

УДК 616-073.75:614.876(07)

Л. Л. Стадник✉, О. В. Носик

*Державна установа «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України»,
вул. Пушкінська, 82, м. Харків, 61024, Україна*

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ДОЗ ПАЦІЄНТІВ ПРИ НАЙБІЛЬШ ПОШИРЕНИХ РЕНТГЕНОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ МЕТОДОМ ФАНТОМНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Мета. Визначення конверсійних коефіцієнтів від вимірних дозиметричних величин до еквівалентних органних/тканинних доз шляхом фантомного моделювання умов опромінення та оцінка ефективних доз «стандартних» пацієнтів для найбільш масових видів рентгенографічних досліджень в Україні.

Матеріали та методи. Моделювання умов опромінення пацієнтів для 7 найбільш поширених в Україні видів рентгенографічних досліджень і флюорографії проведено на гетерогенному антропоморфному фантомі «стандартної» людини з використанням рентгенівських діагностичних апаратів двох груп: сучасні цифрові апарати та аналогові апарати зі строком експлуатації понад 15 років. Вимірювання вхідних поверхневих і поглинутих доз в органах та тканинах проведено методом термолюмінесцентної дозиметрії.

Результати. За результатами фантомного моделювання визначено коефіцієнти переходу від вхідної поверхневої дози (ВПД) до еквівалентних доз в основних органах/тканинах «стандартного» пацієнта для обраних видів рентгенографічних досліджень. Проведено оцінки коефіцієнтів переходу від значень ВПД до ефективних доз в діапазоні значень анодної напруги, які використовуються на рентгенівських апаратах двох груп при окремих дослідженнях. Усього проведено 116 фантомних моделювань за умови 2–3-кратних повторів вимірювань для кожної моделі опромінення на кожному рентгенівському апараті.

Висновки. Отримані значення конверсійних коефіцієнтів від ВПД до еквівалентних та ефективних доз пацієнтів можуть бути використані як для оцінки ефективних доз «стандартних» пацієнтів за середніми значеннями ВПД в окремих кабінетах, так і для оцінок колективних доз та радіаційних ризиків населення України за рахунок масових видів рентгенографічних досліджень.

Ключові слова: рентгенографія, фантомне моделювання, конверсійні коефіцієнти, еквівалентні та ефективні дози.

Проблеми радіаційної медицини та радіобіології. 2019. Вип. 24. С. 180–194. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-180-194

✉ Стадник Лариса Львівна, e-mail: lstadnyk@ukr.net

L. L. Stadnyk✉, O. V. Nosyk

SI «Institute of Medical Radiology named by S.P. Grigoriev National Academy of Medical Sciences of Ukraine», 82 Pushkinska St., Kharkiv, 61024, Ukraine

DETERMINATION OF THE PATIENTS' EFFECTIVE DOSES FOR MOST COMMON X-RAY EXAMINATIONS BY PHANTOM SIMULATION

Objective. The objective of investigation is the determination of conversion factors from measured dosimetric values to equivalent organ / tissue doses by phantom modeling of the exposure conditions and assessment the effective doses of the «standard» patient for the most common types of radiographic examinations in Ukraine.

Materials and methods. The simulation of patients' exposure for 7 most common types of radiographic exams and fluorography in Ukraine was carried out on a heterogeneous anthropomorphic phantom of a «standard» person. For phantom modeling two groups of X-ray units (modern digital and analogue units which have been in use for more than 15 years) were used. The measurements of entrance surface and absorbed doses in organs and tissues were performed using thermoluminescent dosimetry method.

Results. The conversional factors from the entrance surface doses (ESDs) to the equivalent doses for most radiosensitive organs / tissues of the «standard» patient were determined for the selected types of radiographic exams from the results of phantom simulations. The estimation of conversional factors from the ESDs to the effective doses was carried out in the working range of voltage values of two groups of X-ray units for the same radiographic examinations. A total of 116 phantom simulations were performed with 2–3 measurement repetitions for each irradiation model on each X-ray unit.

Conclusions. The obtained values of conversion factors from ESD to the patients' effective doses for selected types of X-ray diagnostic exams can be used for assessing the effective doses of «standard» patients in the various X-ray rooms and for assessing the collective doses and radiation risks of the population of Ukraine due to the most common radiographic examinations.

Key words: radiography, phantom simulation, conversion factors, equivalent and effective doses.

Problems of Radiation Medicine and Radiobiology. 2019;24:180-194. doi: 10.33145/2304-8336-2019-24-180-194

ВСТУП

Застосування джерел іонізуючого випромінення у рентгенодіагностиці є одним з найбільш значущих факторів радіаційного впливу на людину. Обґрунтування та виправданість призначення рентгенодіагностичних досліджень базуються на оцінці радіаційних ризиків додаткових випадків онкологічних захворювань як у окремої людини, так і популяції населення при медичному діагностичному опроміненні. У галузі радіаційної безпеки мірою визначення радіаційного ризику є ефективна доза, яка використовується для оцінки впливу опромінення всього тіла людини з урахуванням різної радіочутливості окремих органів і тканин.

Відповідно до вимог Основних санітарних правил забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005) в протоколі діагностичного обстеження пацієнта необхідно реєструвати сумарну ефективну дозу опромінення пацієнта від проведеного рентгено-радіологічного дослідження [1]. У Наказі МОЗ України № 295 (2001)

INTRODUCTION

X-ray diagnostics is one of the most significant factors of the human radiation exposure. The justification of X-ray diagnostic examinations is based on the assessment of the radiation risks of additional cases of oncology diseases in both individuals and the population due to the medical diagnostic irradiation. In the field of radiation protection an effective dose is the measure for determining of radiation risks. It is used to assess the radiation exposure effect on the whole human body, taking into account different radiosensitivity of organs and tissues.

According to the requirements of the Basic Sanitary Rules of Radiation Safety of Ukraine (OSPU-2005), the protocol of the patients' diagnostic examination has to include the total effective radiation dose of the patient from the performed radiological examinations [1]. The ex-

✉ Larysa L. Stadnyk, e-mail: lstadnyk@ukr.net

«Про створення системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення населення при рентгенологічних процедурах» [2] наведені значення середніх ефективних еквівалентних доз для різних видів рентгенодіагностичних досліджень. Однак фактичні ефективні дози стандартного пацієнта в окремих рентгенівських кабінетах можуть значно відрізнятися від табульованих значень ефективних доз із Наказу МОЗ № 295 за рахунок різних характеристик рентгенівських апаратів і режимів проведення досліджень, які використовуються в практиці роботи рентгенівських кабінетів, тому це не дозволяє проводити оптимізацію радіаційної безпеки пацієнтів при медичному діагностичному опроміненні.

Відповідно до рекомендацій МКРЗ, МАГАТЕ, Євратома визначення колективних ефективних доз населення країни рекомендовано проводити, базуючись на даних репрезентативного національного анкетування доз пацієнтів залежно від типів рентгенодіагностичного обладнання та техніки проведення рентгенодіагностичного дослідження [3–5]. У разі неможливості проведення національного опитування для усіх медичних закладів країни рекомендовано проведення локальних оглядів доз з подальшою екстраполяцією результатів на всю країну або використання значень ефективних доз пацієнтів за даними інших країн з близькою за якістю системою охорони здоров'я [6, 7].

Відомо, що оцінка ефективних доз може бути виконана тільки розрахунковим методом на основі фантомних моделювань, оскільки проведення прямих вимірювань еквівалентних доз на внутрішні органи і тканини пацієнта на практиці неможливе. Згідно з рекомендаціями МКРЗ та ЄС для оцінки ефективних доз доцільно використовувати дозиметричні характеристики (вхідна поверхнева доза, добуток доза–площа тощо), які легко вимірюються на практиці, із застосуванням конверсійних коефіцієнтів до еквівалентних органних/тканинних та ефективних доз [3, 6].

Для визначення конверсійних коефіцієнтів використовують дозиметричні математичні та фізичні фантоми, що дозволяє оцінити розподіл еквівалентних доз за органами й тканинами та визначити ефективну дозу. Однак використання математичних фантомів обмежене ресурсами програмного забезпечення, і результати розрахунків еквівалентних доз можуть значно відрізнятися від фактичних значень для умов реального опромінення. Фізичні фантоми дозволяють проводити моделювання умов опромінення «стандартних» пацієнтів при рентгенодіагностичних процедурах з урахуванням характеристик апаратів, режимів дослідження, геометрії опромінення пацієнтів, які використовуються на прак-

pected average effective doses for patients from X-ray diagnostic exams were specified by the Ministry of Health of Ukraine in Order No. 295 (2001) «Establishment of a system for monitoring and recording individual radiation doses in the population during radiological procedures» [2]. However, the actual effective doses vary significantly from the tabulated values of Order No. 295 due to the different characteristics of X-ray units and the irradiation techniques, which are used in the X-ray rooms practice. Therefore it does not allow optimizing the radiation safety of patients in diagnostic radiology.

According to the recommendations of the ICRP, IAEA, EURATOM the evaluations of the population collective effective doses in country should be based on the data of representative national survey of patients doses depending on types of X-ray diagnostic equipment and X-ray techniques [3–5]. In case it is impossible to make national survey, it is recommended to carry out the local dose surveys with subsequent extrapolation of results to the whole country, or to use the values the patients' effective doses from other countries with a similar health care system quality [6, 7].

It is known that the evaluation of effective doses is performed using calculations based only on phantom simulations. This is due to the fact that the direct measurement of equivalent doses to the internal organs and tissues of the patient is impossible. According to the recommendations of the ICRP and the EU the assessment of effective doses should be carried out using measured dosimetric characteristics (entrance surface dose, dose–area product etc.), which are easily obtained in practice, and the conversion factors to the equivalent doses for organs and tissues and effective doses [3, 6].

Dosimetric mathematical and physical phantoms are used to estimate conversion factors, to study the distribution of equivalent doses in organs and tissues, and to calculate the effective dose. However, the use of mathematical phantoms is limited by software resources, and the results of calculation of equivalent doses can differ significantly from the actual values under real exposure conditions. Physical phantoms make it possible to simulate the radiation conditions of «standard» patient exposure during X-ray diagnostic procedures taking into account the parameters of X-ray units, examination techniques and irradiation geometry, which are used in practice.

тиці. Згідно з міжнародними рекомендаціями оцінки доз пацієнтів проводяться або в умовах реальної практики на пацієнтах «стандартного» розміру: середня вага (70 ± 5) кг, середній зріст – (170 ± 10) см, або на фантомі «стандартної» людини [8].

Визначення еквівалентних та ефективних доз «стандартних» пацієнтів за результатами оцінки вхідних поверхневих доз пацієнтів з урахуванням відповідних конверсійних коефіцієнтів для найбільш масових і дозоформуєчих видів рентгенодіагностичних досліджень дозволяє проводити як зіставлення доз «стандартних» пацієнтів в різних рентгенодіагностичних кабінетах, так і визначити колективні еквівалентні/ефективні дози, оцінити радіаційні ризики населення країни та шляхи оптимізації радіаційної безпеки пацієнтів при медичному опроміненні.

МЕТА

Метою роботи було визначення конверсійних коефіцієнтів від вимірних дозиметричних величин до еквівалентних органних/тканинних доз шляхом фантомного моделювання умов опромінення та оцінка ефективних доз «стандартних» пацієнтів для найбільш масових видів рентгенографічних досліджень в Україні.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Для вивчення структури рентгенодіагностичних досліджень, визначення найбільш масових видів досліджень і оцінки парку рентгенівського обладнання в Україні ДУ «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України» провів декілька національних анкетувань усіх регіонів України в рамках програми «Здоров'я нації» за двома опитувальниками. За підтримки МОЗ України анкети були розіслані в обласні Департаменти охорони здоров'я, а збір інформації проводився через рентгено-радіологічні відділення обласних лікарень і обласних рентгенологів. Це дозволило отримати репрезентативні дані з усіх регіонів країни. Результати даної роботи відображені у звітах про науково-дослідні роботи Інституту «Встановлення національних рекомендованих рівнів медичного опромінення при рентгенівській діагностиці» (№ Держреєстрації 0109U00063) та «Розробка програми контролю якості у проекційній рентгенодіагностиці» (№ Держреєстрації 0114U000059), а також у окремих публікаціях [9, 10].

Вивчення вхідних поверхневих доз було проведено шляхом прямих дозиметричних вимірювань доз на пацієнтах в умовах реальної роботи рентгенівських

According to international recommendations, patient dose assessments are carried out either in real practice on patients of the «standard» size: average weight (70 ± 5) kg, average height – (170 ± 10) cm, or on the phantom of the «standard» person [8].

Determination of equivalent and effective doses of the «standard» patients according to the results of evaluation of patient's ESDs, taking into account the appropriate conversion factors for the most common and high dosage X-Ray diagnostic studies, allows to compare the doses for «standard» patients in various X-ray diagnostic rooms, estimate the collective equivalent/effective doses and radiation risks, evaluate the ways to optimize the patients' radiation safety from medical exposure.

OBJECTIVE

The objective of investigation is the determination of conversion factors from measured dosimetric values to equivalent organ/tissue doses by phantom modeling of exposure conditions and assessment the effective doses of the «standard» patient for the most common types of radiographic examinations in Ukraine.

MATERIALS AND METHODS

The Grigoriev Institute for Medical Radiology (GIMR) has conducted the several national surveys for all regions of Ukraine within the framework of the «Nation Health» Program on two questionnaires to determinate the structure of X-ray diagnostic examinations and study the most common types of studies and also to evaluate the types of X-ray equipment in using. The survey was approved by the Ukrainian Ministry of Health and two questionnaires were sent to Regional Health Departments. The answers were collected from Roentgen-radiology Departments of Regional Hospitals and Regional chief-radiologists. It allowed to obtain representative data from all the country regions. The results of this survey are reflected in the reports on the research works of the Institute: «Establishment of national reference levels of medical exposure in X-ray diagnostics» (Registre No 0109U00063) and «Development of the quality assurance program in the projection X-ray diagnostic» (Registre No 0114U000059) and also in some publications [9, 10].

The evaluations of the patients' entrance surface doses were performed by direct dosimetric measurement using the thermoluminescent dosimetry

кабінетів, а також окремо за результатами додаткового національного анкетування щодо умов проведення найбільш масових видів рентгенодіагностичних досліджень. Остання анкета була запропонована МАГАТЕ в рамках виконання Регіонального проекту RER/9/132 «Strengthening Member State Technical Capabilities in Medical Radiation Protection», розрахунки вхідних поверхневих доз пацієнтів проводилися за формулами, наведеними в Публікації МАГАТЕ TRS № 457 [11]. У вищезазначеному проекті МАГАТЕ ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» був відповідальним за вивчення доз опромінення пацієнтів при рентгенодіагностичних дослідженнях. Анкета включала інформацію щодо: антропометричних даних пацієнтів (вік, маса тіла, зріст); геометрії опромінення (відстань фокус-стіл, розмір поля опромінення); режимів опромінення (анодна напруга, анодний струм, час опромінення) тощо. Для розрахунків доз пацієнтів було використано більше 450 анкет, отриманих з 220 рентгенівських кабінетів 17 регіонів України, з повними даними щодо режимів проведення 7 видів рентгенодіагностичних досліджень: рентгенографія органів грудної клітки, додаткових пазух носа, шийного, грудного, поперекового відділів хребта і флюорографії, а також протоколи контролю основних дозоформуючих параметрів кожного рентгенівського апарату, які брали участь в анкетуванні.

Таким чином, вхідні поверхневі дози було оцінено більш ніж для 11 тисяч пацієнтів: за результатами прямих вимірювань – для 5400 пацієнтів в 92 кабінетах 9 областей країни, за результатами національного анкетування (розрахунки вхідної поверхневої дози, ВПД) – для 5800 пацієнтів. При проведенні розрахунків ВПД використовувався метод фільтрації пацієнтів за масою тіла та зростом, запропонований у документах ЄС, МАГАТЕ, що дало можливість отримати середні значення ВПД, які відповідають «стандартному» пацієнту [11, 12]. Результати вивчення ВПД для найбільш масових видів дослідження представлено в роботах [9, 13].

Для визначення розподілу еквівалентних доз в органах/тканинах «стандартного» пацієнта та оцінки ефективної дози було проведено фантомні моделювання умов опромінення пацієнтів на гетерогенному антропоморфному фантомі дорослої людини «стандартного» розміру (виробник НПП «Атом», Латвія, рис. 1). Фантом має 39 поперекових шарів (зрізів) товщиною 25 мм кожний, в яких зроблено отвори для розміщення понад 250 термолюмінесцентних (ТЛ) детекторів для вимірювання поглинутих доз в різних органах і тканинах згідно з атласом на фантом.

method, as well as the calculation method based on the results of additional national survey with questionnaire regarding the exposure conditions for the most common types of X-ray diagnostic examinations. This additional questionnaire was proposed by the IAEA in the framework of the Regional Project RER/9/132 «Strengthening Member State Technical Capabilities in Medical Radiation Protection». The calculations of patients' entrance surface doses were performed using the formulas given in IAEA Publication TRS No. 457 [11]. In this project Grigoriev Institute for Medical Radiology was responsible for the collecting questionnaire results and studying the patients' doses during X-ray diagnostic studies. The questionnaires included the following information: patients' anthropometric data (age, weight, height); geometry of irradiation (focus table distance, size of irradiation field); exposure techniques (voltage, current, exposure time), etc. For patient dose calculations about 450 forms of questionnaire had been used that were received from 220 X-ray rooms 17 Regions of Ukraine including completed data about exposure conditions for 7 types of X-ray diagnostic examinations: chest X-ray, nose, cervical spine, thoracic, lumbar spine, pelvis and fluorography, and protocols of control the main dose-forming parameters for every X-ray unit, which participated in the questionnaire.

Thus, the entrance surface doses were estimated for more than 11,000 patients: for 5,400 patients in 92 rooms from direct TLD-measurements, and for 5,800 patients – from the national questionnaire (ESD calculations). For ESD calculations the method of filtering patients by weight and height was used which was proposed in the EU and IAEA documents. This allowed obtaining the average values of ESD corresponding to the «standard» patient [11, 12]. Results of the ESDs study for the most common types of X-ray exams are presented in some papers [9, 13].

The phantom simulation of the patient's exposure was performed on a heterogeneous anthropomorphic phantom of a «standard» person type Alderson-Rando (ATOM, Latvia, figure 1) for determination the distribution of equivalent doses in the organs/tissues of the «standard» patient and for evaluation of the effective dose. Phantom has 39 slices (sections) 25 mm in thickness, containing holes for placing more than 250 thermoluminescent (TL) detectors to measure the absorbed doses in various organs and tissues.

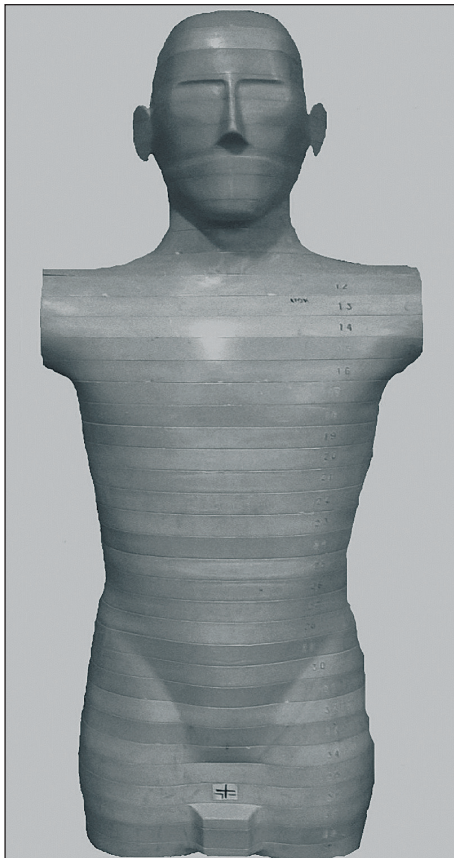


Рисунок 1. Гетерогенний антропоморфний фантом «стандартної» людини

Figure 1. The heterogeneous anthropomorphic phantom of the «standard» man

При вимірюваннях вхідних поверхневих та поглинутих доз в окремих органах/тканинах використовували ТЛ-детектори LiF:Mg,Ti типу MTS-N (Інститут ядерної фізики АНП, м. Краків, Польща). Вимірювання сигналів термолюмінесценції детекторів проведено на ТЛ-установці PCL-3 (фірма Fimel, Франція).

Градуювання ТЛ-детекторів було проведено на робочому еталоні рентгенівського випромінювання (установка PANTAK HF160) при якості (енергії) випромінювання – RQR 5 (напруга $U=70$ кВ, значення шару половинного ослаблення (ШПО) – 2,58 мм Al), що є референтним значенням енергії для рентгенографії [11]. Вивчення енергетичної залежності опромінення ТЛ-детекторів проведено в діапазоні енергій рентгенівського випромінювання від 23 кеВ до 118 кеВ згідно з вимогами ДСТУ ISO 4037-1 [14].

Еквівалентна доза в органі або тканині визначалась як добуток поглинутої дози в окремому органі на радіаційний зважувальний фактор:

$$H_i = D_i \cdot w_R \quad (1)$$

де D_i – середня поглинута доза в окремому органі, мГр;
 w_R – радіаційний зважувальний фактор, мЗв/мГр, для спектру рентгенівського випромінювання $w_R=1$.

The thermoluminescent detectors LiF:Mg,Ti type MTS-N (Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences, Krakow, Poland) were used for measuring entrance surface and absorbed doses in separated organs and tissues. The measurements of the signals of TL-detectors were carried out on the TL –reader PCL-3 (Fimel, France).

The calibration of TL-detectors was carried out on a working standard of X-ray radiation (X-Ray machine PANTAK HF 160) at standard radiation quality RQR 5 (anode voltage 70 kV, half-value layer (HVL) – 2.28 mm Al). It is the standard reference value for radiography [11]. The study of the energy dependence for TLD was carried out at the range of energies from 23 keV to 118 keV in accordance with DSTU ISO 4037-1 [14].

The equivalent doses in organs or tissues were determined as the product of the absorbed dose in a separate organ on a radiation weighing factor:

where D_i – average absorbed dose in a separated organ/tissue, mGy;
 w_R – radiation weighing factor, mSv/mGy, for the X-ray spectrum $w_R = 1$.

Ефективна доза розраховувалась як сума добутоків еквівалентних доз в окремих органах і тканинах на відповідні зважувальні тканинні фактори відповідно до Публікації МКРЗ № 103 [3]:

$$E = \sum H_i \cdot w_T \quad (2)$$

де H_i – еквівалентна доза в органі або тканині, мЗв;

w_T – тканинний зважувальний фактор.

Моделювання умов та режимів опромінення «стандартної» людини виконано на фантомі для 7 видів рентгенодіагностичних досліджень: флюорографія легенів, рентгенографія органів грудної клітки (ОГК), задньопередня (ЗП) проекція, рентгенографія черепа/придаткових пазух носа (ППН), ЗП-проекція, рентгенографія шийного, грудного та поперекового відділів хребта (ШВХ, ГВХ та ПВХ відповідно, у передньозадній (ПЗ) та бічній (Б) проекціях) та кісток тазу (ПЗ проекція).

Імітація умов опромінення пацієнтів виконана на 9 рентгенівських апаратах різних моделей, які умовно були розподілені на 2 групи за строком експлуатації:

- 1-ша група – аналогові апарати старих моделей зі строком експлуатації понад 15 років типу РУМ-20, РУМ-20М, EDR-750В, TUR-D-800;

- 2-га група – сучасні моделі апаратів з цифровим приймачем зображення типу HF1500, MX HF51-5, OPERA, МЕДИКС.

Для кожного з обраних видів рентгенографічних досліджень фантомне моделювання було проведено в робочому діапазоні анодної напруги, який за результатами анкетування в рамках регіонального проекту МАГАТЕ є найбільш розповсюдженим для обраної групи апаратів. Геометрія опромінення фантому (відстань від фокуса рентгенівської трубки та поле опромінення на вхідній поверхні фантому) вибиралися такими, які найчастіше використовуються в практиці роботи кабінетів за даними проведеного анкетування.

Значення коефіцієнтів переходу від ВПД до еквівалентних доз інваріантні відносно анодного струму, тому при опроміненні фантому його значення встановлювалися згідно з протоколом дослідження даного кабінету, при цьому опромінювання фантому для окремого виду дослідження проводили не менше 5 разів для отримання достовірних результатів вимірювань доз в органах/тканинах методом ТЛД.

Усього було проведено 116 фантомних моделювань за умови 2–3 кратних повторів вимірювань еквівалентних доз в органах і тканинах «стандартної» людини для кожної моделі опромінення обраних видів досліджень у робочому діапазоні анодної напруги.

The effective dose was calculated as the sum of the products of equivalent doses in individual organs and tissues for the corresponding weighing tissue factors in accordance with ICRP Publication No. 103 [3]:

where H_i is the equivalent dose in an organ or tissue, mSv;

w_T – tissue weighing factor.

The simulation of the conditions and regimes of a «standard» patient's exposure was performed on a phantom for the 7 types of X-ray diagnostic studies: lung fluorography, chest radiography (AP projection), skull and nose sinuses radiography (AP projection), cervical spine, thoracic spine, and lumbar spine (PA and LAT projection) and pelvis X-ray (PA projection).

The simulation of the patients' exposure was performed on 9 X-ray machines of different models, which were conditionally divided into 2 groups:

- Group 1 – analogue units of older models with a lifetime of more than 15 years of type: RUM-20, RUM-20M, EDR-750B, TUR-D-800;

- Group 2 – modern models of devices with digital image receiver: HF1500, MX HF51-5, OPERA, MEDICS.

For each of the selected types of radiographic exams the phantom simulation was performed in the operating voltage range which is the most common for the selected group of X-Ray machines according to the data of questionnaire in frame IAEA project. The phantom exposure geometry (distance from X-Ray tube focus and irradiation field on the phantom entrance surface) corresponded to the practice of X-ray rooms by the data of the questionnaire.

Since the values the conversional factors from the ESDs to the equivalent doses are invariant with respect to the anode current, its values were set in real practice of different X-Ray diagnostic rooms, and the phantom irradiations were carried out 5 times to obtain reliable results of the dose measurements in organs/tissues by the TL dosimetry method.

A total of 116 phantom simulations were performed with 2–3 repetitions of equivalent dose measurements in organs and tissues of a «standard» person for each model of irradiation for the selected types of examinations in the working voltage range.

Значення конверсійних коефіцієнтів до еквівалентних доз було отримано як відношення вимірних доз в органах/тканинах до вхідних поверхневих доз для обраних видів рентгенографічних досліджень залежно від значень анодної напруги для двох груп рентгенівських апаратів. Вони були використані для визначення еквівалентних органних/тканинних доз за результатами попередніх оцінок середніх значень ВПД «стандартних» пацієнтів при обраних видах рентгенографічних досліджень [9, 10, 13].

Усі результати вимірювань обробляли методом статистичного аналізу з визначенням мінімальних, максимальних, середніх значень і середньоквадратичних відхилень величини. Похибка визначення доз не перевищувала $\pm 20\%$, що є прийнятним при вимірюванні доз пацієнтів при рентгенодіагностичних дослідженнях [11, 12].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За результатами фантомного моделювання умов опромінення при рентгенографії ОГК/флюорографії легенів, ППН, ШВХ, ГВХ, ПВХ та кісток тазу отримано значення конверсійних коефіцієнтів від вхідних поверхневих доз «стандартного» пацієнта до відповідних еквівалентних доз в радіочутливих органах та тканинах, які формують ефективну дозу. Значення коефіцієнтів наведені в табл. 1 – для апаратів першої групи та в табл. 2 – для апаратів другої групи.

Дози на кісткову систему прирівнювали до доз на поверхню кістки і визначали, виходячи з показань ТЛ-детекторів, розміщених у місцях розташування кісток. Дозу усереднювали за всіма вимірами ТЛД. При розрахунках ефективних доз використовували тканинний зважувачий фактор – 0,01.

Дози на мозок і слинні залози оцінювали тільки в разі опромінення черепа та ППН за показаннями ТЛД, розміщеними в точках розташування даних тканин/органів або близьких до них у черепі. При інших дослідженнях до інших органів були віднесені ті органи, які потрапляли в поле опромінення, але не були враховані як основні органи.

За даними фантомного моделювання було встановлено, що розподіл органних доз при флюорографії легенів відповідає розподілу органних доз при рентгенографії ОГК за умови використання однакових значень анодної напруги, тому для обох цих досліджень пропонується користуватися однаковими конверсійними коефіцієнтами.

Як видно з наведених таблиць, для більшості рентгенографічних досліджень дозові навантаження пацієнтів формуються за рахунок опромінення 3–5 радіочут-

The conversion factors values were obtained as ratio of equivalent organ/tissue doses to the entrance surface doses measured on a phantom surface for the selected types of X-ray examinations, depending on the values of voltage for the two groups X-ray units. They were used to determine the equivalent and effective doses of «standard» patients by the average values of ESDs, which was obtained from previous research works [9, 10, 13].

The results of measurements were processed by statistical analysis with the definition of minimum, maximum, average values and standard deviations. The error of dose determination did not exceed $\pm 20\%$, which is acceptable at the measurement of patient doses in X-ray diagnostic procedures [11, 12].

RESULTS AND DISCUSSION

According to the results of phantom modeling of exposure conditions for chest radiography/fluorography of lungs, radiography of nose sinuses, cervical spine, thorax spine, lumbar spine and pelvic the values of conversion factors from the entrance surface doses of the «standard» patient to the corresponding equivalent doses in the radiosensitive organs are obtained. The values of the coefficients are shown in Table 1 for the X-ray units of first group and in Table 2 for X-ray units of second group. The dose for bone system was equated to dose of the bone surface and determined based on the readings of TL detectors that were located in bone points. The dose was averaged over all TLD measurements, in calculating effective doses a tissue weighting factor of 0.01 was used.

The doses for brain and salivary gland were evaluated only in the case of skull and nose sinuses exposure according to the signals of TLDs, which were placed at the locations of these tissues/organs or close to them in the skull. For other examinations the remainder organs were those organs that were located in the irradiation field but not considered as major organs.

According to the phantom modeling, it was found that the distribution of organ/tissue doses in fluorography of the lungs corresponds to the distribution of organ doses in chest radiography using the same values of anode voltage. So, it was proposed to use the same conversion coefficients for both of these studies.

As can be seen from the tables above, for the most radiographic examinations the patients' doses are formed by irradiation of 3 to 5 radiosens-

Таблиця 1

Коефіцієнти переходу від вхідної поверхневої дози до еквівалентних доз для рентгенівських апаратів першої групи

Table 1

The conversion factors from the entrance surface doses to equivalent doses for the first group X-ray units

| Область рентгенографічного дослідження Localization | Hi /ВПД, (мЗв/мГр) · 10 ⁻² // Hi /ESD, (mSv/mGy) · 10 ⁻² | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------------------------|------|------|--------------------------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|
| | ОГК / Chest | | | ППН nose sinuses | | | ШВХ cervical spine | | | ГВХ / thorax | | | ПВХ / lumbar | | | таз / pelvis | | |
| | 60 | 70 | 80 | 60 | 70 | 80 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |
| Напруга, кВ / Voltage, kV | 60 | 70 | 80 | 60 | 70 | 80 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |
| Орган / Organ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Щитоподібна залоза / Thyroid | 2,1 | 2,3 | 2,9 | 6,2 | 9,5 | 12,4 | 67,0 | 58,3 | 81,3 | 4,0 | 2,8 | 3,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Грудна залоза / Breast | 6,6 | 4,0 | 5,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 75,9 | 78,1 | 81,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Стравохід / Esophagus | 7,1 | 7,6 | 9,4 | 3,0 | 5,9 | 10,5 | 9,1 | 16,7 | 16,9 | 9,6 | 7,3 | 11,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Легені / Lung | 19,8 | 22,4 | 24,8 | 4,8 | 6,0 | 7,7 | 8,4 | 9,9 | 12,0 | 14,3 | 13,1 | 17,0 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Печінка / Liver | 3,5 | 5,3 | 6,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 23,8 | 25,3 | 30,3 | 5,6 | 14,3 | 17,6 | 4,1 | 4,2 | 4,1 |
| Товстий кишечник / Colon | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 11,4 | 14,8 | 22,3 | 16,6 | 19,3 | 20,2 |
| Шлунок / Stomach | 1,7 | 3,5 | 3,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 33,3 | 36,6 | 42,8 | 6,5 | 25,7 | 34,1 | 15,2 | 16,6 | 17,7 |
| Сечовий міхур / Bladder | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 9,7 | 9,6 | 11,4 | 19,0 | 25,3 | 24,1 |
| Гонади / Gonads | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 3,6 | 3,6 | 3,5 | 48,7 | 54,0 | 69,1 |
| Шкіра / Skin | 6,7 | 6,8 | 6,6 | 6,8 | 6,9 | 6,8 | 6,9 | 7,5 | 7,9 | 5,6 | 5,5 | 5,6 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,6 | 6,7 | 6,7 |
| ЧКМ / Red Bone | 7,2 | 8,8 | 9,5 | 7,2 | 9,0 | 11,7 | 15,4 | 16,7 | 18,7 | 4,2 | 4,4 | 5,3 | 5,3 | 6,1 | 6,6 | 6,9 | 7,7 | 7,7 |
| Поверхня кісток / Bone surface | 9,0 | 10,0 | 10,7 | 9,0 | 11,4 | 15,4 | 21,1 | 21,4 | 26,3 | 9,6 | 9,3 | 10,8 | 3,0 | 3,1 | 3,2 | 3,1 | 3,5 | 3,6 |
| Інші органи / Remainder | 8,7 | 14,4 | 15,1 | 0,0 | 0,1 | 0,1 | 33,1 | 20,7 | 28,8 | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |

Таблиця 2

Коефіцієнти переходу від вхідної поверхневої дози до еквівалентних доз для рентгенівських апаратів другої групи

Table 2

The conversion factors from the entrance surface doses to equivalent doses for the second group X-ray units

| Область рентгенографічного дослідження Localization | Hi /ВПД, (мЗв/мГр) · 10 ⁻² // Hi /ESD, (mSv/mGy) · 10 ⁻² | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|------|------|------------------------|-----|-----|--------------------------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|------|
| | ОГК / Chest | | | ППН nose sinuses | | | ШВХ cervical spine | | | ГВХ / thorax | | | ПВХ / lumbar | | | таз / pelvis | | |
| | 60 | 70 | 80 | 60 | 70 | 80 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |
| Напруга, кВ / Voltage, kV | 60 | 70 | 80 | 60 | 70 | 80 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 | 70 | 80 | 90 |
| Орган / Organ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Щитоподібна залоза / Thyroid | 0,9 | 4,2 | 8,6 | 2,4 | 7,6 | 7,4 | 83,2 | 92,1 | 90,9 | 4,8 | 4,3 | 4,7 | 0,1 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Грудна залоза / Breast | 4,1 | 6,8 | 10,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 91,1 | 93,7 | 97,9 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Стравохід / Esophagus | 7,6 | 12,5 | 17,3 | 1,1 | 1,2 | 0,9 | 13,6 | 15,0 | 15,1 | 11,5 | 12,8 | 13,9 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Легені / Lung | 26,4 | 37,2 | 43,2 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 8,4 | 8,3 | 8,7 | 17,1 | 18,7 | 20,4 | 1,1 | 0,9 | 1,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Печінка / Liver | 3,5 | 4,1 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 28,5 | 30,3 | 36,4 | 19,5 | 23,7 | 33,5 | 0,2 | 0,4 | 0,4 |
| Товстий кишечник / Colon | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 12,8 | 16,2 | 25,1 | 16,8 | 22,4 | 24,1 |
| Шлунок / Stomach | 2,3 | 4,7 | 4,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 40,0 | 43,9 | 51,3 | 24,9 | 28,5 | 28,0 | 0,6 | 0,8 | 0,9 |
| Сечовий міхур / Bladder | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,7 | 2,3 | 11,6 | 30,5 | 29,2 | 33,4 |
| Гонади / Gonads | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 53,3 | 56,9 | 59,4 |
| Шкіра / Skin | 6,7 | 6,7 | 7,0 | 6,8 | 6,7 | 6,7 | 6,9 | 7,1 | 7,0 | 6,7 | 6,6 | 6,7 | 6,6 | 7,1 | 6,7 | 6,9 | 6,7 | 6,7 |
| ЧКМ / Red Bone | 9,3 | 13,4 | 16,2 | 5,7 | 7,4 | 7,1 | 13,7 | 15,6 | 16,9 | 5,0 | 4,1 | 6,3 | 2,0 | 2,2 | 8,2 | 5,5 | 10,9 | 11,2 |
| Поверхня кісток / Bone surface | 10,6 | 14,9 | 19,8 | 6,7 | 9,9 | 9,6 | 19,8 | 21,7 | 20,4 | 11,5 | 11,1 | 13,0 | 0,9 | 1,3 | 3,8 | 4,6 | 10,5 | 10,4 |
| Інші органи / Remainder | 11,9 | 17,3 | 9,9 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 12,1 | 14,0 | 14,2 | 1,2 | 1,2 | 1,5 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 1,0 | 2,3 | 2,6 |

ливих органів/тканин, які безпосередньо потрапляють в поле прямого рентгенівського струменя, тобто для них величини конверсійних коефіцієнтів мають найбільші значення. Дози на інші радіочутливі органи, що

sitive organs/tissues that directly fall into the field of direct X-ray exposure. For these organs the values of conversion factors have the highest values. The doses of radiosensitive organs that do not fall

не потрапляють у поле радіаційного опромінення, близькі до фонових значень, у такому випадку конверсійні коефіцієнти практично дорівнюють нулю.

Результати проведених вимірювань показали, що значення конверсійних коефіцієнтів для апаратів 1-ї групи для більшості радіочутливих органів та тканин були на 10–20 % нижче порівняно з коефіцієнтами для апаратів 2 групи при однакових значеннях анодної напруги. Це пов'язано з тим, що значення коефіцієнтів залежать від шару половинного ослаблення енергії рентгенівського випромінювання (ШПО), що визначається анодною напругою та загальною фільтрацією апарату.

За результатами проведених вимірювань дозоформуємих характеристик обстежених 92 рентгенівських апаратів і аналізу протоколів контролю характеристик 220 рентгенівських апаратів в рамках анкетування встановлено, що для апаратів 1-ї групи при режимах проведення рентгенографічних досліджень вимірне значення ШПО складало менше 2,5 мм АІ, а середнє значення – $(2,26 \pm 0,10)$ мм АІ, тоді як на апаратах 2-ї групи значення ШПО складало більше 2,5 мм АІ, а середнє значення – $(3,22 \pm 0,12)$ мм АІ. Тобто, на апаратах 1-ї групи значення ефективної енергії нижчі, ніж на апаратах 2-ї групи, що призводить до отримання більш високих поверхневих доз пацієнтів та більш низьких глибинних і вихідних доз при однакових напругах, що свідчить про внесок низькоенергетичного випромінювання.

На рис. 2, наведено розподіли коефіцієнтів переходу від ВПД до еквівалентних доз органів/тканин для рентгенографії органів грудної клітки і поперекового відділу хребта, як найбільш поширені в рентгенографії за даними анкетування, для апаратів двох груп.

Як видно з графіків, наведених на рис. 2, незалежно від значення анодної напруги та типу апарата характер розподілу еквівалентних органних доз для різних типів апаратів залишається незмінним, однак значення конверсійних коефіцієнтів зростають при збільшенні анодної напруги і залежать від групи апаратів.

Використання отриманих значень конверсійних коефіцієнтів і середніх значень ВПД «стандартних» пацієнтів з урахуванням відповідного значення анодної напруги та групи апарату дозволило розрахувати відповідні значення еквівалентних доз для обраних видів рентгенівських досліджень, оцінити ефективні дози та визначити конверсійні коефіцієнти від ВПД до ефективної дози.

into the field of X-ray exposure are close to background values, then the conversion factors are practically zero.

The results of the performed measurements showed that the conversion factors for first group X-ray units for the majority of radiosensitive organs and tissues are at 10–20 % lower than the coefficients for second group of X-ray units with the same values of the anode voltage. This is due to the fact that the values of conversion factors depend on the value of the half-value lay (HVL) or X-ray energy, which is determined by the anode voltage and the total filtration of the X-Ray tube.

According to the results of the measurements of the dose-forming parameters for 92 examined X-ray units and to the analysis of the protocols of control the parameters for 220 X-ray units it was found that for first group X-ray units the value of the HVL was less than 2.5 mm Al at the X-ray examinations, the mean value – (2.26 ± 0.10) mm Al, whereas for second group X-ray units, the value of HVL was more than 2.5 mm Al, and the average value was (3.22 ± 0.12) mm Al. Thus, for the first group X-ray units the values of effective energy are lower than on the second group X-ray units. This leads to higher surface doses of patients and lower depth and output doses for the same voltages, which indicates the contribution of low-energy radiation.

Figure 2 shows the distributions of the conversion coefficients from ESDs to equivalent organ/tissue doses for chest and lumbar spine radiography examinations, which are as the most common radiography investigations according to questionnaires, for two group units.

As can be seen from the graphs of Fig. 2 the type of the equivalent organ doses distribution for different groups of X-ray units remains unchanged regardless of the anode voltage value and X-ray units, but the conversion factor values are increased with increasing anode voltage and depend on the group of X-ray units.

The use of the obtained values of conversion factors and average values ESDs for «standard» patients (taking into account the corresponding values of the anode voltage and the X-Ray units group) allowed to calculate the corresponding values of equivalent doses for the selected types of X-ray diagnostic examinations, estimate the effective doses and determinate the corresponding conversion coefficients to effective doses.

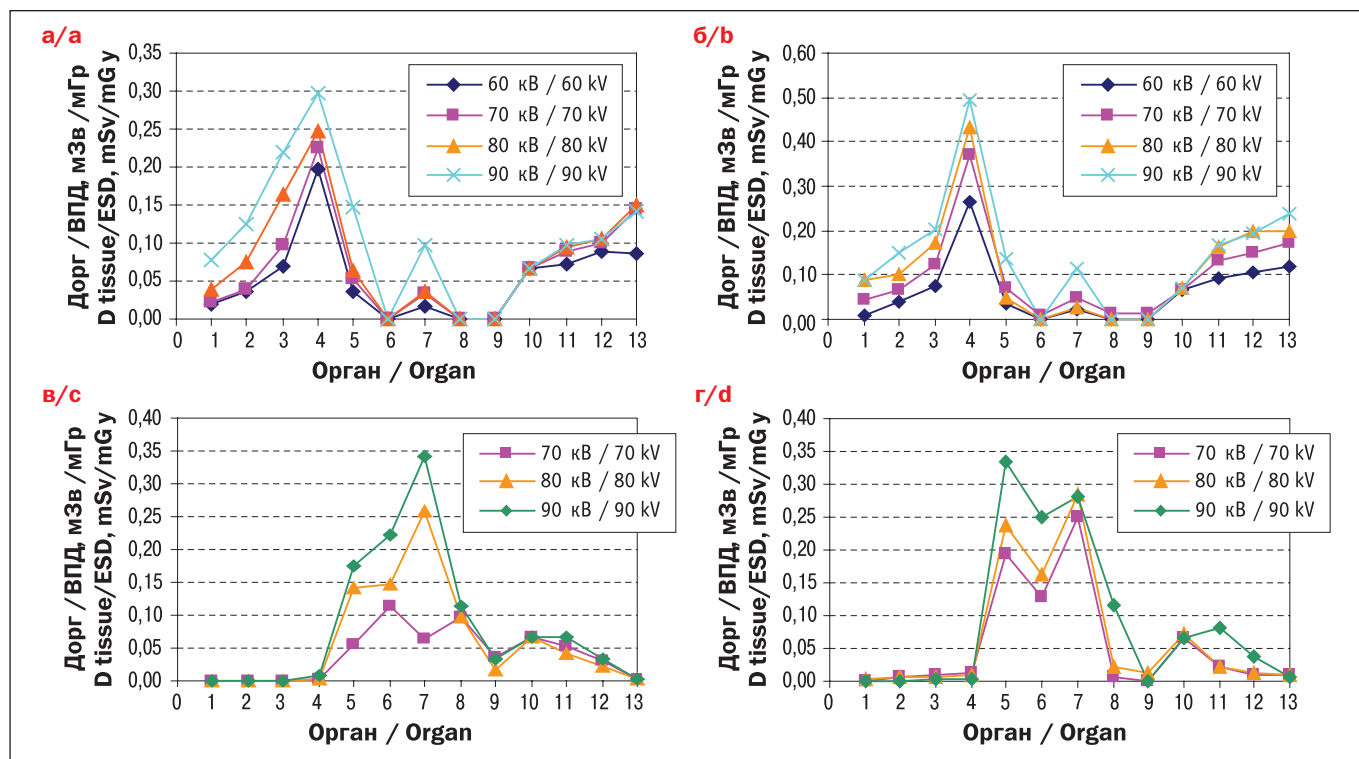


Рисунок 2. Розподіл коефіцієнтів переходу від ВПД до еквівалентних доз основних органів і тканин при рентгенографічних дослідженнях:

ОГК (ЗП-проекція): апарати 1-ї групи (а) та 2-ї групи (б)

ПВХ (ПЗ-проекція): апарати 1-ї групи (в) та 2-ї групи (г)

Примітки. 1 – щитоподібна залоза; 2 – грудна залоза; 3 – стравохід; 4 – легені; 5 – печінка; 6 – товстий кишечник; 7 – шлунок; 8 – сечовий міхур; 9 – гонади; 10 – шкіра; 11 – ЧКМ; 12 – поверхня кісток; 13 – інші органи.

Figure 2. The distribution of the conversional factors from ESD to equivalent doses for main organs and tissues in radiographic examinations:

Chest (PA-projection): units of 1st group (a) and 2nd group (b)

Lumbar (AP-projection): units of 1st group (c) and 2nd group (d)

Notes. 1 – thyroid; 2 – breast; 3 – esophagus; 4 – lung; 5 – liver; 6 – colon; 7 – stomach; 8 – bladder; 9 – gonads; 10 – skin; 11 – red bone; 12 – bone surface; 13 – remainder.

В табл. 3 наведено значення конверсійних коефіцієнтів від вхідної поверхневої дози до ефективної дози (E/ВПД) для обраних видів рентгенографічних досліджень залежно від значення анодної напруги при стандартному полі опромінення для рентгенівських апаратів двох груп. Значення конверсійних коефіцієнтів для флюорографічних досліджень відповідають коефіцієнтам для рентгенографії органів грудної клітки, оскільки розподіл органних доз для флюорографічних досліджень відповідав розподілу органних доз при рентгенографії ОГК.

Необхідно відмітити, що в Керівництві ЄС № 154 «European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedure» наведені коефіцієнти переходу від вимірюваних дозиметричних величин до ефективних доз для різних видів рентгенівських досліджень, однак вони розраховані для «техніки високої напруги», що є типовою у країнах ЄС, а саме: майже для усіх видів досліджень анодна напруга має

Table 3 shows the conversion factor values from the entrance surface doses to the effective doses (E/ESD) for the selected types of X-ray examinations, depending on the anode voltage value at the standard irradiation field for two groups of X-ray units. The conversion coefficient values for fluorography studies correspond to values of coefficients for chest radiography because the distribution of organ doses for fluorography studies were in line with distribution of organ doses in chest radiography.

It should be noted that in EU Guidance No. 154 «European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-ray Procedure» there are values of the conversion factors from measured dosimetric values to effective doses for different types of X-ray examinations, but they are calculated for «high voltage» techniques, which are typical for EU countries, namely: for almost all types

Таблиця 3

Конверсійні коефіцієнти від вхідної поверхневої дози до ефективної дози для «стандартного» пацієнта для основних видів рентгенографічних досліджень

Table 3

The conversion factors from the entrance surface dose to effective dose for the «standard» patient for the common types of radiographic examinations

| Вид дослідження Examination | Анодна напруга, кВ Voltage, kV | Конверсійні коефіцієнти, (мЗв/мГр) · 10 ⁻² Conversion factor (mSy/mGy) · 10 ⁻² | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|
| | | Рентгенівські апарати / X-ray units | |
| | | 1-ша група / 1 st group | 2-га група / 2 nd group |
| Органи грудної клітини / Chest | 60 | 5,3 | 6,3 |
| | 70 | 6,7 | 9,1 |
| | 80 | 7,1 | 10,0 |
| Придаткові пазухи носа / Nose sinuses | 60 | 2,5 | 1,3 |
| | 70 | 3,3 | 1,5 |
| | 80 | 4,0 | 1,7 |
| Шийний відділ хребта / Cervical spine | 70 | 7,7 | 8,3 |
| | 80 | 8,3 | 9,1 |
| | 90 | 9,1 | 10,0 |
| Грудний відділ хребта / Thorax | 70 | 11,8 | 14,3 |
| | 80 | 13,3 | 16,7 |
| | 90 | 15,4 | 20,0 |
| Поперековий відділ хребта / Lumbar | 70 | 5,3 | 7,1 |
| | 80 | 7,1 | 9,1 |
| | 90 | 9,1 | 11,1 |
| Кістки тазу / Pelvis | 70 | 11,1 | 16,7 |
| | 80 | 13,3 | 18,0 |
| | 90 | 15,4 | 20,0 |

бути більш 80 кВ, загальна фільтрація більш 3,0 мм Al [6]. Між тим в Україні за даними проведеного анкетування більшість рентгенографічних досліджень виконуються при анодній напрузі 60–80 кВ, а загальна фільтрація апаратів складає 2,0–2,5 мм Al, тому розрахунок ефективних доз з використанням коефіцієнтів з Керівництва ЄС № 154 не буде коректним.

У табл. 4 наведено середні значення вхідних поверхневих доз та відповідних ефективних доз (за один знімок) при анодній напрузі та експозиції, які відповідають обстеженню «стандартних» пацієнтів для обраних видів рентгенографічних досліджень на апаратах двох груп.

Для значень анодної напруги, які відповідають режимам обстеження «стандартного» пацієнта, але при яких не проводились фантомні вимірювання, конверсійні коефіцієнти отримані шляхом апроксимації відомих значень коефіцієнтів в залежності від напруги.

Як видно з табл. 4, ефективні дози «стандартного» пацієнта на апаратах 1-ї групи (аналогові системи) в 1,1–5,5 раза вищі порівняно з дозами на

of procedures the anode voltage should be greater than 80 kV, the total filtration more than 3.0 mm Al [6]. According to the survey in Ukraine many radiographic examinations are performed at anode voltage of 60–80 kV, and the total filtration 2.0–2.5 mm Al, so the calculation of effective doses using the coefficients from the EU Guideline 154 will not be correct.

Table 4 shows the average values of the entrance surface doses and the corresponding effective doses (one image) at anode voltage and exposure, which are corresponded to the examination of «standard» patients for selected types of radiographic exams on the two group X-ray units.

For the values of the anode voltage corresponding to the examination modes of the «standard» patient, but for which the phantom measurements were not carried out, the conversion coefficients were obtained by approximating the known values of the coefficients depending on the voltage.

As can be seen from table 4, effective doses of «standard» patient of the first group X-ray units (analog systems) by 1.1–5.5 times higher than the

Таблиця 4

Узагальнені режими проведення досліджень та ефективні дози для найбільш поширених видів рентгенографії та флюорографії

Table 4

Average values of parameters for irradiation technique and effective doses for the most common types of radiography and fluorography

| Вид дослідження Procedure | Апарати 1-ї групи / 1 st Group units | | | | Апарати 2-ї групи / 2 nd Group units | | | |
|---|---|-------------------|------------|-------------|---|-------------------|------------|-------------|
| | Напруга кВ | Експозиція мАс | ВПД, мГр | Е, мЗв | Напруга кВ | Експозиція мАс | ВПД, мГр | Е, мЗв |
| | Voltage kV | Exposure mAs | ESD, mGy | E, mSv | Voltage kV | Exposure mAs | ESD, mGy | E, mSv |
| Флюорографія (ЗП-проекція) Fluorography (PA) | 75 ± 5 | 85 ± 10 | 4,3 ± 1,1 | 1,10 ± 0,03 | 85 ± 5 | 36 ± 15 | 0,6 ± 0,2 | 0,20 ± 0,07 |
| Рентгенографія / radiography | | | | | | | | |
| ➢ ГК (ЗП) / Chest (PA) | 65 ± 2 | 35 ± 5 | 0,9 ± 0,1 | 0,08 ± 0,01 | 70 ± 3 | 25 ± 4 | 0,8 ± 0,1 | 0,06 ± 0,01 |
| ➢ ППН, (ЗП) / Nose sinuses (PA) | 65 ± 2 | 85 ± 13 | 4,4 ± 0,6 | 0,09 ± 0,01 | 80 ± 5 | 55 ± 12 | 3,5 ± 0,6 | 0,06 ± 0,01 |
| ➢ ШВХ (ПЗ) / Cervical spine (AP) | 60 ± 3 | 73 ± 13 | 2,3 ± 0,3 | 0,20 ± 0,02 | 70 ± 4 | 25 ± 6 | 1,4 ± 0,4 | 0,13 ± 0,04 |
| ➢ ШВХ (Б) / Cervical spine (Lat) | 59 ± 1 | 74 ± 15 | 2,2 ± 0,4 | 0,19 ± 0,03 | 76 ± 3 | 26 ± 6 | 1,6 ± 0,2 | 0,13 ± 0,02 |
| ➢ ШВХ (ПЗ) / Cervical spine (AP) | 70 ± 2 | 103 ± 13 | 8,8 ± 1,5 | 1,27 ± 0,21 | 75 ± 4 | 100 ± 11 | 6,7 ± 1,0 | 0,98 ± 0,14 |
| ➢ ШВХ (Б) / Cervical spine (Lat) | 74 ± 3 | 140 ± 17 | 12,3 ± 2,0 | 1,77 ± 0,29 | 78 ± 5 | 104 ± 13 | 7,5 ± 0,9 | 1,07 ± 0,13 |
| ➢ ПВХ (ПЗ) / Lumbar spine (AP) | 70 ± 2 | 136 ± 17 | 13,1 ± 1,4 | 1,23 ± 0,13 | 80 ± 2 | 103 ± 18 | 6,9 ± 0,6 | 0,48 ± 0,04 |
| ➢ ПВХ(Б) / Lumbar spine (Lat) | 75 ± 3 | 230 ± 35 | 21,6 ± 3,2 | 1,36 ± 0,20 | 80 ± 5 | 190 ± 30 | 11,7 ± 2,0 | 0,74 ± 0,13 |
| ➢ Кістки тазу (ПЗ) / Pelvis (AP) | 65 ± 2 | 120 ± 13 | 12,6 ± 1,2 | 2,20 ± 0,21 | 75 ± 2 | 60 ± 10 | 3,8 ± 0,3 | 0,63 ± 0,05 |

апаратах 2-ї групи (цифрові системи), що пов'язано з більш високими значеннями ВПД для апаратів 1-ї групи за рахунок використання більш високих значень експозиції та низьких значень анодної напруги.

Треба зазначити, що отримані значення ефективних доз не повинні використовуватися для оцінки індивідуальних доз пацієнтів, але значення конверсійних коефіцієнтів для рентгенівських апаратів двох груп можуть бути використані для оцінки ефективних доз «стандартного» пацієнта в окремому рентгенівському кабінеті за обраними видами рентгенографічних досліджень, якщо за результатами контролю характеристик апарату в рамках програми контролю якості були проведені оцінки ВПД для «стандартного» пацієнта для їх зіставлення з національними діагностичними референтними рівнями.

Таким чином, результати вивчення ефективних доз «стандартних» пацієнтів дозволяють провести оцінку колективних еквівалентних і ефективних доз пацієнтів від медичного опромінення та ризиків виникнення додаткових радіаційно-індукованих ефектів опромінення населення України за рахунок найбільш поширених рентгенографічних досліджень, що буде сприяти встановленню шляхів оптимізації радіаційної безпеки при медичному діагностичному опроміненні.

doses of second group X-ray units (digital systems), which is associated with higher ESD values for first group X-ray units due to the using the higher values of exposure (mAs) and lower values of anode voltage (kV).

It should be noted that the obtained values of effective doses should not be used in estimation of individual doses of patients, but the conversion factor values for the two groups of X-ray units can be used to estimate the effective doses of a «standard» patient in the specific X-ray room for the selected types of X-ray examinations. The assessment of ESDs for a «standard» patients can be carried out from the results of X-Ray unit characteristics within the framework of quality control program for comparison with national diagnostic reference levels.

Thus, the results of effective doses study for «standard» patients allow to evaluate the collective equivalent and effective doses of patients and estimate the risks of additional radiation-induced effects for population of Ukraine from medical exposure due to the most common radiographic examinations, will promote the establishment of ways of radiation safety optimization in the field of medical diagnostic exposures.

ВИСНОВКИ

1. За результатами проведення фантомних моделювань на гетерогенному антропоморфному фантомі «стандартної» людини визначено конверсійні коефіцієнти від вхідних поверхневих доз до еквівалентних органних/тканинних та ефективних доз для 7 найбільш поширених видів рентгенографічних досліджень і флюорографії для апаратів двох груп, які використовуються в практиці рентгенодіагностичних кабінетів України.
2. Встановлено, що ефективні дози «стандартного» пацієнта для обраних видів рентгенографічних досліджень на рентгенівських апаратах з аналоговими системами (1-ша група) в 1,1–5,5 раза вищі порівняно з сучасними цифровими апаратами (2-га група).
3. Використання значень еквівалентних та ефективних доз для «стандартної» людини за одну процедуру за обраними видами рентгенодіагностичних досліджень дозволить провести оцінку колективних ефективних доз пацієнтів, визначити ризики виникнення онкопатології у населення України і надати обґрунтовані рекомендації щодо подальшої оптимізації медичного діагностичного опромінення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України (ОСПУ-2005) Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02. Київ, 2005. 74 с.
2. Про створення системи контролю та обліку індивідуальних доз опромінення населення при рентгенодіагностичних процедурах : Наказ МОЗ № 295 від 18 липня 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0295282-01>.
3. ICRP 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2008. Vol. 37, no. 2–4. 344 p.
4. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation. *Official J. Eur. Communities*. Vienna, 2013. 73 p.
5. IAEA Pub 1663. Radiation protection in medicine: Setting the scene for the next decade. *Proceeding on International conference, Bonn, 2012*. Vienna: IAEA, 2015. 450 p.
6. European Commission. Radiation protection 154: European guidance on estimating population doses from medical X-ray procedures. Luxembourg: Office for off. Publ. of the EC, 2008. 96 p.
7. IAEA Pub 1775. Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. Vienna: IAEA, 2018. 340 p.
8. ICRP Publication 105. Radiological protection in medicine. *Ann. ICRP*. 2007. Vol. 37, no. 6. P. 1–63. DOI: 10.1016/j.icrp.2008.08.001.
9. Стадник Л. Л., Шальопа О. Ю., Носик О. В. Встановлення національних діагностичних рекомендованих рівнів у рентгенодіагностиці як інструмент оптимізації медичного опромінення. *Довкілля і здоров'я*. 2015. №. 3. С. 68–72. Ukrainian.

CONCLUSIONS

1. According to the results of phantom simulations on the heterogeneous anthropomorphic phantom of the «standard» person, the conversion coefficients from the entrance surface doses to the equivalent organ/tissue and effective doses were determined for the 7 most common types of radiography examinations and fluorography for two groups X-ray units which are used in Ukraine.
2. It is established that the effective doses of the «standard» patient for selected types of X-ray examinations at X-ray units with analog systems (first group) are 1.1–5.5 times higher than at the modern digital X-Ray machines(second group).
3. The use of equivalent and effective doses for a «standard» person from one procedure of selected types of X-ray diagnostic examinations allow to evaluate the collective effective doses of patients and identify the radiation risks of oncology pathology for Ukrainian population and to provide with justified recommendations for further optimization of medical diagnostic exposure.

REFERENCES

1. [Basic Sanitary Rules of Radiation Safety of Ukraine (OSPU-2005) State Sanitary Regulations 6.177-2005-09- 02]. Kyiv; 2005. 74 p. Ukrainian.
2. [Order of the Ministry of Health of Ukraine «On the Establishment of System for Monitoring and Recording the Individual Radiation Doses for Population during Radiological Procedures» № 295 from 18.07.2001] [Internet]. Available from: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0295282-01>. Ukrainian.
3. ICRP 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann ICRP*. 2008;37(2-4). 344 p.
4. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation. *Official J Eur Communities*. Vienna; 2013. 73 p.
5. IAEA Pub 1663. Radiation Protection in Medicine: Setting the Scene for the Next Decade. *Proceed. on International conference, Bonn, 2012*. Vienna: IAEA; 2015. 450 p.
6. European Commission. Radiation Protection 154: European Guidance on Estimating Population Doses from Medical X-Ray Procedures. Luxembourg: Office for off. Publ. of the EC; 2008. 96 p.
7. IAEA Pub 1775. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation. Vienna: IAEA; 2018. 340 p.
8. ICRP, 2007. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. *Ann ICRP*. 2007;37(6). 53 p.
9. Stadnyk LL, Shalopa OYu, Nosyk OV. [Establishment of National diagnostic reference levels in X-ray diagnostics as a tool for medical exposure optimisation]. *Environment and Health*. 2015;3:68-72. Ukrainian.

10. European Commission. Radiation protection 180: Part 1/2. Medical Radiation Exposure of the European Population. Luxembourg, 2015. 182 p.
11. IAEA. Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. Technical Reports Series № 457. Vienna: IAEA, 2007. 357 p.
12. NRPB. Dosimetry Working Party. National protocol for patient dose measurement in diagnostic radiology. Chilton: NRPB, 1992. 35 p.
13. Stadnyk L., Nosyk O. The ways of medical exposure optimization for conventional diagnostic radiology in Ukraine. *International Conference on Radiation Protection in Medicine. Vienna, 2017*. URL: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/02/rpop-session2.pdf>.
14. ДСТУ ISO 4037-1:2006. Рентгенівське та гамма-випромінення стандартні для калібрування дозиметрів і вимірювачів потужності дози та визначення їх чутливості як функції фотонів. Частина 1. Характеристики випромінення та методи їх створювання (ISO 4037-1:1996, IDT). 2006. 40 p.
10. European Commission. Radiation protection 180: Part 1/2. Medical radiation exposure of the european population. Luxembourg; 2015. 182 p.
11. IAEA. Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. Technical Reports Series № 457. Vienna: IAEA; 2007. 357 p.
12. NRPB. Dosimetry Working Party. National protocol for patient dose measurement in diagnostic radiology. Chilton: NRPB; 1992. 35 p
13. Stadnyk L, Nosyk O. The ways of medical exposure optimization for conventional diagnostic radiology in Ukraine. *In: International Conference on Radiation Protection in Medicine. Vienna; 2017*. Available from: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/02/rpop-session2.pdf>.
14. [DSTU ISO 4037-1:2006. X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 1: Radiation characteristics production methods]. Part 1. Kyiv; 2006. 40 p.

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Стадник Лариса Львівна – кандидат біологічних наук, завідувача Центральної лабораторії радіаційної безпеки та дозиметрії медичного опромінення, ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України», м. Харків

Носик Ольга Валеріївна – молодший науковий співробітник відділу радіології, ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України», м. Харків

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Larysa L. Stadnyk – Candidate of Biological Sciences, Head of the Central Laboratory of Radiation Safety and Dosimetry of Medical Staff and Patients Exposure, Grigoriev Institute for Medical Radiology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv, Ukraine

Olga V. Nosyk – Junior Researcher, Department of Radiology, State Institution «Institute of Medical Radiology SP Grigoriev of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv, Ukraine

Стаття надійшла до редакції 29.05.2019

Received: 129.05.2019