

# Вплив умов рентгенологічних досліджень на визначення дози медичного опромінення пацієнтів

*Наведено результати аналізу впливу умов рентгенологічних досліджень на визначення ефективної дози опромінення пацієнтів при діагностичних процедурах.*

Л. І. Асламова, Е. Н. Солодовник

## **Влияние условий рентгенологических исследований на определение дозы медицинского облучения пациентов**

*Приведены результаты анализа влияния условий рентгенологических исследований на определение эффективной дозы облучения пациентов при диагностических процедурах.*

Зменшення дози медичного опромінення пацієнтів при рентгенодіагностиці за умов підвищення ефективності, якості і продуктивності діяльності з використанням джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) медичними закладами можливо завдяки технічному переоснащенню відділів променевої діагностики рентгеногенеруючим обладнанням, оновленню парку дозиметричної апаратури; систематизації нормативно-правової бази з урахуванням вимог Європейського Союзу для ефективного впровадження в практику медичних закладів систем радіаційної безпеки та управління якістю, що потребує:

розробки та затвердження нормативних документів з чітким формулюванням загальних процедур та вимог, які мають виконуватися для забезпечення коректного визначення та реєстрації дозових навантажень на пацієнта;

введення спеціальності “медичний фізик” з урахуванням міжнародного досвіду та вимог освітньо-кваліфікаційних характеристик рівня “бакалавр”, “магістр”;

підвищення кваліфікації персоналу та оволодіння ним професійними навичками у сфері радіаційної безпеки.

З 1 січня 2010 р. в Україні набирає чинності нормативно-правовий акт “Вимоги до системи управління якістю проведення діагностичних та терапевтичних процедур з використанням джерел іонізуючого випромінювання”, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 29 жовтня 2008 р. за № 1054/15745 [1]. Згідно з вимогами, викладеними у вищезазначеному документі, медичний заклад встановлює, документує, впроваджує систему управління якістю (СУЯ) проведення діагностичних та терапевтичних процедур з використанням ДІВ та підтримує її результативність відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 13485:2005 [2] шляхом:

визначення процесів, необхідних для СУЯ, їх послідовності, взаємодії та застосування в медичному закладі;

визначення методик, необхідних для забезпечення результативності функціонування визначених медичним закладом процесів СУЯ та управління ними;

забезпечення наявності ресурсів (людських, технічних, матеріальних), нормативно-правових актів, нормативних та організаційно-розпорядчих документів, необхідних для підтримання функціонування, здійснення контролю та аналізування процесів СУЯ, визначених медичним закладом; запровадження заходів, необхідних для досягнення результативності визначених медичним закладом процесів СУЯ.

Використання досконалої рентгенівської техніки сприятиме значному зниженню дози опромінення, скороченню часу проведення одного дослідження, а отже, зростанню кількості обстежуваних, що може бути вирішальним, особливо для хворих категорії АД:

хворих з установленими онкологічними захворюваннями чи осіб з виявленими передраковими захворюваннями;

хворих, дослідження яких проводяться з метою диференціальної діагностики уродженої серцево-судинної патології та судинних уроджених пороків розвитку;

осіб, досліджуваних в ургентній практиці (в тому числі при травмах) за життєвими показниками.

Рекомендований граничний рівень опромінення (ефективна доза), встановлений для категорії АД, — 100 мЗв/рік<sup>-1</sup> [3].

Внаслідок економічних факторів процес переходу медичних установ на сучасне обладнання відбуватиметься тривалий час. Тому реальним методом зменшення дозового навантаження є технологічно вірне виконання рентгенівських знімків — від клінічного обґрунтування дослідження до передачі знімків у архів. Зниження дози досягається вибором оптимальних технічних умов опромінення конкретного

пацієнта та використання засобів захисту від впливу іонізуючого випромінювання [4].

### Параметри рентгенівського випромінювання

Рентгенівське випромінювання, що генерується будь-яким рентгенодіагностичним апаратом, характеризується двома основними параметрами:

потужністю експозиційної дози (або керми в повітрі при сучасних вимірюваннях);

спектральним (енергетичним) складом.

На практиці визначається радіаційний вихід  $D_T$  — потужність експозиційної дози, мР/с, що створюється на відстані 1 м від фокуса рентгенівської трубки на осі первинного пучка рентгенівського випромінювання при заданих значеннях анодної напруги, зведеної до значення анодного струму 1 мА. Останній залежить від багатьох факторів, пов'язаних з режимом роботи та особливостями конструкції апарата: напруги на трубі, анодного струму, форми пульсації напруги й струму, загальної фільтрації випромінювання, матеріалу й кута нахилу мішені анода, спрацьованості анода та ін.

Взаємозалежний вплив таких параметрів утруднює теоретичний розрахунок радіаційного виходу, а в разі його експериментального визначення неминучі великі похибки, обумовлені труднощами контролю дійсних значень всіх параметрів. Тому радіаційний вихід краще визначати для кожної конкретної трубки або пристрою.

Знання радіаційного виходу конкретного апарата необхідно для виявлення неполадок і несправностей у роботі рентген-апарата й для розрахунку доз, отриманих пацієнтом під час дослідження.

Значення радіаційного виходу береться з технічної документації на конкретний рентгенівський випромінювач або з даних періодичних вимірювань цієї величини відповідними вимірювальними приладами. За відсутності таких даних слід користуватися наближеними таблицями та графіками. Але радіаційний вихід залежить (дані можуть відрізнятись у кілька десятків разів) від типу і товщини додаткових фільтрів, а також типу і конструкції анода. Відсутність переліченої детальної інформації унеможливує коректне визначення за загальними таблицями радіаційного виходу конкретного апарата.

Даними вимірювання радіаційного виходу апарата [5], [6], за умов високої точності його визначення, можна скористатися для розрахунку ефективної дози опромінення пацієнта, мкЗв:

$$E = RItK_e$$

де  $R$  — радіаційний вихід рентгенівського випромінювача, мР·м<sup>2</sup>/(мА·с);  $I$  — струм рентгенівської трубки, мА;  $t$  — час проведення дослідження, с;  $K_e$  — коефіцієнт переходу до ефективної дози опромінення пацієнта даного віку з урахуванням виду проведеного рентгенологічного дослідження, проєкції, розмірів поля, фокусної відстані і анодної напруги на рентгенівській трубі, мкЗв/(мР·м<sup>2</sup>). Середні значення дозового коефіцієнта  $K_e$  наводяться в таблицях для рентгенодіагностичних досліджень для шести вікових груп.

Ефективні дози опромінення пацієнтів можуть визначатися також за результатами дозиметричного вимірювання добутку дози на площу. Цей метод є кращим, оскільки вимірювання добутку дози на площу проводиться безпосередньо під час дослідження, відображає реальні параметри генерації рентгенівського випромінювання і дозволяє контролювати роботу рентген-апарата [7].

### Умови рентгенологічного дослідження

Інтенсивність рентгенівського випромінювання, котре падає на приймач, залежить від анодного струму, напруги на трубі та часу включення випромінювання. В сучасних приладах при проведенні діагностики можна задавати такі параметри:

напругу, кВ, та кількість електрики, мА·с;

напругу, кВ, струм, мА, та кількість електрики, мА·с;

напругу, кВ, струм, мА, та час, с [8].

При найтиповіших рентгенологічних дослідженнях використовується один з двох режимів роботи апаратури: режим *рентгенографії* або режим *рентгеноскопії*.

У більшості медичних установ при проведенні рентгенографії параметри дослідження встановлюються за попередньо складеними таблицями експозицій для різних органів та для кожного конкретного апарата. Значення цих параметрів залежать також від процесу проявлення рентгенівських знімків.

Для рентгенографії *органів дихання* використовують напругу 70–90 кВ, експозицію 10 мА·с, що пов'язано зі значною динамічною нерізкістю через рух серця, легенів. Дослідження трахеї проводять при напрузі 100–125 кВ, експозиції 3–5 мА·с. Шляхом віддалення касети від пацієнта застосовують також знімки з прямим збільшенням.

Для діагностики *органів травлення* проводять одночасно рентгеноскопію з контрастною речовиною та рентгенографію у зв'язку з незначними відмінностями густини органів травлення від густини близьких до них органів. Типовими параметрами дослідження є напруга на трубі 90 кВ, експозиція 20 мА·с, витримка 0,2 с, що пов'язано з рухом шлунково-кишкового тракту. Велика тривалість рентгеноскопічних досліджень призводить до значних дозових навантажень, тому потрібне застосування підсилювача рентгенівського зображення.

Для дослідження *кісток, суглобів, черепу* застосовують рентгенографію, при цьому параметри дослідження відрізняються. Наприклад, тазостегнові суглоби знімають при напрузі 80–110 кВ і експозиції 40 мА·с, а кисти рук — 40–45 кВ та 5 мА·с.

Дослідження *молочної залози* проводять при низькій напрузі — 25–30 кВ та значних експозиціях — 100 мА·с, бо контрастність тканин та патологій невелика.

До параметрів проведення дослідження, що впливають на дози опромінення пацієнтів [9], [10], належать такі.

**Відстань фокус трубки — шкіра.** Із зменшенням цієї відстані (за однакових інших умов) збільшується доза опромінення шкіри, при цьому загальна доза змінюється незначно. Незважаючи на це, зменшення шкірно-фокусної відстані застосовують як метод геометричного збільшення зображення, але при цьому зменшують розмір поля опромінення та не використовують відсіюючі растри.

**Розмір поля опромінення.** За умов зменшення площі поля опромінення до мінімально необхідної, доза знижується внаслідок меншого об'єму опромінюваних тканин та кількості розсіяного випромінювання. Зі зниженням кількості розсіяного випромінювання збільшується контрастність знімку — покращується якість зображення. Формування поля опромінення різних розмірів і форми здійснюється за допомогою діафрагм з оптичним центруванням.

**Напруга на трубі.** Зі збільшенням напруги зменшується поверхнева (шкірна) доза, але водночас погіршується контраст між різними органами і тканинами та може збільшуватися опромінення органів, розташованих поза зоною прямого

опромінення внаслідок дії розсіяного випромінювання. Загалом доза, отримана пацієнтом при більш високій напрузі, менша. Типові значення напруг на рентгенівській трубці для різних типів досліджень складають: при маммографії 25–30 кВ, дослідження кісток та використанні контрасту — 100–120 кВ, дослідження легень — 80–125 кВ, дослідження трахеї та бронхів — 100–125 кВ. Знімки легень, зроблені за високої напруги, мають збільшену фотографічну широту зображення, на якому помітна структура легень на тлі ребер, та знижену динамічну нерізкість. Значення дози опромінення пацієнта також залежить від схеми випромінювання анодної напруги апарата. Більше м'яких променів знаходиться у рентгенівському пучку при однофазній схемі випромінювання в порівнянні з трифазною схемою. Рентгенівські промені, які не проходять крізь тіло людини наскрізь, а поглинаються ним, не несуть діагностичної інформації, а лише збільшують дозове навантаження, тому необхідним є використання трифазної схеми живлення генератора [11].

**Фільтрація.** Використання фільтрації знижує дозове навантаження на пацієнта за рахунок поглинання фільтрами рентгенівського випромінювання низької енергії (менше за 10–20 кеВ). Зазвичай окрім власної фільтрації, еквівалентної 1 мм алюмінію, використовують додатковий алюмінієвий фільтр завтовшки від 1 мм для 80 кВ та 4 мм для 125 кВ і більше.

**Екранування.** Частина тіла, що не повинні зазнавати опромінення, обов'язково мають екрануватися. Особлива увага приділяється захисту гонад, але в тому випадку, коли він не заважає проведенню дослідження.

**Растри відсіюючі.** Такі растри сприяють покращенню діагностичного зображення, але призводять до підвищення дозового навантаження на пацієнтів, що пояснюється поглинанням частини рентгенівського випромінювання, яке пройшло крізь тіло пацієнта, але не було зареєстроване приймачем, а тому не несе діагностичної інформації. Застосування відсіюючих растрів потребує збільшення експозиції вдвічі і більше разів, що призводить до підвищеного опромінення. Необхідною умовою застосування растрів є особлива точність у суміщенні центрального пучка рентгенівського випромінювання з віссю рентгенівського растра та встановлення саме тієї фокусної відстані, на яку розраховано даний растр. У противному разі знімок може бути недоекспонованим або його почорніння — нерівномірним, що викликати потребу в повторному знімку. Частіше за все растри використовують при високих напругах на рентгенівській трубці. Якість зображення також покращується при застосуванні замість нерухомих растрів рухомих, що означає зниження дозового навантаження. Заміною відсіюючого растра в деяких дослідженнях може стати повітряний зазор між приймачем і пацієнтом.

**Чутливість приймача рентгенівського випромінювання.** Спостереження зображення прийнятної якості можливе за умови достатнього опромінення фотографічної плівки. Кількість необхідних рентгенпроменів на приймачі визначається чутливістю плівки, якістю підсилюючих екранів, строком зберігання плівки тощо. Саме орієнтуючись на параметри приймача рентгенівського випромінювання в установках, визначають умови опромінення для досягнення найкращої якості зображення.

**Хімічна обробка експонованих рентгенівських плівок.** Необхідність проведення повторного дослідження може бути спричинена неправильною обробкою плівки; чітке виконання усіх вимог до проведення процесу хімічної обробки плівки гарантує отримання якісної рентгенограми [12].

**Час витримки.** Визначається вимогами до динамічної нерізкості, яка є наслідком руху досліджуваного об'єкта під час дослідження і має бути якомога меншим.

**Рентгенівський експонетр.** Викликає ланцюг живлення рентген-апарата при досягненні певної дози. Застосування експонетра спрощує вибір технічних умов опромінення, а отже, сприяє зниженню дозового навантаження. Важливими умовами застосування експонетра є вірний вибір напруги та робочого поля.

**Використання цифрових засобів реєстрації рентгенівських зображень.** Пристрої дають потенційну можливість зменшувати ефективну дозу, яку отримує пацієнт. Але через ширший в порівнянні з плівкою (її фотографічною шириною) динамічний діапазон є суттєвий ризик встановлення підвищених рівнів опромінення (що може призвести до суттєвого переопромінення пацієнта) в результаті неконтрольованих регулювань і відсутності чи блокування обмежувачів радіаційних рівнів. В установках з використанням рентгенівської плівки підвищені рівні опромінення призведуть до переекспозиції плівки і до різкого погіршення якості зображення або повного його зникнення.

### Безпека пацієнтів при рентгенодіагностиці

Встановлення більш конкретних залежностей значення дози опромінення пацієнта від параметрів проведення рентгенологічного дослідження становить значний інтерес для лікарів та відділу радіаційної безпеки медичної установи. Для проведення такого дослідження необхідними є:

визначення дози опромінення на підставі даних, що отримують на тканиноеквівалентному фантомі апаратним методом з використанням клінічних дозиметрів;

наявність в медичних закладах клінічних дозиметрів;

наявність методики розрахунку дозового навантаження на пацієнта.

Одна з головних рекомендацій для зниження дозового навантаження і, відповідно, для захисту пацієнтів від впливу іонізуючого випромінювання — проведення вимірювань у прямому пучку рентгенівського випромінювання, тому застосування відповідної апаратури слід зробити обов'язковим, задля чого необхідно повністю забезпечити персонал та пацієнтів засобами радіаційного захисту.

При радіологічному обстеженні потрібно забезпечувати визначення дози для кожного пацієнта індивідуально, з урахуванням специфічних умов та параметрів як обладнання, так і пацієнта. Така практика є нормою в розвинутих країнах.

Забезпечення достатнього рівня радіаційної безпеки значною мірою залежить від особистих дій кожного з персоналу, який працює з використанням ДІВ. Всі дії мають бути регламентованими. Діагностичні, а тим більше профілактичні обстеження повинні проводитися за певним алгоритмом, стандартними методиками, раціонально, швидко, з мінімальним часом вмикання високої напруги, найменшою експозицією. Необхідно розробити методичні рекомендації щодо вимірювання величин, які є базовими для визначення ефективної дози опромінення пацієнтів: добуток доза×площа, вхідна поверхнева доза,  $CTDI_{vol}$  для комп'ютерної томографії тощо.

Проте розробка та затвердження методик вимірювання дози, отриманої пацієнтом при діагностичних процедурах, триватимуть значний час. Крім того, потрібно враховувати, що навіть у разі прийняття методик не всі клініки матимуть змогу купити дозиметричну апаратуру для проведення вимірювань в установі. Тому наразі основними реальними діями для зниження променевого навантаження в клініках є:

забезпечення підвищення кваліфікації персоналу, який надає медичні послуги з використанням ДІВ;

виконання вимог чинного законодавства до реєстрації дозових навантажень, зокрема при проведенні рентгенодіагностичних процедур;

забезпечення наявності детальних інструкцій з використання та обслуговування рентгенівської апаратури, особливо закордонного виробництва (аналіз діяльності більшості медичних закладів свідчить про відсутність детально задокументованих роз'яснень від постачальника щодо роботи обладнання).

На відміну від розвинутих країнах, де за рекомендаціями МАГАТЕ [13] приділяється велика увага питанню впровадження культури безпеки при використанні ДІВ, в Україні існують проблеми такого роду:

недостатнє розуміння на політичному рівні необхідності впровадження культури безпеки як у сфері використання ядерної енергії, так і в інших сферах діяльності;

відсутність загальноприйнятих показників, наукових розробок, методик оцінки рівня культури безпеки;

нейтральна позиція державних органів щодо впровадження концепції культури безпеки у практику;

відсутність курсу "Культура безпеки" у вищих навчальних закладах, котрі здійснюють підготовку фахівців з практичної діяльності з ДІВ;

невикористання досвіду міжнародної спільноти щодо впровадження концепції культури безпеки у різні сфери діяльності.

## Висновки

Для зменшення променевого навантаження на пацієнтів при проведенні рентгенодіагностичних обстежень, окрім переходу на новий більш якісний рівень надання медичних послуг, необхідно:

1. Враховувати питання радіаційної безпеки при формуванні державних програм (хірургія, маммографія, педіатрія тощо).

2. Формувати державну комплексну політику щодо зменшення дози медичного опромінення пацієнтів при рентгенодіагностиці.

3. Залучати органи місцевого самоврядування до підтримки фінансування впровадження системи якості за рахунок місцевих бюджетів.

4. Впроваджувати поняття "культура безпеки" при використанні джерел іонізуючого випромінювання.

5. Ввести спеціальність "медичний фізик" з урахуванням міжнародного досвіду та вимог освітньо-кваліфікаційних характеристик рівня "бакалавр", "магістр" Міністерства освіти і науки України.

## Література

1. Вимоги до системи управління якістю проведення діагностичних та терапевтичних процедур з використанням джерел іонізуючого випромінювання (zareєстровано в Міністерстві юстиції України 29 жовтня 2008 р. за № 1054/15745, затверджено наказом Державного комітету ядерного регулювання України від 3 жовтня 2008 р. № 166).

2. ДСТУ ISO 13485:2005.

3. НРБУ-97. Державні гігієнічні нормативи.

4. Радиационная защита пациента при рентгенодиагностике: Публикация № 34 МКРЗ / Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1985.

5. МУК 2.6.1.1797-03. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях: Методические указания по методам контроля. — М., 2004.

6. Контроль и ограничение дозовых нагрузок на пациентов при рентгенологических исследованиях: Методические рекомендации. — М., 1996.

7. Товстолуг О. Г., Мурашко В. О., Мащенко М. П. Порівняльний аналіз методів визначення доз опромінення пацієнтів від рентгенодіагностичних процедур // Гігієна населених мест. — 2000. — Вып. 36, ч. 1. — С. 162–168.

8. Основы рентгенодиагностической техники: Учеб. пособие для студентов мед. вузов / Под ред. Н. Н. Блинова. — М.: Медицина, 2002. — 389 с.

9. Бодня И. Ф. Технические условия рентгенографии / Под ред. Н. И. Пилипенко. — Харьков: Ин-т мед. радиологии им. С. П. Григорьева АМНУ, 2005. — 104 с.

10. Сиднев Д. А. Радиационная защита в рентгенодиагностике. — К.: Феникс, 2003. — 120 с.

11. Оценка степени радиационной опасности разных типов рентген-аппаратов при их использовании в лечебных учреждениях / Карачев И. И., Семенюк Н. Д., Калашникова З. В. и др. // Гігієна населених мест. — 2000. — Вып. 36, ч. 1. — С. 168–172.

12. Яковец В. В. Руководство для рентгенолаборантов. — СПб.: Гиппократ, 1993.

13. Safety Culture in Nuclear Installations: Guidance for Use in the Enhancement of Safety Culture, IAEA-TECDOC-1329, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA. — Vienna, 2002.

Надійшла до редакції 25.12.2008.