

ЕПІДЕМІОЛОГІЧНІ ТА ДОЗИМЕТРИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

УДК 614.876.000.7:615.849.114:621.386.86

В. В. Чумак^{1*}, А. О. Моргун², О. В. Баханова¹

¹Державна установа “Національний науковий центр
радіаційної медицини Національної академії медичних наук України”,
бул. Мельникова, 53, м. Київ, 04050, Україна
²АТ “НДІ РЗ АТН України”

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ
РОЗТАШУВАННЯ ПЕРСОНАЛЬНИХ ДОЗИМЕТРІВ
ПРИ ОЦІНЦІ ЕФЕКТИВНОЇ ДОЗИ МЕДИЧНОГО
ПЕРСОНАЛУ В УМОВАХ ВИКОРИСТАННЯ
ЗАХИСНОГО ОДЯGU**

Робота присвячена проблемі визначення оптимальних місць розташування дозиметрів для оцінки ефективної дози інтервенційних радіологів методом подвійної дозиметрії. Було проведено математичне моделювання формування доз на органи та показано дозиметрів методом Монте-Карло. З міркувань мінімальної варіації показано дозиметрів в залежності від кутів та енергії опромінення було встановлено, що дозиметр під фартухом слід носити посередині грудей, а місце розташування дозиметра над фартухом принципового значення не має.

Ключові слова: дозиметрія, дозиметри, ефективна доза, медичний персонал, інтервенційна радіологія, професійне опромінення, метод Монте-Карло, захисний фартух.

Вступ. Малоінвазивне медичне втручання під контролем рентгенівських променів (інтервенційна радіологія) часто, порівняно з традиційним оперативним втручанням, є менш травматичним для пацієнта, більш дешевим і сприяє зменшенню тривалості післяоператійного періоду й покращенню прогнозу одужання пацієнта. Однак, широке використання цих процедур та велике навантаження на лікарів становлять неабияку радіаційну небезпеку. Операції під рентгенівським контролем супроводжуються неминучим опроміненням членів операційної бригади через те, що хірург та його асистенти мають постійно або тривалий час знаходиться поруч з пацієнтом під час здійснення процедур інтервенційної радіології (рентгенографії чи рентгеноскопії).

* Чумак Вадим Віталійович, e-mail: chumak@leed1.kiev.ua
© Чумак В. В., Моргун А. О., Баханова О. В., 2012

За даними літературних джерел, середня доза хірурга на шию/груди за одну процедуру може становити від 3 мкЗв для діагностичних процедур і простих втручань до 660 мкЗв (фактично 1/30 річного ліміту дози) для більш складних процедур [1]. Враховуючи велику кількість проведених операцій на рік і постійне зростання кількості медичних радіологічних процедур [2], медичний персонал, особливо сам хірург, має бути забезпечений відповідним радіаційним захистом та контролем. До захисних заходів відносяться інструктажі персоналу, особливі методики проведення операції, спрямовані на мінімізацію дози опромінення, однак, найбільш ефективним є використання рентгенозахисного (екрануючого) одягу (фартухів, комірів, окулярів тощо). У цих умовах постає питання про правильне вимірювання дози персоналу.

Слід зазначити, що розташування дозиметра під захисним фартухом призводить до певної недооцінки дози опромінення, оскільки деякі частини тіла залишаються незахищеними. Розміщення дозиметра над фартухом призводить до значної переоцінки дози, оскільки у такому випадку не враховується захисна дія фартуха. Тому рекомендованим є використання одразу двох дозиметрів (метод подвійної дозиметрії), один з яких знаходиться під фартухом, інший — над фартухом [1].

Іншою визначальною особливістю вимірювання дози при інтервенційній радіології є велика нерівномірність поля випромінювання та його специфічність під час кожної операції. Як наслідок, на даний момент розроблена вже велика кількість різних алгоритмів розрахунку ефективної дози за показаннями двох дозиметрів. Відзначимо, що кожен з цих алгоритмів є придатним, але дає точні результати лише у вузькому діапазоні умов опромінення [3].

Ще одним фактором, який суттєво впливає на оцінку ефективної дози методом подвійної дозиметрії є місце розташування кожного з дозиметрів. Вплив цього фактора є недостатньо вивченим, а існуючі рекомендації стосовно розміщення дозиметрів випливають з практичних міркувань (зручність використання тощо) та не ґрунтуються на особливостях формування ефективної дози та доз у дозиметрах.

Метою роботи було вивчення закономірностей формування доз, що вимірюються індивідуальними дозиметрами при проведенні процедур інтервенційної радіології та визначення оптимальних з точки зору подальшої оцінки ефективної дози місць розташування дозиметрів для різних енергій та геометрії опромінення.

Для досягнення мети було поставлено наступні задачі:

- 1) здійснити моделювання математичного фантому, джерел випромінювання, захисного фартуха та індивідуальних дозиметрів;
- 2) провести розрахунок переносу фотонного випромінювання в системі “джерело — екрануючі/розсіючі структури — детектор” методом Монте-Карло [4];
- 3) визначити дози, що отримують індивідуальні дозиметри, розташовані у різних локалізаціях над та під захисним фартухом, та доз на органи й ефективну дозу для різних умов опромінення;
- 4) оцінити варіативність відгуків дозиметрів в залежності від місця розташування та умов опромінення (енергії та кутів опромінення);
- 5) визначити оптимальне місце розташування дозиметрів для подальшої оцінки ефективної дози методом подвійної дозиметрії.

За критерії вибору оптимального місця розташування дозиметра було прийнято найменш виражену залежність від кута падіння і енергії, близькість показів дозиметрів до середніх значень в усьому діапазоні енергії і кутів падіння рентгенівських променів.

Був використаний математичний фантом дорослої людини ADAM [5], модифікований додаванням захисного фартуха з комірцем. Фартух з комірцем являє собою шар свинцю товщиною 0,35 мм. Дозиметри для вимірювання персонального дозового еквіваленту $H_p(10)$ моделювалися у вигляді концентричних напівсфер з двома шарами. Зовнішній шар товщиною 1 см — м'які тканини, внутрішній шар радіусом 0,5 мм — власне детектор LiF. На фантомі було розміщено 18 дозиметрів: 9 під фартухом і 9 над фартухом у вигляді матриць 3×3 (рис. 1а). Висоти розташування дозиметрів відповідали поясу (20 см від нижньої межі тулуба), грудям (50 см) і комірцю (68,4 см).

Джерелом опромінення фантома у кожному розрахунку була вертикальна площа, розташована на відстані 1 м від осі фантома, що випромінювала моноенергетичний однонаправлений пучок фотонів. Моделювання здійснювалося для п'яти різних енергій (40, 50, 60, 70, 80 кеВ) і п'яти різних орієнтацій площини-джерела (з кутами -60° , -30° , 0° , 30° , 60° між нормальню площин і віссю x (рис. 2)). Поперечний переріз пучка повністю охоплював весь фантом.

Результати та їх обговорення. За допомогою коду MCNP-4B [6] було проведено 25 комп'ютерних експериментів для п'яти різних положень джерела випромінювання і п'яти різних енергій для кожного положення джерела. В кожному моделюванні результатом були покази 18 дозиметрів, дози на окремі органи, за якими було оцінено ефективну дозу

одержану фантомом. Статистичні похибки результатів оцінювались засобами коду MCNP.

Означимо коефіцієнт ослаблення A , як відношення показів двох дозиметрів з однаковим індексом $A=D_i^{\text{над}}/D_i^{\text{під}}$ (рис. 1б), один з яких знаходиться над фартухом ($D_i^{\text{над}}$), інший під фартухом ($D_i^{\text{під}}$). Аналогічним чином коефіцієнт зв'язку K — відношення показів двох дозиметрів з різними індексами (різними місцями розташування) $K=D_i^{\text{над}}/D_{j \neq i}^{\text{під}}$, один з яких знаходиться над фартухом, інший — під.

Оптимальним положенням дозиметра над фартухом і оптимальним положенням під фартухом слід вважати таке, в якому величина коефіцієнта ослаблення (чи коефіцієнт зв'язку в більш загальному випадку) буде най slabше залежати від кута опромінення (тобто повороти тулуба будуть спрямлювати найменший вплив на результат визначення ефективної

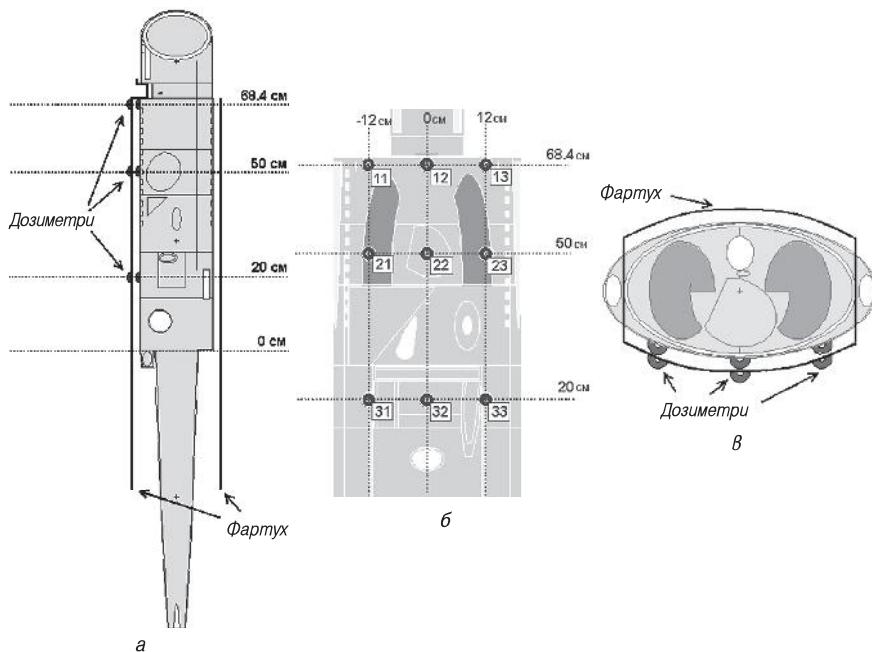


Рис. 1. Схема розташування дозиметрів та їхня нумерація на модифікованому фантомі ADAM, вигляд збоку (а), вигляд спереду (б), вигляд зверху (в). Фартух з комірцем виділені жирними лініями, дозиметри розташовані на трьох рівнях висоти: на рівні поясу (20 см), грудей (50 см) і комірця (68,4 см)

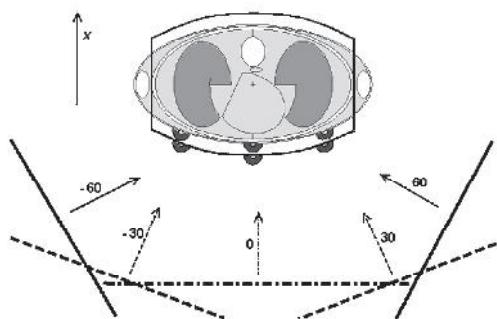


Рис. 2. Схема розташування площин — джерел опромінення фантома. Суцільною лінією виділені площини з кутами -60° і 60° , штриховою -30° і 30° , штрих-пунктирною 0° між нормаллю та віссю x

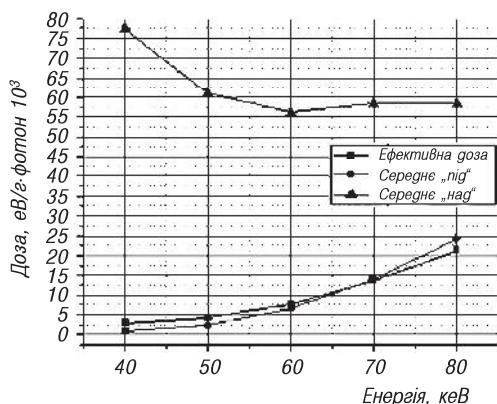


Рис. 3. Залежність ефективної дози, середнього значення показів всіх дозиметрів над фартухом (Середнє “над”) і середнього значення показів всіх дозиметрів під фартухом (Середнє “під”) від енергії для опромінення під кутом -60°

для енергії 40 кеВ при падінні під великим кутом для центральних дозиметрів (індекси 12, 22, 32) має значно нижчу варіацію при зміні кута падіння променів, ніж коефіцієнт зв’язку дози-

дози). Було встановлено, що величина ефективної дози і середня величина дози для усіх дозиметрів під фартухом дуже сильно корелують, що відображенено, наприклад, в залежності дози від енергії променів для кута падіння -60° (рис. 3).

На практиці ж можна використовувати лише один дозиметр під фартухом, тобто обчислити середнє значення на основі показань кількох дозиметрів неможливо, однак оптимальним буде положення того з дозиметрів під фартухом, покази якого найближчі до середнього значення усіх дозиметрів та найменшим чином залежать від кута опромінення. Виявилось, що таку властивість мають центральні дозиметри (дозиметри з індексами 12, 22, 32, рис. 1б). Тобто, розташування дозиметра під фартухом по середині тіла є більш оптимальним, ніж ліворуч або праворуч.

Коефіцієнт ослаблення фартуха змінюється в діапазоні від 5 для енергії 80 кеВ при нормальному падінні променів на фартух і до 1000

метрів в інших положеннях, що, як приклад, відображені в залежності коефіцієнта зв'язку від кута опромінення для енергії 70 кеВ (рис. 4).

Виявилось, що показання дозиметрів над фартухом для кожної окремої енергії залежать від місця розташування значно меншою мірою, ніж відповідні показання дозиметрів під фартухом. Залежність варіативності показань дозиметрів від кута опромінення також значно слабша для дозиметрів над фартухом, ніж дозиметрів під фартухом. Такі залежності можна пояснити більш сильним впливом зворотного розсіювання тілом людини (фантомом) та додатковим поглинанням (ослабленням) за рахунок м'яких тканин фантома. Останнє має більший ефект для більших кутів опромінення та менших енергій фотонів. Цей результат є очікуваним на якісному рівні, однак його вперше було кількісно оцінено сучасними засобами розрахунку (метод Монте-Карло з використанням гетерогенного антропоморфного фантому), які дозволяють враховувати всі процеси взаємодії з речовиною, розсіювання та поглинання.

Отримані результати дають відповідь на питання про вибір оптимального місця носіння індивідуальних дозиметрів інтервенційними радіологами та можуть бути використані при розробці алгоритму оцінки ефективної дози методом подвійної дозиметрії.

Висновки

1. Встановлено, що покази дозиметра, розташованого над фартухом, слабко залежать від точки розташування дозиметра в усьому досліджуваному діапазоні енергій і кутів падіння фотонного випромінювання.

2. Показання дозиметрів, розташованих на поверхні фантома (тілі людини) під захисним фартухом, сильно залежать від точки розміщення. Ця залежність підсилюється для більших кутів падіння і менших енергій.

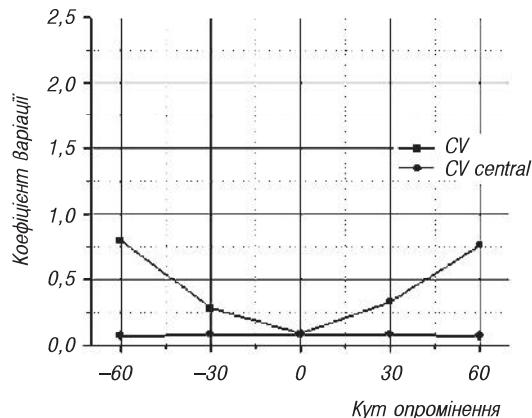


Рис. 4. Залежність коефіцієнта варіації коефіцієнтів зв'язку по всім дозиметрам (CV) і коефіцієнтів зв'язку по центральним дозиметрам (CV central) від площини випромінювання. Енергія 70 кеВ

3. Коефіцієнти зв'язку між показаннями дозиметрів над і під фартухом варіюють в широких межах, причому варіація мінімальна для підмножини дозиметрів під фартухом, розташованих вздовж осі тіла людини.

4. Показано, що в широкому діапазоні енергій і для всіх досліджених кутів падіння оптимальним є розташування дозиметра під фартухом по осі тіла людини, місце розташування дозиметра над фартухом принципового значення не має.

5. Із співставлення показань дозиметрів з розрахунковими значениями ефективної дози випливає, що усереднення за всіма (9) дозиметрами під фартухом дає прийнятне наближення ефективної дози, однак використання якого-небудь одного довільного дозиметра не дозволяє точно оцінити ефективну дозу.

6. Як показання дозиметрів над і під фартухом, так і ефективна доза, демонструють сильну залежність від енергії і кута падіння випромінювання. Для коректного визначення ефективної дози в широкому діапазоні енергій і геометрій опромінення слід користуватися певним алгоритмом, що використовує показання двох дозиметрів — над і під захисним фартухом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. NCRP Report 104. The relative biological effectiveness of radiation of different quality. National Council on Radiation Protection and Measurements. — Bethesda, Maryland : NCRP, 1990. — Issued № 15. — 217 p.
2. Sources and effects of ionizing radiation: United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR Report to the General Assembly. — NY : UN, 2010. — Vol. I. — 202 p.
3. Comparison of double dosimetry algorithms for estimating the effective dose in occupational dosimetry of interventional radiology staff / H. Jaervinen, N. Buls, P. Clerinx [et al.] // Radiat. Prot. Dosimetry. — 2008. — Vol. 131, № 1. — P. 80–86.
4. Кольчужкин А. М. Введение в теорию прохождения частиц через вещество / А. М. Кольчужкин. — М. : Атомиздат, 1978. — 256 с.
5. International Commission on Radiological Protection : ICRP. Report of the task group on reference man: ICRP publication 23. — New York : International Commission of Radiological Protection ; Pergamon Press, 1975. — Vol. 23, — 3–4. — P. III.
6. MCNP — A General Monte-Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B, LA-12625-M / ed. J. F. Briesmeister. — Los Alamos : [s. n.], 1997.

Стаття надійшла до редакції 14.05.2012.

V. V. Чумак¹, A. O. Моргун², O. V. Баханова¹

¹*Государственное учреждение “Национальный научный центр радиационной медицины Национальной академии медицинских наук Украины”,
53, ул. Мельникова, г. Киев, 04050, Украина*

²*АО “НИИ РЗ АТН Украины”*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МЕСТА РАСПОЛОЖЕНИЯ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОЙ
ДОЗЫ МЕДЕЦИНСКОГО ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ**

Работа посвящена проблеме определения оптимальных мест расположения дозиметров для оценки эффективной дозы интервенционных радиологов методом двойной дозиметрии. Было проведено математическое моделирование формирования доз на органы и показаний дозиметров методом Монте-Карло. Из соображений минимальной вариации показаний дозиметров в зависимости от углов и энергий облучения установлено, что дозиметр под фартуком следует носить посередине груди, а место расположения дозиметра над фартуком принципиального значения не имеет.

Ключевые слова: дозиметрия, дозиметры, эффективная доза, медицинский персонал, интервенционная радиология, профессиональное облучение, метод Монте-Карло, защитный фартук.

V. V. Chumak¹, A. O. Morgun², O. V. Bakhanova¹

¹*State Institution “National Research Center for Radiation Medicine
of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine”,
53, Melnykov str., Kyiv, 04050, Ukraine*

²*Radiation Protection Institute ATS Ukraine”*

**DETERMINATION OF OPTIMAL PERSONAL DOSIMETERS LOCATIONS
FOR ESTIMATION OF MEDICAL STAFF EFFECTIVE DOSE IN
CONDITIONS OF USING PROTECTIVE CLOTHING**

Work is dedicated to the problem of determination of dosimeter placement for interventional radiologists' effective dose estimation by double dosimetry method. Mathematical simulation of organ doses and dosimeter readouts was performed using Monte-Carlo method. With respect to minimal variations of dosimeters readouts as a function of exposure angles and energies it was found that dosimeter under apron should be worn in the middle of a chest, while specific location of the dosimeter over an apron is not important.

Key words: dosimetry, dosimeters, effective dose, medical staff, interventional radiology, professional exposure, Monte-Carlo method, protective apron.