

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ

**ВИКОРИСТАННЯ АНТРОПОМОРФНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ
ФІЗИЧНИХ ФАНТОМІВ ЛЮДИНИ РІЗНОГО ВІКУ ДЛЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗ НА ОРГАНИ
ПАЦІЄНТІВ ПРИ ПРОМЕНЕВІЙ ТЕРАПІЇ ТА ДІАГНОСТИЧНОМУ
ОПРОМІНЕННІ**

(методичні рекомендації)

Київ – 2020

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ



«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Начальник
лікувально-організаційного
управління НАМН України

Г.Д. Шкробанець

« 12 » жовтня 2020

**ВИКОРИСТАННЯ АНТРОПОМОРФНИХ ГЕТЕРОГЕННИХ
ФІЗИЧНИХ ФАНТОМІВ ЛЮДИНИ РІЗНОГО ВІКУ ДЛЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ДОЗ НА ОРГАНИ
ПАЦІЄНТІВ ПРИ ПРОМЕНЕВІЙ ТЕРАПІЇ ТА ДІАГНОСТИЧНОМУ
ОПРОМІНЕННІ**

(методичні рекомендації)

Київ – 2020

Установа-розробник:

ДУ „Національний науковий центр радіаційної медицини НАМН України”
(ННЦРМ)

Укладачі:

Чумак Вадим Віталійович, д-р біол. наук, ст. наук. співр	(044) 489-34-14
Петренко Наталія Петрівна, мол. наук. співр .	(044) 489-34-14
Баханова Олена Володимирівна, канд. фіз.-мат. наук, ст.дослідник	(044) 489-34-14
Волоський Віталій Миколайович, канд. біол. наук,	(044) 489-34-14
Трескунова Таміла Василівна, канд. мед. наук, ст. наук.співр.	(044) 489-34-14

Рецензент: Мурашко В.О., доцент, кафедра ядерної медицини, радіаційної онкології та радіаційної безпеки Національної медичної академії післядипломної освіти ім. П.Л. Шупика, канд. мед наук

Рішення експертної проблемної комісії «Радіаційна медицина» МОЗ та НАМН України, протокол № 2 від 30 вересня 2020 р.

Голова Експертної проблемної комісії "Радіаційна медицина" МОЗ та НАМН України акад. НАМН України, д-р мед. наук, проф. Д.А. Базика .

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	5
ВСТУП	6
1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ	6
2 АНТРОПОМОРФНИЙ ГЕТЕРОГЕННИЙ ФАНТОМ ЛЮДИНИ	7
3 ПІДГОТОВКА ТЛ ДЕТЕКТОРІВ ПЕРЕД ОПРОМІНЕННЯМ	9
4 ПІДГОТОВКА ФАНТОМУ ДО ВИМІРЮВАНЬ	11
5 ЕКСПОНУВАННЯ ФАНТОМУ В КЛІНІЧНИХ УМОВАХ	12
6 ЗЧИТУВАННЯ ДОЗИМЕТРІВ	13
7 ОЦІНКА ДОЗИ НА ОРГАНИ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	13
ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	15
ДОДАТОК А ПРИКЛАД ЗАПОВНЕННЯ ТАБЛИЦІ (ЖУРНАЛУ) ЗАРЯДЖАННЯ/РОЗРЯДЖАННЯ ФАНТОМУ	16
ДОДАТОК Б ПРИКЛАД ОФОРМЛЕННЯ ДАНИХ ДЛЯ ОБРОБКИ ВИМІРЮВАНЬ ДЛЯ ФАНТОМУ 15-РІЧНОЇ ДИТИНИ	16

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ
І ТЕРМІНІВ**

$^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ – ізотопи стронцію-90/ітрію-90

DAP – добуток доза-площа

DLP – добуток доза-довжина

TLD-100 – фірмова назва матеріалу термолюмінесцентного детектора LiF:
Mg, Ti

A – ампер

Детектор(и) LiF: Mg, Ti - – сцинтиляційні кристали з легуючими домішками
(магній і титан)

кВ – кіловольт

мГр – мілігрей

мЗв – мілізиверт

мкЗв/год – мікрозиверт на годину

МКРЗ – Міжнародна комісія з радіаційного захисту

мм – міліметр

ПЕД – потужність експозиційної дози

ТЛ – термолюмінесценція

ТЛД – термолюмінесцентний дозиметр

ВСТУП

Викладені методичні рекомендації (далі у тексті - Методика) встановлюють порядок проведення фантомних вимірювань для визначення доз у тканинах та органах людини під час процедур променевої терапії та при діагностичному опроміненні пацієнтів медичних закладів.

Методика описує спосіб визначення доз гамма- та рентгенівського опромінення у ділянках фантому, які репрезентують тканини та органи людини, що перебувають безпосередньо у промені (цільових органів та тканин), а також доз нецільових органів та тканин, що зазнають ненавмисного опромінення, перебуваючи поза межами (поля опромінення).

Результатом застосування Методики є дози опромінення тканин та органів людини, які можуть використовуватися для контролю якості та верифікації планування опромінення пацієнтів, а також для оцінки впливу іонізуючого випромінювання при проведенні епідеміологічних досліджень віддалених наслідків опромінення.

У випадку надання результатів визначення доз опромінення тканин та органів для використання юридичними і фізичними особами, посилення на Методику обов'язкові.

Цю Методику необхідно переглядати відповідно до встановленого порядку у міру того, як будуть набуті нові знання про умови опромінення пацієнтів, отримано практичний досвід чи при виникненні нових обставин, які впливають на умови опромінення й формування доз, проте не рідше, ніж раз на п'ять років.

Методичні рекомендації розроблено із використанням власного досвіду у сфері дозиметрії медичного опромінення стосовно визначення доз та встановлення закономірностей опромінення всього тіла чи окремих ділянок при процедурах променевої діагностики. Методичний документ підготовлено вперше в Україні.

1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ

1.1 Оцінка доз опромінення тканин та органів фантому людини здійснюється фахівцями спеціалізованої та відповідним чином оснащеної дозиметричної лабораторії, які пройшли необхідну підготовку та перевірку знань стосовно цієї Методики у частині визначення доз опромінення тканин та органів з урахуванням віку людини, яку репрезентує фантом.

1.2 Предметом розгляду цієї Методики не є ефективна доза, інші компоненти доз на окремі тканини та органи, крім дози зовнішнього фотонного (гамма- та рентгенівського) опромінення (наприклад, доза внутрішнього опромінення), а також дози на окремі органи за рахунок інших видів випромінювання (наприклад, дистанційного й контактного бета-опромінення шкіри чи кришталика ока).

1.3 Методика орієнтована на використання сімейства антропоморфних гетерогенних фантомів АТОМ, ТЛ детекторів з тканино-еквівалентного матеріалу LiF: Mg, Ti (TLD-100) з використанням автоматичної ТЛД системи ALNOR Dosacus у складі автоматичного зчитувача ALNOR RE-1, автоматичного опромінювача (калібратора) ALNOR IR-1 та керуючого комп'ютера. Допускається використання інших ТЛ зчитувачів, що можуть зчитувати детектори ТЛД з тканино-еквівалентного матеріалу LiF: Mg, Ti

(TLD-100), які можуть розміщуватися у лунках фантому діаметром 5 мм. Техніка вимірювань на ТЛД зчитувачах не є предметом розгляду цієї Методики.

2 АНТРОПОМОРФНИЙ ГЕТЕРОГЕННИЙ ФАНТОМ ЛЮДИНИ

2.1 Експериментальне визначення ефективної дози та доз на органи здійснюється за допомогою стандартного гетерогенного антропоморфного фантому типу RANDO-ALDERSON. Фантоми мають пошарову структуру (складаються з окремих блоків висотою 25 мм) та відображають внутрішню будову людини (рис. 1).

2.2 За цією Методикою для вимірювань використовують сімейство антропоморфних гетерогенних фантомів референтної людини різного віку: 0, 1, 5, 15 років та дорослої людини (виробництва «Атом LTD», м. Рига, Латвія, 1988 рік.). Фантоми виготовлені з тканино-еквівалентних матеріалів (пластмас різних видів та наповнювачів), які, з погляду взаємодії іонізуючого випромінювання з речовиною, моделюють м'яку біологічну тканину, кістки та легені (рис. 2).

2.3 Фантом призначений для досліджень методом термомінесцентної дозиметрії (ТЛД) і містить усереднені для людей відповідного віку розташування, розміри та форму 16 внутрішніх органів. Так, фантом дорослої людини складається з 39 шарів, скріплених стяжним пристроєм (рис. 1). У кожному з таких шарів можуть бути розміщені (імплантовані) ТЛ детектори. Детектори з тканино-еквівалентного матеріалу LiF:Mg, Ti (TLD-100) розміщуються у спеціальних лунках (позиціях), що відповідають різним органам. Для більш точного визначення еквівалентної дози деяких більш протяжних органів у відповідних їм локалізаціях розташовується по кілька лунок для детекторів, показання яких усереднюються. Як результат, дози, отримані детекторами (групами детекторів), з достатньою точністю можна вважати рівними дозам, які отримані органами реальної людини при опроміненні.

2.4 Суть фантомних вимірювань полягає у тому, що споряджений ТЛ детекторами фантом експонується у полі рентгенівського або гамма-випромінювання у тих же умовах, що й реальна людина (пацієнт), показання ТЛ детекторів зчитуються і за допомогою відповідного усереднення по органах визначаються дози на окремі органи.

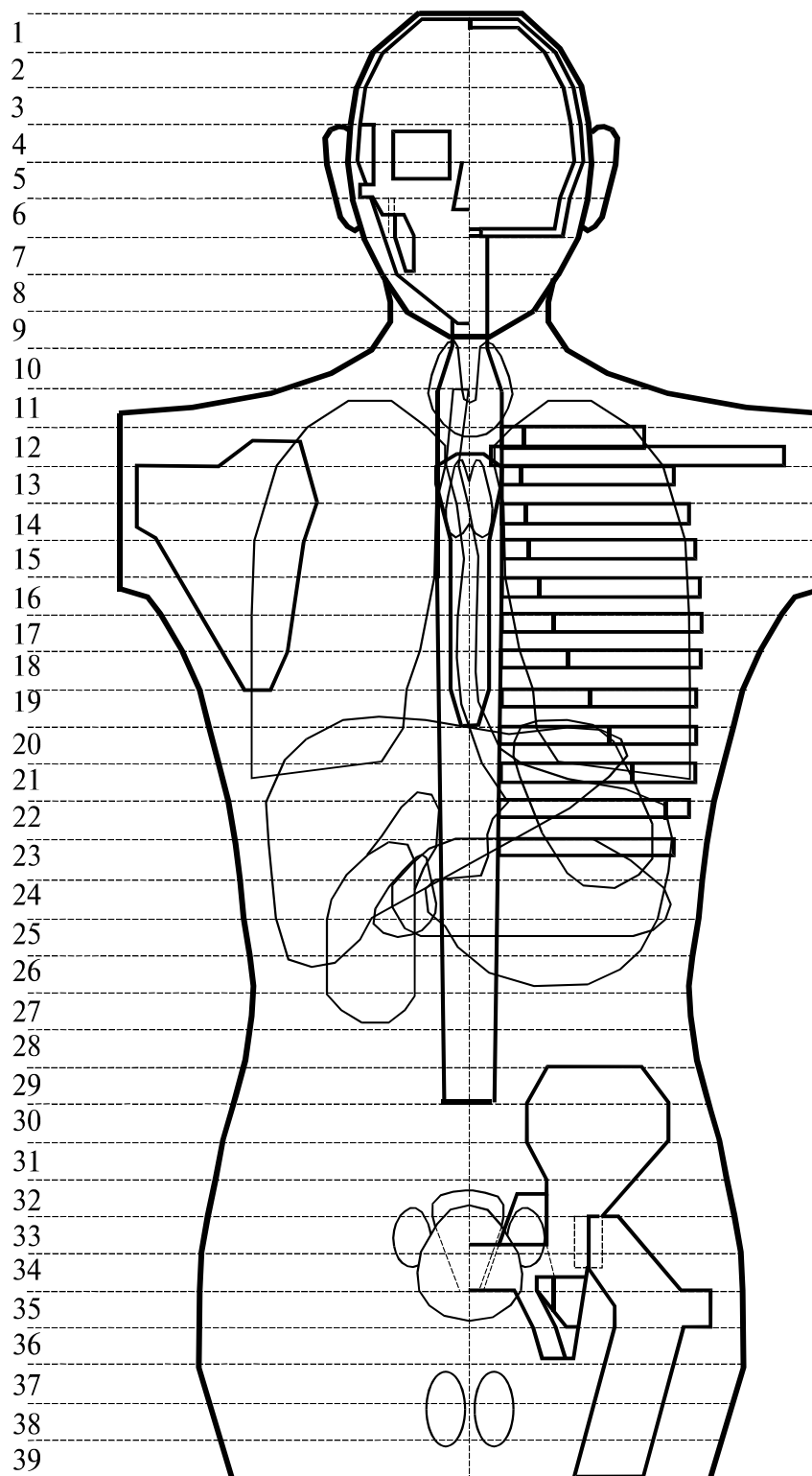


Рисунок 1 – Стандартний гетерогенний антропоморфний фантом типу RANDO-ALDERSON

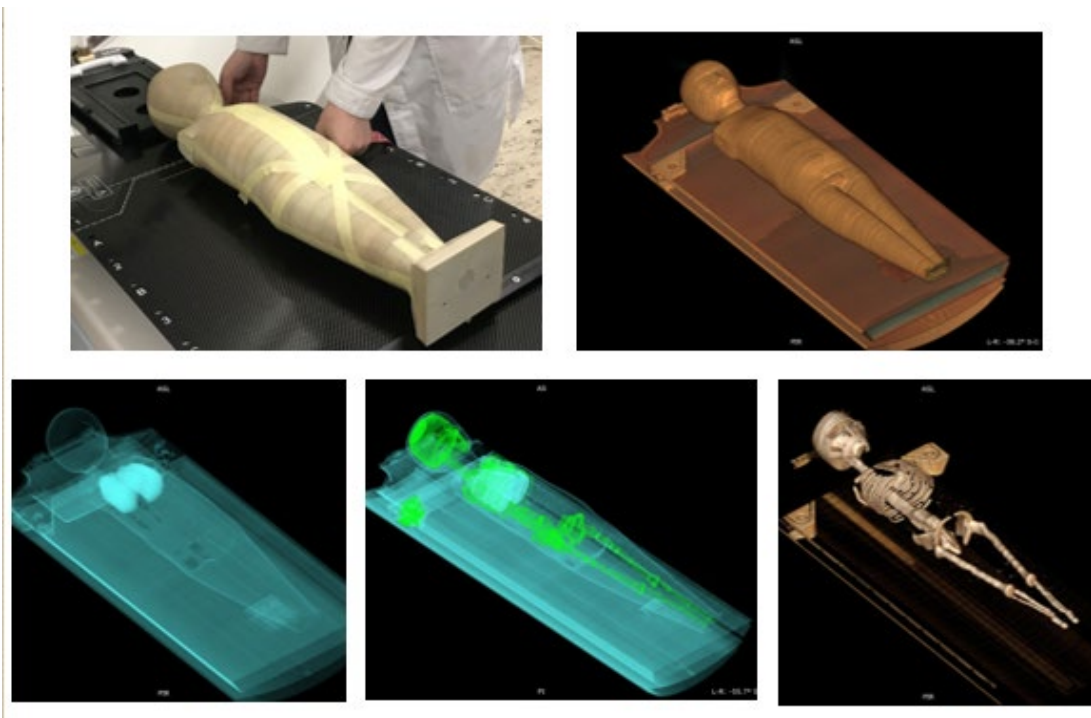


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд та внутрішня структура (проекції КТ) дитячого антропоморфного фантому дитини віком 5 років.

3 ПІДГОТОВКА ТЛ ДЕТЕКТОРІВ ПЕРЕД ОПРОМІНЕННЯМ

3.1 Із загального пулу наявних детекторів LiF: Mg, Ti (TLD-100) відбирається необхідна для проведення вимірювань кількість (п. 2.3). Відповідно до заводських маркувань, максимальна кількість детекторів для фантому дорослої людини становить 255 штук, 15-річного – 235, 5-річного – 181, 1-річного – 150 і відповідно, немовляти – 134. До цього числа додається 20 ТЛ детекторів для визначення доз головного мозку та слинних залоз відповідно до розширеного переліку органів, передбаченого публікацією 103 МКРЗ.

3.2 Рекомендується також підготувати по 40 додаткових детекторів на кожен фантом, які використовуватимуться як фонові детектори, або, наприклад, для визначення вхідної дози на шкіру чи як запасні.

3.3 У разі виявлення дефектів – забруднень і механічних ушкоджень, які можуть призводити до змін чутливості та порушення відтворювання результатів вимірювань, – детектори треба очистити спиртом від бруду, або взагалі замінити.

3.4 Відібрані детектори LiF: Mg, Ti (TLD-100) викладаються на металеву підкладку та відпалюються в муфельній печі при температурі 400–500°C протягом години для стирання (занулення) накопиченої інформації про попередньо отриману дозу чи дозу, накопичену за рахунок природного радіаційного фону під час зберігання.

3.5 Після охолодження до кімнатної температури детектори заряджаються в слайди дозиметрів автоматичної ТЛД системи ALNOR (п. 1.3) по одному на слайд (рис. 3). Ця процедура здійснюється за допомогою вакуумного пінцету, уникаючи контакту детекторів із руками. На слайди при виготовленні нанесено бінарний та десятковий код, який є номером дозиметра. Залежно від цього коду автоматична ТЛД система визначає у якому

саме режимі буде зчитуватись дозиметр. Для фантомних вимірювань зручно відбирати слайди одного діапазону кодів, наприклад, від 020000 до 029990, що відповідатиме режиму зчитування, заздалегідь оптимізованому для фантомних вимірювань. Дотримання відповідності нумерації детекторів та дозиметрів дає можливість значно спростити заряджання та подальшу обробку детекторів.

3.6 Заряджені детекторами слайди завантажують у касету по 20 слайдів і піддають каліброваному опроміненню визначеною дозою 2,6 мГр на контрольному джерелі $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, вбудованому до штатного калібратора ALNOR IR-1. Зазначена доза накопичується за 10 проходів відповідно до керівництва з експлуатації калібратора ALNOR IR-1.

3.7 Через добу після опромінення ці зразки зчитуються на автоматичному зчитувачі ALNOR RE-1 та визначаються індивідуальні калібрувальні коефіцієнти, які зберігаються у пам'яті (базі даних) автоматичної ТЛД системи.

3.8 Через декілька днів ця процедура повторюється та вибраковуються детектори, які показали відхилення від номінальної дози понад 5,0 % (відбраковування дефектних детекторів, що реєструють погану повторюваність).

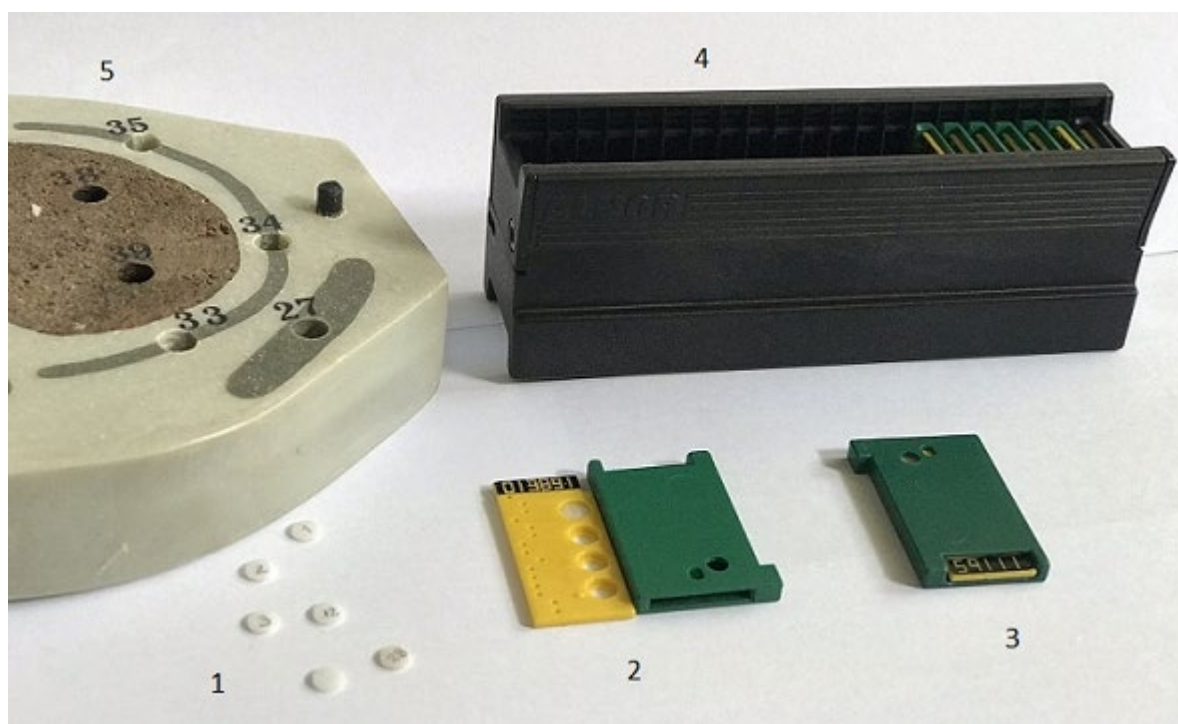


Рисунок 3 – Детектори (1), слайд у розібраному вигляді (2), та в зібраному (3), касета зі слайдами (4), шар фантому (5).

4 ПІДГОТОВКА ФАНТОМУ ДО ВИМІРЮВАНЬ

4.1 Фантом очищають від пилу та забруднень зовні та всередині (лунки).

4.2 Заряджається фантом пошарово, починаючи з голови, відповідно до порядку нумерації лунок, в приміщенні без прямого попадання світла на детектори, для уникнення спотворення результатів за рахунок небажаної оптико-стимульованої люмінесценції (ефект блічінгу) – п. 3.5. Найкраще це робити в червоному світлі за допомогою вакуумного пінцета (рис. 4).

4.3 Під час спорядження фантому, номер позиції детектора у фантомі підписується простим олівцем на детекторі, одночасно фіксується положення та забезпечується простежуваність до номера корпусу дозиметра в робочому журналі (додаток А), оскільки при зчитуванні система ALNOR прив'язується саме до номера слайду. Підпис слід робити з того боку детектора, яким він вкладається у слайд, верхній бік детектора має бути чистим

4.4 Для визначення доз на шкіру додаткові 4–6 детекторів для кожного фантому поміщають у непрозорі маленькі (за розміром детектора) паперові конверти; конверти приклеюють на поверхню фантому з боку прогнозовано максимального опромінення та прилеглих зон. Важливо, щоб клейкий шар фіксуючої стрічки не контактував з детектором, оскільки це може спотворити ТЛ сигнал.



Рисунок 4 – Приклад зарядження фантому детекторами. Детектор, з підписом позиції 28, вкладається в лунку номер 28

4.5 Споряджений детекторами фантом фіксується стрічкою, яка не залишає клейкого шару (наприклад, малярною) та заводськими стяжками для подальшого транспортування й експонування в умовах опромінення. Для зручності транспортування фантоми 15-річної дитини та дорослої людини ділять на кілька частин, попередньо закривши лунки, що припадають на площини розділення, щоб потім його можна було оперативно зібрати на місці опромінення (п. 3.1)

5 ЕКСПОНУВАННЯ ФАНТОМУ В КЛІНІЧНИХ УМОВАХ

5.1 Споряджений детекторами фантом транспортується до місця проведення експерименту разом із фоновими детекторами (п. 3.2).

5.2 Експонування здійснюється за умов, які точно відповідають реальним умовам опромінення пацієнта. Для цього фантом позиціонується під контролем медичного персоналу закладу, у якому відбувається експеримент відповідно до протоколу обстеження чи радіотерапії. Якщо під час опромінення пацієнт розміщується горизонтально, як наприклад, під час комп'ютерної томографії, то фантом викладається на стіл, під шию та ноги фантому підкладаються спеціальні подушки.

5.3 У випадку вертикального експонування, фантом фіксується вертикально на висоті зросту середньостатистичної людини. Для фантому дорослого, до комплектації якого не включені ноги, необхідно подбати про моделювання розсіяного випромінювання від ніг, додавши закриту ємність з водою відповідної форми та об'єму.

5.4 Якщо під час процедури використовуються засоби індивідуального захисту, наприклад, свинцевий фартух чи локальні екрани, то потрібно їх одягти на фантом під час експозиції.

5.5 Фантом розміщується відповідно до геометрії конкретного приладу та опромінюється за визначеними протоколами й параметрами процедур. Оператор, який працює в конкретних клінічних умовах визначає ці умови та розміщення.

5.6 Фонові дозиметри залишаються в приміщенні оператора, яке захищене від опромінення (п. 3.2)

5.7 Здійснюється фотофіксація розташування фантому, апарату, джерела випромінювання, інших істотних обставин, які можуть бути використані на етапі обробки та інтерпретації результатів фантомних вимірювань (додаток А).

5.8 У робочому журналі (п. 4.3) фіксуються такі параметри:

- Дата
- Назва організації
- Назва підрозділу
- Контакти оператора та керівника підрозділу
- Модель приладу
- Опис процедури
- Напруга на трубці, кВ
- Струм, А
- Час експозиції
- Фільтри
- DAP або DLP
- ПЕД на робочих місцях під час процедури, мкЗв/год.

5.9 Якщо очікувані дози у позиціях розміщення детекторів малі, процедуру опромінення слід повторити декілька разів за тих же умов, щоб очікувані дози опромінення детекторів, що розташовані у цільових органах та тканинах, які не потрапляють у прямий промінь опромінення, досягали оптимальних для зчитування ТЛ детекторів значень (0,2–200 мЗв).

5.10 Після закінчення експонування споряджений детекторами фантом транспортується разом із фоновими дозиметрами з місця проведення експерименту (експонування) до лабораторії для зчитування.

6 ЗЧИТУВАННЯ ДОЗИМЕТРІВ

6.1 Для зчитування ТЛ детектори виймаються з фантому та розміщуються у закріплених за ними слайдах дозиметрів автоматичної ТЛД системи ALNOR (п. 1.3). Як і заряджання фантому, зворотній процес теж має відбуватись без прямого потрапляння світла на детектори із збереженням положення на слайді та відповідно до записів у журналі (додаток Б). Детектори розміщуються на слайдах підписами вниз. Збереження послідовності нумерації лунок у фантомі та послідовності зчитування цих детекторів знімає необхідність внесення з журналу відповідності дозиметр-лунка, що виключає додаткові помилки, спричинені людським фактором.

6.2 Зчитування ТЛ детекторів проводиться на автоматичному зчитувачі ALNOR RE-1, в якому нагрів відбувається азотом високої очистки (99.96 %), через 2–5 днів після опромінення (експонування фантому) щоб зменшити вплив нестабільних низькотемпературних піків ТЛ на дозу.

6.3 На цьому етапі важливо прослідкувати за відсутністю збоїв у роботі приладу. Якщо ж у процесі зчитування, прилад зупинився і показав помилку, номер дефектного детектора на якому стався збій фіксується у протоколі зчитування у полі примітки (додаток Б) та не враховується в подальших розрахунках.

6.4 Результатом зчитування є дози окремих детекторів з урахуванням їх індивідуального калібрування (пп. 3.6–3.8). Вважають, що доза, визначена детектором, відповідає еквівалентній дозі у місці розташування детектора (додаток Б)

7 ОЦІНКА ДОЗИ НА ОРГАНИ ТА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

7.1 В результаті зчитування отримуємо відповідність «номер дозиметра – доза». Згідно з журналом заряджання/розряджання фантому (додаток А) встановлюємо нову відповідність «позиція у фантомі (лунка) – номер дозиметра – доза».

7.2 Контроль якості вимірювання здійснюється шляхом повторного опромінення всіх детекторів калібрувальною дозою та їхнього повторного зчитування. Результати повторного зчитування порівнюються з результатами зчитування детекторів, отриманими при калібруванні. Якщо відхилення становить менше 5,0 %, таким результатам можна довіряти без додаткових зауважень чи процедур (пп. 3.6–3.8). У разі відхилення понад 5,0 %, з'ясовують можливі причини. Зокрема, якщо має місце забруднення детектора, його очищують та виконують процедуру повторно. Якщо детектор пошкоджений – дані не враховуються у подальших розрахунках. Якщо причиною є велика доза попереднього

опромінення детектора (понад 20 мЗв), результати експерименту можна враховувати, але ці детектори не можна використовувати для наступних низькодозових вимірювань. Їх необхідно додатково відпалювати в печі при температурі 400 С протягом години із повторним індивідуальним калібруванням цих детекторів.

7.3 До кожного фантому є технічна документація у вигляді таблиці відповідності «лунка–назва органу». Зіставивши цю та отриману нами таблицю, маємо відповідність «назва органу – доза» (додаток Б).

7.4 Дані відсортовуються та усереднюються в межах одного органу/тканини. Від них віднімаються усереднені значення фонових доз, визначених за допомогою спеціальних фонових дозиметрів (п. 3.2).

7.5 Відхилення дози детекторів у кожному органі від середнього значення більш як на 20,0 %, додатково аналізується. Відхилення може бути зумовлене геометрією опромінення. Якщо причини не виявлено, перевіряється достовірність отриманого результату (необхідно оглянути візуально детектор, порівняти відгук на калібрувальну дозу та з дозою сусідніх детекторів). Результати недостовірних вимірювань не враховуються при подальшому аналізі.

7.6 У 103 публікації МКРЗ номінальні ризики раку і вагові коефіцієнти для тканин були оцінені для 14 органів і тканин (стравоходу, шлунка, товстої кишки, печінки, легень, кісток, шкіри, молочної залози, яєчника, сечового міхура, щитовидної залози і червоного кісткового мозку); органи і тканини, які не є складовими цього списку, були згруповані в категорію «інші». Доза на червоний кістковий мозок визначається по лунках, розташованих у кістках, які розміщені по всьому тілу людини, і тому необхідно враховувати вагові множники кожної групи кісток.

7.7 Подальша оцінка доз на тканини та органи залежить від конкретної потреби. Зокрема, перемноживши на вагові множники, усереднені значеннями доз в органах, можемо отримати ефективну дозу.

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ICRU Report 44. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. International Commission on radiation units and measurement. Maryland: Bethesda. 1989.
2. ICRP Publication 23. Report of the task group on reference man. *Ann. ICRP*. 1975.
3. ICRP Publication 60. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 1991. Vol. 21 (1–3).
4. ICRP Publication 89. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection reference values. ICRP. *Ann. ICRP*. 2002. Vol. 32 (3–4),
5. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP*. 2007. Vol 37 (2–4). 332 p.
6. ICRP Publication 118. ICRP Statement on tissue reactions. Early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann. ICRP*. 2012. Vol. 41 (1–2). 322 p.
7. ICRP Publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging. *Ann. ICRP*. 2017. Vol. 46 (1). 144 p.
8. Milham S. Mortality in workers exposed to electromagnetic fields. *Environ. Health Perspect.* 1985. Vol. 62. P. 297–300.
9. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology / E. Vañó, L. González, E. Guibelalde et al. *Br. J. Radiol.* 1998. Vol. 71 (849). P. 954–960.
10. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours / L. Hardell, K. H. Mild, A. Pahlson, A. Hallquist. *Eur. J. Cancer Prev.* 2001. Vol. 10. P. 523–529.
11. Varchena V. Pediatric phantoms. *Pediatr. Radiol.* 2002. Vol. 32. P. 280–284.
12. Иванов В. И. Курс дозиметрии: учебник для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1988. 400 с.
13. Ключников О. О., Носовський А. В. Основи дозиметрії іонізуючих випромінювань: навчальний посібник. К.: Інститут проблем безпеки АЕС НАН України, 2007. 256 с.
14. Chumak V., Deniachenko N., Volosky V. Energy and angular dependences of common types of personal dosimeters in the mirror of the First national intercomparison of individual dosimetric monitoring laboratories in Ukraine. *Probl. Radiac. Med. Radiobiol.* 2015. Vol. 20. P. 257–268.

ДОДАТОК А

Приклад заповнення таблиці (журналу) заряджання / розряджання фантому

Номер позиції у фантомі	Шар фантому	Номер слайду	Примітки
1	3	020001	
2	3	020002	
3	3	020003	
4	3	020004	
5	5	020006	
6	5	020008	

ДОДАТОК Б

Приклад оформлення даних при підготовці до обробки вимірювань для фантому 15-річної дитини

Позиція у фантомі	Органи/тканини	Номер слайду	Доза (мЗв)	Доза без фону (мЗв)	Примітки
15	щитовидна залоза	20015	7,99	7,97	
16	щитовидна залоза	20016	8,25	8,23	
17	ключиці	20017	2,36	2,34	
18	ключиці	20018	2,50	2,48	
19	ключиці	20019	2,38	2,36	
20	ключиці	20020	2,31	2,29	
21	тимус	20021	1,21	1,19	
22	грудина	20022	1,30	1,27	
23	хребет	20023	0,61	0,59	
24	стравохід	20024	1,10	1,08	
25	тимус	20025	0,70	0,68	
26	тимус	20026	0,67	0,65	
27	лопатки	20027	0,28	0,26	
28	лопатки	20028	0,31	0,29	
...	
61	легені	20061	0,29	0,27	
62	легені	20062	0,32	0,29	
63	легені	20063	0,21	0,19	
64	легені	20064	0,32	0,30	
65	молочні залози	20065	0,47	0,45	
66	молочні залози	20066	0,45	0,43	