

Антон ОСЬМУХА^{1,2}, інж.-радіолог
e-mail: onrof@ukr.net

Фаїна КУЛІКОВА^{1,2}, д-р мед. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0002-0857-1508
e-mail: 19.11.faina@gmail.com

Лариса ЦАРЕНКО³
e-mail: dnepr_insp@i.ua

Лариса КАЛИУШКО³
e-mail: dnepr_insp@i.ua

¹Обласний Центр радіаційної безпеки та медичної радіології, Дніпро, Україна

²КП "Дніпропетровська обласна клінічна лікарня ім. Мечникова" ДОР",
Дніпро, Україна

³Центральна інспекція з ядерної та радіаційної безпеки, Дніпро, Україна

С-ДУГИ – КОРИСТЬ, ШКОДА, ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ

Вступ. Збільшення пацієнтів з вогнепальними та мінно-вибуховими травмами на тлі військових дій призвело до необхідності більш широкого використання С-подібних рентгенівських систем. Метою дослідження є визначення особливостей ефективного та безпечного використання С-подібних систем у рентгеноопераційних із мінімізацією дозового навантаження на медичний персонал.

Методи. Проведено дозиметричні вимірювання з використанням 39 одиниць С-подібних рентгенівських систем 15-ти різних модифікацій. Виміряно потужності дози опромінювання персоналу на робочих місцях.

Результати. Проаналізовано результати за такими характеристиками: потужність дози, що отримується на робочому місці персоналу, на рівні голови, грудей, гонад і ніг; співвідношення режиму експозиції до радіаційного виходу та отриманої персоналом дози; різниця між потужностями доз, які були виміряні на рівні різних частин тіла персоналу відповідно до напрямку пучка випромінювання; аналіз результатів радіаційного контролю, виміряних значень потужності дози, наведених до значення стандартного робочого навантаження згідно з ДСанПіН 6.6.3-150-2007.

Висновки. За отриманими вимірами було обчислено потужності дози. Результати були порівняні з регламентованими (13 мкЗв/год) і вразили своєю небезпекою – в окремих випадках допустима потужність дози була на рівні 32.8 мкЗв/год. Таким чином, вважаємо, що під час роботи з С-подібними рентгенівськими системами та рентген-операційними засобами персоналу необхідно використовувати індивідуальний захист та рентгенозахисні ширми.

Ключові слова: С-подібні рентгенівські системи, дозове навантаження, потужність дози опромінювання.

Вступ

Наявність великої кількості пацієнтів з вогнепальними та мінно-вибуховими травмами значно збільшила сферу використання С-подібних рентгенівських систем. За минулі два роки переважна більшість міських та

© Осьмуха Антон, Кулікова Фаїна, Царенко Лариса, Калиушко Лариса, 2024

обласних лікувальних закладів і практично всі районні лікарні Дніпропетровської області отримали ці системи. Дніпропетровський обласний Центр радіаційної безпеки та медичної радіології проводить радіаційний контроль в усіх лікувальних закладах Дніпропетровської області. Тож на підставі дослідження великої кількості С-подібних рентгенівських систем різних виробників та років випуску стала наявною необхідність чітко визначити умови їх безпечного використання. У доступній літературі ми не знайшли будь-яких аналітичних робіт на цю тему. Усе, що наразі є у вільному доступі стосовно використання С-подібних рентгенівських систем, – це більш-менш детальна інформація на сайтах виробників обладнання з питань, для чого саме призначені ті чи інші С-подібні рентгенівські системи.

Методи

У процесі дослідження було проведено дозиметричні вимірювання під час променевих обстежень з використанням 39-ти одиниць С-подібних джерел іонізуючого випромінювання 15-ти модифікацій. Основними елементами С-подібної системи (SYM_USO_EN_R14-Revision 14, 2022. User manual) є: рентгенівська трубка, електронно-оптичний перетворювач з підсилювачем рентгенівського зображення, генераторний пристрій, С-подібний штатив, пульт керування, робоча станція лікаря з моніторами для виведення на екран отриманого зображення. Основною відмінністю цих систем від звичайних пересувних рентгенівських апаратів є поворотний в усі напрямки С-подібний штатив, на якому жорстко закріплені рентгенівська трубка й електронно-оптичний перетворювач зображення. Це дозволяє зробити рентгенівське дослідження швидко та зручно майже в будь-якій площині та напрямку випромінювання. Окрім графічного режиму роботи С-подібні системи також вигідно відрізняються можливістю використання скопичного режиму досліджень, як безперервного, так і з імпульсним іонізуючим випромінюванням, задля зменшення дозового навантаження на персонал та пацієнта.

Під час нашого дослідження були проведені вимірювання потужності дози опромінення персоналу на робочих місцях згідно з методикою за ДСанПІН 6.6.3-150-2007 (Міністерство охорони здоров'я України, 2007). Вимірювання виконувалися за всіма рентгенозахисними огорожувальними конструкціями, що обмежують зону впливу іонізуючого випромінювання, а також на робочих місцях персоналу категорії А. Під час використання С-подібних систем робоче місце лікаря було розташоване як в зоні дії іонізуючого випромінювання, так і в деяких випадках взагалі безпосередньо біля джерела та пацієнта. Після багаторазового спілкування з хірургічними командами, що використовують у своїй практиці С-подібні системи, з'ясувалися особливості застосування цих систем у реальних умовах. Досить часто рентгенологічні дослідження виконуються не лише в безпосередній близькості до джерела та пацієнта, а лікарям доводиться тримати чи притримувати пацієнта при дослідженні. Це призводить до того, що певний персонал періодично перебуває в найнесприятливіших радіаційних умовах, під впливом дози максимальної потужності розсіяного, а подекуди і прямого іонізуючого випромінювання.

Для чистоти методики ми намагались створити максимально ідентичні умови для всіх апаратів, що були досліджені, а саме: значення анодної напруги, фантом, що використовувався (циліндричний водонаповнений фантом діаметра 150 мм), відстань від джерела випромінювання, напрямок випромінювання, висота встановлення фантому над рівнем підлоги. Ми дослідили 15 моделей С-подібних рентгенівських систем, різних модифікацій і заводів-виробників, що не повторювались. Для оцінювання результатів радіаційного контролю згідно з п. 9.26 наказу № 294 від 04.06.2007 до ДСанПіН 6.6.3-150-2007 виміряні значення потужності дози проводили до значення стандартного робочого навантаження, мкЗв/год:

$$Dn = \frac{W}{1800 * I_{\text{вимір}}} * D_{\text{вимір}},$$

де Dn – значення потужності дози, приведене до стандартного робочого навантаження апарата; $D_{\text{вимір}}$ – виміряне значення потужності дози; W – робоче навантаження (мА * хв/тижд.) (п. 3.7 та 8.1 наказу № 294 від 04.06.2007 р. до ДСанПіН 6.6.3-150-2007); 1800 – час роботи персоналу категорії А, хв/тижд.; $I_{\text{вимір}}$ – значення струму, установлене під час вимірювання, мА.

Результати

Для зручності сприйняття дані, після обробки, були відображені у зведеній табл. 1.

Таблиця 1

**Потужність дози для персоналу категорії А
під час використання різних С-подібних рентгенівських систем**

№	Значення струму, мА	Виміряна потужність дози на рівні, мкЗв/год				Потужність дози мкЗв/год	
		голови	грудей	гонад	ніг	Dn	Допустима потужність дози
1	20	151,6	250	230	154,8	1,4	13,0
2	5	13,2	116,2	94,4	76,8	2,56	13,0
3	7	292	283	197	202	4,64	13,0
4	10	434	548	427	416	6,09	13,0
5	10	444	556	439	426	6,17	13,0
6	4	233	305	271	112	8,47	13,0
7	7	594	613	413	424,2	9,75	13,0
8	0,9	93	75	70	68	11,5	13,0
9	3	319	261	248	223	11,8	13,0
10	10	911	1150	897	874	12,65	13,0
11	1,4	152	163	145	67	12,88	13,0
12	2,7	379	386	350	275	15,93	13,0
13	1,5	219	228	215	187	16,2	13,0
14	1,5	542	610	466	224	16,94	13,0
15	2	490	590	440	293	32,8	13,0

Після розгляду наведених в табл. 1 даних стає зрозумілим, що робота з С-подібними рентгенівськими системами за умови постійного щоденного використання не цілком безпечна для персоналу. І єдиною відповіддю на запитання, як працювати з С-подібними рентгенівськими системами без негативних наслідків для здоров'я персоналу, є, на наш погляд, використання в рентген-операційних засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) від іонізуючого випромінювання та великих рентгенозахисних ширм.

ЗІЗ розрізняють за їхніми захисними властивостями і матеріалами, з яких вони виготовлені. Для вибору матеріалу та свинцевого еквівалента ЗІЗ слід також враховувати обмежені фізичні можливості людини. Чим кращий захист, тим більша вага захисного засобу. Зважаючи на те, що персонал повинен перебувати у цих засобах годинами, вважаємо за доцільне використання саме ЗІЗ на вініловій основі зі свинцевим еквівалентом 0,5 мм. Свинцевий еквівалент 0,5 мм не здатний повністю усунути вплив іонізуючого випромінювання на тіло людини, але він здатен у десятки разів знизити потужність отриманої дози. Таким чином, доцільний такий алгоритм дій персоналу категорії А: лікар, що притримує пацієнта під час обстеження, повинен використовувати максимальний набір наявних ЗІЗ, що вкривають максимальну площу поверхні тіла, а весь інший персонал, за можливості, під час ввімкнення високої напруги, окрім використання ЗІЗ, повинен захистити себе за допомогою великої захисної ширми. Свинцевий еквівалент захисної ширми краще обирати максимально доступний, виходячи з можливостей суб'єкта господарювання, але не менш ніж 1 мм.

Дискусія і висновки

Зважаючи на перевищення потужності дози значної кількості перевірених С-подібних рентгенівських систем, вважаємо за необхідне використання в рентген-операційних ширм рентгенозахисних загального використання зі свинцевим еквівалентом не менш ніж 1 мм та засобів індивідуального захисту на вініловій основі зі свинцевим еквівалентом 0,5 мм.

Внесок авторів: Антон Осьмуха – концептуалізація, методологія, валідація даних; Фаїна Кулікова – концептуалізація, методологія, написання – оригінальна чернетка; Лариса Царенко – концептуалізація, написання – перегляд і редагування; Лариса Калиушко – написання – перегляд і редагування.

Подяки, джерела фінансування. Висловлюємо щирі подяки генеральному директору КП "Дніпропетровська обласна клінічна лікарня ім. Мечникова" професору Сергію РИЖЕНКУ та відповідальному за радіаційну безпеку в лікарні медичному директору, доктору медичних наук Сергію ТИМЧУКУ за сприяння роботі обласного Центру радіаційної безпеки та медичної радіології і можливість виконання досліджень на базі лікарні.

Список використаних джерел

Міністерство охорони здоров'я України. (2007). *Про затвердження Державних санітарних правил і норм "Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських кабінетів і проведення рентгенологічних процедур"* (наказ від 04.06.2007 р. № 294, ред. від 14.11.2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1256-07#Text>

References

Ministry of Health of Ukraine. (2007). *On the approval of the State sanitary rules and norms "Hygienic requirements for the arrangement and operation of X-ray rooms and the conduct of X-ray procedures"* (order dated June, 04, 2007 No. 294, Rev. Dated November, 14, 2017) [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1256-07#Text>

Отримано редакцією збірника / Received: 04.08.24

Прорецензовано / Revised: 03.09.24

Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24

Anton OSMUKHA^{1,2}, Engineer-Radiologist
e-mail: onrof@ukr.net

Faina KULIKOVA^{1,2} DSc (Med.)
ORCID ID: 0000-0002-0857-1508
e-mail: 19.11.faina@gmail.com

Larisa TSARENKO³
e-mail: dnepr_insp@i.ua

Larisa KALIUSHKO³
e-mail: dnepr_insp@i.ua

¹ Regional Center for Radiation Safety and Medical Radiology, Dnipro, Ukraine

² Dnipropetrovsk Regional Clinical Hospital, Dnipro, Ukraine

³ Central Inspection for Nuclear and Radiation Safety, Dnipro, Ukraine

BENEFIT, DAMAGE AND FEATURES OF USE OF C-ARCS

Introduction. *The increase in patients with gunshot and mine-explosive injuries has led to the need for a significant increase in the use of C-shaped X-ray systems. And that's the reason for studying the features of the effective and safe use of C-shaped systems during surgical interventions with the minimization of the dose load on medical personnel.*

Methods. *Dosimetric measurements were carried out during radiation examinations using 15 different types C-shaped X-ray systems, measured radiation dose rates of personnel at workplaces.*

Results. *The analysis of the results of dosimetric measurements was carried out according to the following characteristics: the dose power received at the workplace by personnel at the level of the head, chest, gonads and legs; the ratio of the exposure mode to the radiation and dose received by the personnel; the difference between the doses that were measured at the level of different parts of the personnel's body, according to the direction of the radiation beam; analysis of the results of radiation control, measured values of the dose rate, reduced to the value of the standard workload, according to DSanPiN 6.6.3-150-2007.*

Conclusions. *Permissible dose rates were calculated based on the obtained dosimetric measurements. The results of the comparison with the regulations and shows us their danger (in some cases, the maximum permissible dose was exceeded by 2.5 times). Based on this we consider it absolutely necessary to use X-ray screens and personal protective equipment in operating rooms.*

Key words: *C-shaped X-ray systems, dose load, radiation dose rate.*

Автори А. Осьмуха, Ф. Кулікова, Л. Царенко та Л. Калиушко заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors A. Osmukha, F. Kulikova, L. Tsarenko and L. Kaliushko declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.