и ток, время экспозиции, размеры светового поля, расстояние фокус – пленка), а также определены антропометрические данные пациентов (рост, вес).

На основе измерений радиационного выхода рентгеновской трубки аппаратов и изучения условий проведения диагностических процедур была проведена оценка ВПД косвенным методом для последующего сопоставления с результатами ТЛ-дозиметрии.

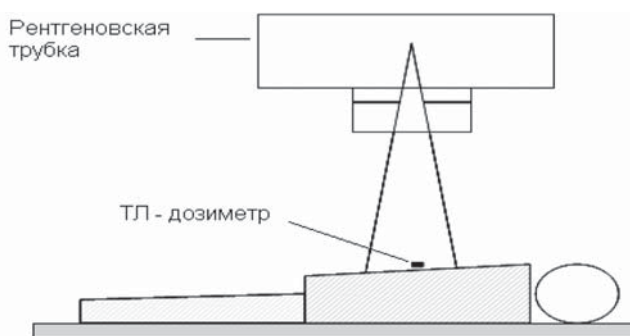


Рис. 1. Схема измерения ВПД пациента методом ТЛ-дозиметрии

Радиационный выход измеряли на расстоянии 80 см от фокуса трубки в центре поля облучения дозиметром TRIAD (Keithley, США) в диапазоне напряжений от 50 до 100 кВ с шагом 10 кВ.

Для каждого пациента значение ВПД было рассчитано по следующей формуле:

$$\text{ВПД} = R(d) \cdot (I_p \cdot t_p) \cdot \left( \frac{d}{d_{\text{diff}} - t_p} \right)^2 \cdot B, \quad (1)$$

где:  $R(d)$  – радиационный выход рентгеновской трубки, измеренный на расстоянии  $d$  от фокуса при выбранном анодном напряжении;

$(I_p \cdot t_p)$  – значение экспозиции во время облучения пациента, мАс;

$d_{\text{diff}}$  – расстояние от фокуса до стола пациента;

$t_p$  – толщина пациента;

$B$  – коэффициент обратного рассеяния для данного напряжения и размера поля.

Также было проведено сопоставление значений ВПД, измеренных ТЛД-методом на антропоморфном гетерогенном фантоме, с результатами оценки ВПД по данным измерений «произведения доза – площадь» цифровой ионизационной камерой типа ДРЦ-01 (Радиопром, Украина), установленной на выходе рентгеновской трубки.

Условия облучения фантома соответствовали реальным режимам облучения пациента «стандартного» размера. Расчет ВПД на поверхности фантома проводился по следующей формуле с учетом геометрии облучения:

$$\text{ВПД} = \frac{\text{ПДП}}{S} \cdot B = \frac{\text{ПДП}}{S_{\text{np}}} \cdot \frac{L^2}{[L - (l + d)]^2} \cdot B, \quad (2)$$

где: ПДП – значение произведения доза-площадь, Гр · см<sup>2</sup>;

$S$  – площадь поля облучения пациента, см<sup>2</sup>,

$S_{\text{np}}$  – площадь приемника изображения (пленки), см<sup>2</sup>,

$L$  – расстояние фокус-пленка, см;

$l$  – толщина пациента, см;

$d$  – расстояние стол-пленка, см;

$B$  – коэффициент обратного рассеяния для данного напряжения и размера поля.

### Результаты и обсуждение

В таблице приведены результаты измерения ВПД пациентов методом термолюминесцентной дозиметрии для 9 видов рентгенографических исследований (по основным проекциям) и флюорографии ОГК. Были определены средние значения доз, среднеквадратичные отклонения и параметры распределения (минимальное, максимальное значения, третий квартиль). Значения третьих квартилей доз определены по результатам анализа гистограмм распределений ВПД пациентов и сопоставлены со значениями указательных уровней диагностического облучения пациентов в соответствии с Основными стандартами МАГАТЭ по радиационной защите (BSS-115) [7].

По результатам анализа результатов измерений было установлено, что разброс значений ВПД пациентов по выбранным видам рентгенодиагностических исследований составлял от 45 до 170 раз на различных аппаратах.

Таблица

Результаты измерения входных поверхностных доз пациентов в сопоставлении с указательными уровнями МАГАТЭ

Вид исследования	Проекция	Количество измерений	ВПД, мГр			Третий квартиль, мГр	Указательные уровни МАГАТЭ, мГр
			Min	Max	Среднее		
Флюорография:							
– пленочная	ЗП*	204	0,60	25,10	4,25 ± 0,24	4,70	–
– цифровая	ЗП	177	0,10	4,10	0,74 ± 0,07	0,62	
Рентгенография грудной клетки	ЗП	768	0,05	10,4	0,85 ± 0,04	0,92	0,4
Шейный отдел позвоночника	ПЗ Б	240 387	0,07 0,10	9,54 10,24	1,70 ± 0,10 1,60 ± 0,10	2,30 2,00	– –
Грудной отдел позвоночника	ПЗ Б	175 170	1,48 0,42	124,75 122,46	11,97 ± 1,00 18,30 ± 1,70	11,30 18,30	7 20
Поясничный отдел позвоночника	ПЗ Б	438 381	0,74 1,56	106,23 132,85	13,30 ± 0,70 34,70 ± 1,40	15,00 40,00	10 30
Таз	ПЗ	113	0,67	48,43	13,20 ± 1,10	14,90	10

\* ЗП – задне-передняя проекция, ПЗ – передне-задняя проекция, Б – боковая проекция.

Наибольший разброс индивидуальных доз пациентов наблюдался при проведении самого массового вида исследований – пленочной профилактической флюорографии ОГК. Так, индивидуальные ВПД пациентов колебались в пределах 0,1–25,1 мГр, т. е. отношение максимальной дозы к минимальной составило 250 раз. Среднее значение ВПД пациентов при пленочной флюорографии легких по результатам всех измерений составило  $4,34 \pm 1,10$  мГр.

Для цифровых скрининговых рентгенографических аппаратов среднее значение ВПД было значительно ниже, чем на пленочных флюорографах, и составило  $0,63 \pm 0,27$  мГр.

При обзорной рентгенографии органов грудной клетки среднее значение ВПД пациентов составило  $0,93 \pm 0,15$  мГр.

Сопоставление значений третьих квартилей распределений ВПД для флюорографических и рентгенографических исследований ОГК с указательным диагностическим уровнем МАГАТЭ для данного вида исследований – 0,4 мГр показало, что для рентгенографии ОГК значение третьего квартиля в 2,3 раза превышает указательный уровень МАГАТЭ BSS 115, тогда как при пленочной флюорографии – практически в 12 раз.

Столь высокие дозы при рентгенологических исследованиях легких связаны с использованием техники низкого анодного напряжения (57 – 90 кВ) при высоких значениях экспозиции (от 6 до 47 мАс), тогда как в странах ЕС согласно Рекоменциям EUR 16260 EN используют технику «высокого напряжения» – значение анодного напряжения не менее 125 кВ при времени экспозиции менее 20 мс [8].

Анализ гистограмм распределения ВПД для других видов рентгенографических процедур показал, что практически для всех исследований значения третьих квартилей ВПД пациентов превышают в 1,3 – 2,0 раза указательные диагностические уровни МАГАТЭ (BSS-115) [7]. Исключением являлись результаты измерения доз при рентгенографии грудного отдела позвоночника (боковая проекция), в этом случае ВПД составила 18 мГр, что несколько ниже соответствующего указательного уровня МАГАТЭ для данного вида исследований – 20 мГр.

Согласно Руководству ЕС № 109 по установлению диагностических референтных уровней при медицинском облучении значения третьих квартилей распределений ВПД по изучаемым видам диагностических исследований могут быть приняты в качестве национальных ДРУ [3].

По результатам проведенных исследований были установлены следующие национальные диагностические уровни [9]:

- скрининговая цифровая рентгенография органов грудной клетки – 0,6 мГр;
- рентгенография органов грудной клетки – 0,9 мГр (ЗП-проекция) и 2,0 мГр (боковая проекция);
- рентгенография шейного отдела позвоночника – 2,0 мГр (ПЗ и боковая проекции);
- рентгенография грудного отдела позвоночника – 11,0 и 18,0 мГр (ПЗ и боковая проекции, соответственно);
- рентгенография поясничного отдела позвоночника – 15,0 и 45,0 мГр (ПЗ и боковая проекции соответственно);
- рентгенография таза – 15,0 (ПЗ-проекция).

Диагностические рекомендованные уровни для пленочной флюорографии не устанавливались ввиду того, что при данном виде исследований наблюдались высокие дозы у пациентов, а в странах ЕС данный вид исследования запрещен на законодательном уровне. Поэтому была дана рекомендация МОЗ Украины о целесообразности замены пленочной флюорографии легких на скрининговую цифровую рентгенографию органов грудной клетки, для которой национальный ДРУ составляет 0,6 мГр.

В связи с тем, что в широкой практике использование метода ТЛ-дозиметрии для определения ВПД пациентов ограничено, было проведено сопоставление результатов оценки ВПД различными методами дозиметрии: метод ТЛ-дозиметрии и косвенные методы. Расчет ВПД проводился по формулам 1 и 2 на основе данных измерения радиационного выхода аппарата и значений «произведения доза – площадь». Результаты сопоставления ВПД пациентов, измеренных ТЛ-методом, с расчетными значениями доз, представлены на рисунке 2.

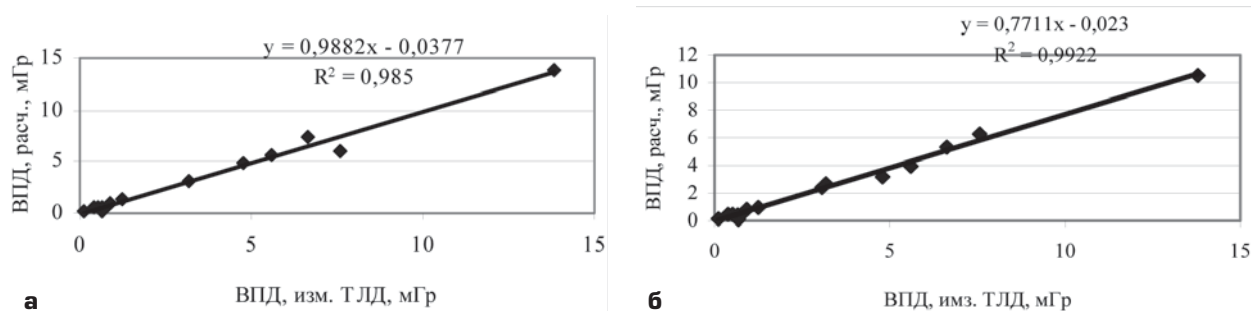


Рис. 2. Корреляция измеренных ТЛ-методом и расчетных значений ВПД по результатам измерений радиационного выхода (а) и значений произведения доза – площадь (б)

Как видно из рисунка 2 (а), коэффициент корреляции результатов измерения ВПД-методом ТЛ-дозиметрии с расчетными значениями ВПД по данным о радиационном выходе рентгеновской трубки достаточно высок и составляет  $R^2 = 0,985$ . При этом коэффициент регрессии линейного уравнения  $a$  равен  $0,99$ , что подтверждает высокую точность оценки ВПД данным косвенным методом.

При сопоставлении результатов ВПД, измеренных методом ТЛ-дозиметрии и расчетных на основе измерений «произведения доза – площадь», коэффициент корреляции результатов также очень высок –  $R^2 = 0,992$  (рис. 2б), однако коэффициент регрессии составил  $0,77$ . Разница измеренных и расчетных значений ВПД не превышала  $\pm 25\text{--}30\%$ , что, вероятно, связано с недостаточной точностью в оценке геометрических условий облучения (размер поля и расстояния фокус-пленка), которые использовались в расчете ВПД.

Таким образом, использование косвенных методов дозиметрии для оценки ВПД возможно при условии обеспечения точных оценок значений геометрических параметров диагностического исследования.

Контроль ВПД пациентов и сопоставление их с национальными ДРУ позволит соответствующим службам выявлять кабинеты с необоснованно высокими дозами пациентов по заданным видам исследований и проводить мероприятия по их снижению.

Возможность снижения доз пациентов также может быть обеспечена путем внедрения в практику программ по контролю качества дозоформирующих параметров аппаратов и технологии проведения рентгенологических процедур. Оптимизация режимов проведения исследований и своевременное устранение выявленных отклонений технических параметров от номинальных значений будет способствовать снижению доз пациентов при сохранении необходимого качества диагностической информации.

Для достижения значений международных указательных уровней в рентгенодиагностике, установленных МАГАТЭ и странах ЕС, национальные ДРУ необходимо периодически пересматривать – не реже одного раза в 3–5 лет.

## Выводы

1. Установленные диагностические рекомендованные уровни в Украине для отдельных видов рентгенографических исследований существенно превышают значения указательных диагностических уровней МАГАТЭ, что требует дальнейшей оптимизации дозовых нагрузок населения.

2. Необходимо заменить пленочную флюорографию легких на скрининговую цифровую рентгенографию органов грудной клетки, так как данный вид диагностики является малоинформативным, тогда как ВПД пациентов превышают указательный уровень МАГАТЭ для рентгенографии ОГК практически в 12 раз.

3. Высокая корреляция результатов оценки ВПД прямыми и косвенными методами позволяет использовать расчетные методы дозиметрии для мониторинга доз пациентов практически в каждом кабинете страны и сопоставлять их со значениями установленных национальных ДРУ.

4. Оптимизация доз облучения пациентов возможна только при проведении мониторинга доз «стандартных» пациентов и их сопоставления с установленными национальными ДРУ, а в случае их превышения – проведения корректировочных мероприятий для рентгеновских аппаратов, а также внедрения программ контроля качества.

## Литература

1. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations scientific committee on the effects of atomic radiation report to the general assembly with scientific annexes. – New York: UNSCEAR, 2000. – V. I–II. – 649 p.
2. Council Directive of 30 June 1997 (97/43/Euratom) on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation to medical exposures // Official J. Eur. Communities. – № L 180/22. – 1997. – 6 p.
3. Radiation Protection 109: Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for Medical Exposures. – Luxembourg: European Communities, 1999. – 25 p.
4. Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography. TECDOC – 1423. – Vienna: IAEA, 2004. – 113 p.



- 5 Наказ МОЗ України «Про створення системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення населення при рентгенологічних процедурах» – № 295 від 18.07.2001.
- 6 Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Technical Reports Series N 457. –Vienna: IAEA, 2007.– 357 p.
- 7 International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series № 115 – Vienna: IAEA, 1996. – 354 p.
- 8 European Guidelines on quality for diagnostic radiographic images, EUR 16260 EN. – Luxembourg: European Communities, 1996. – 96 p.
- 9 Інформаційне письмо МОЗ України «О нововведенні в системі охорони здоров'я» № 273–2012. – Київ, 2012.– 4 с.

Л.Л. Стадник  
Тел.: +38(057) 700 09 18

Поступила: 01.09.2014 г.

## **The assessment of patient's doses for radiography and their optimization by the establishment of the national diagnostic reference levels**

**L.L. Stadnik, O.Yu. Shalepa, O.V. Nosik**

Institute for Medical Radiology after S.P. Grigorev of NAMS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

*The results of patient's entrance surface dose measurements for common X-ray examinations (radiography of chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine, pelvis and chest fluorography) are presented. The evaluation of diagnostic reference levels was carried out from results of the dose distribution study with determinations of third quartile. The optimization of patient's doses in diagnostic radiology is possible by monitoring of them using various dosimetry methods and comparison with established national diagnostic reference levels.*

Key words: *radiography, fluorography, patient's dose monitoring, diagnostic reference levels.*

### **Introduction**

According to the recent UNSCEAR data, conventional x-ray examinations make a major contribution (70 – 90%) to the collective effective dose of the population from man-made sources of ionizing radiation. One of the problems of the radiation protection of the population worldwide is the optimization of x-ray examinations. The main goal is to reduce patient radiation dose while maintaining high quality diagnostic information. According to international practice, one of the main tools of patient's dose optimization is to establish national diagnostic reference levels (DRLs) based on extensive surveys in each country [1].

For the majority of the well-developed countries establishment of the DRLs for most common types of examinations and x-ray procedures with high effective doses became a mandatory requirement and is enshrined in the regulations of the EU: the Medical Directive 97/43 Radiation Safety Manual and the EU guidance №109 on how to establish DRLs in medical exposure [2, 3].

In the early 2000s, IAEA initiated several international projects on patient doses assessment and the possibility of optimizing x-ray procedures. Results of the research were published in IAEA Technical Report 1423 [4], where methodology for optimization of radiation protection of the patients from diagnostic medical exposure, based on the monitoring of the patient's doses, comparison with the established DRLs, assessment of the diagnostic quality

of images and introduction of quality control program was proposed.

X-ray diagnostic in Ukraine uses a variety of equipment types – more than 10,5 thousand of. X-ray units, including about 2 thousand of fluorographs, 7,5 thousand of conventional general purpose X-ray units, more than 200 of CT scanners, 300 mammography units and 100 angiography units. According to the Ministry of Health of Ukraine, there are about 50 million x-ray examinations conducted in the country annually, representing 1.1 procedures per capita. National DRLs are not established, X-ray diagnostic equipment and procedures quality assurance program is not developed. Assessment of the patient's doses is tabulated according to the data presented in the Order of the Ministry of Health of Ukraine № 295 of 18.07.2001 [5]. However, given tabulated values do not correspond to the actual patient's doses, since they do not consider the radiation output of the X-ray tube or examination parameters for a particular study. To solve this problem we need to establish the national DRLs, and to organize the regular monitoring of X-ray units to assess the patient doses and to compare them with the DRLs.

### **The Aim of the study**

The aim of the study was to evaluate the patient's doses from the most common types of x-ray examinations followed by the establishment of national DRLs, to select and compare the methods of patient doses monitoring, which can be used in practice.