

Е.А. Дьоміна

Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України, Київ, Україна

DOI: <https://doi.org/10.15407/oncology.2023.02.104>

ПРОМЕНЕВА ДІАГНОСТИКА ОНКОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Ключові слова: злоякісні новоутворення, променева діагностика, медичне опромінення, комп'ютерна томографія, радіаційний ризик.

Проведено аналіз стану променевої діагностики злоякісних новоутворень в сучасних умовах порівняно з іншими країнами. Розглянуто та коротко охарактеризовано сучасні методи променевої діагностики онкологічних захворювань, визначено причини недостатньої ефективності їх раннього виявлення. Відмічено, що підвищення частоти медичних радіологічних процедур відбувається, головним чином, за рахунок широкого використання комп'ютерної томографії. Акцентовано увагу на канцерогенних ризиках малих доз медичного опромінення із залученням сучасних високоінформативних методів променевої діагностики. Розглянуто принцип ALARA (As Low As Reasonable Achievable). Обґрунтовано необхідність удосконалення системи радіаційного захисту в медицині.

Загальновідомо, що близько 80% опромінення населення планети відбувається під впливом природних джерел іонізуючого випромінювання (ІВ) і лише 20% — від штучних джерел, які використовують, головним чином, в медицині [1]. Захист від впливу ІВ в медицині нині є ключовим питанням у світовій практиці забезпечення радіаційної безпеки населення. Використання джерел ІВ в медицині є одним із основних факторів опромінення населення та посідає друге місце за вкладом у колективну дозу після природних джерел і перше місце — серед техногенних джерел [2–4]. Медичного опромінення зазнають пацієнти під час проведення діагностичних та терапевтичних процедур, практично здорові особи під час проходження профілактичних рентгенологічних (наприклад, флюорографії) обстежень, і, навіть, медичний персонал. Важливо відмітити, що опроміненню з медичною метою піддаються більше людей, ніж у будь-якій галузі з використанням джерел ІВ; індивідуальні дози в медицині вищі порівняно з іншими видами застосування техногенних джерел ІВ [5]. Слід зазначити, що внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС питання радіаційної небезпеки стали предметом пильної уваги не лише для мешканців колишнього СРСР, а й для більшої частини населення в усьому світі. Зменшення річної межі дози для професіоналів до 20 мЗв (100 мЗв за послідовні 5 років) пов'язали з виникненням канцерогенних ефектів, які оцінюють в якості показника шкоди для індивідуума та суспільства в цілому.

Висока онкологічна захворюваність та смертність від цієї патології серед осіб репродуктивного та працездатного віку в Україні перевищує західноєвропейські показники. Україна посідає друге місце в Європі за темпами поширеності раку. Причинами цього є проблеми організації онкологічної

допомоги, неналежне її матеріальне забезпечення, низька доступність, якість ранньої діагностики і, як наслідок, низька ефективність надання такої допомоги [6].

З метою сприяння ефективному зменшенню онкологічної захворюваності Міністерство охорони здоров'я України створило “Національну стратегію контролю онкологічних захворювань на період до 2030 р.”, спрямовану на забезпечення первинної профілактики онкологічних захворювань шляхом зниження впливу факторів канцерогенного ризику, у тому числі, радіаційно-індукованого.

Зазначимо, що найскладнішою у професійній патології є проблема ранньої діагностики професійного раку, яка обумовлена мультифакторним характером етіології даного захворювання [7].

Подальший розвиток ранньої променевої діагностики злоякісних новоутворень (ЗН) призведе до збільшення кількості рентгенівських діагностичних та профілактичних досліджень, а також до застосування більш інформативних променевих методів дослідження і, отже, до більш високих доз опромінення пацієнтів і населення країни в цілому [8]. Впровадження сучасних високоінформативних методів променевої діагностики ЗН поряд із підвищенням діагностичної ефективності може зумовити зростання числа стохастичних ефектів [9], тобто канцерогенних ризиків. Остання обставина зумовлює необхідність удосконалення системи радіаційного захисту в медицині. Найбільшими дозовими навантаженнями на організм людини супроводжуються такі високоінформативні діагностичні дослідження, як комп'ютерна томографія (КТ), інтервенційні дослідження (ангіографія), позитронно-емісійна томографія (ПЕТ), а також позитронно-емісійна комп'ютерна томографія (ПЕТ-КТ) [10, 11].

Найнебезпечнішою з погляду радіаційного ризику для пацієнтів є КТ із застосуванням контрастної речовини [12]. Підвищення частоти медичних радіологічних процедур відбувається переважно за рахунок більш широкого використання КТ [13]. При одноразовому КТ-обстеженні канцерогенний ризик низький, але при повторних проведеннях КТ він зростає. З особливою обережністю такі дослідження мають призначатися дітям [14].

Розвиток та впровадження нових технологій, удосконалення медичного діагностичного обладнання знижують променеве навантаження на пацієнтів. Однак, колективна доза медичного опромінення збільшується за рахунок використання нових високоінформативних високодозних методів обстеження. Різке зростання останніми роками кількості проведених КТ органів грудної клітини пов'язано з пандемією COVID-19. Якщо КТ призначається повторно та неодноразово, відповідно до міжнародних рекомендацій, пацієнта необхідно інформувати про можливі радіаційні ризики. Особливої уваги вимагають високо-радіочутливі особи. Наприклад, близько 10,0% КТ-обстежень виконується дітям та підліткам до 18 років [12]. У Німеччині та США цей показник становить 13,0% та 20,0% відповідно [15]. При цьому необхідно враховувати, що в більшості випадків користь від КТ-процедур, що виконуються, може значно перевищувати радіаційний ризик. Для населення України в умовах тривалої радіоекологічної кризи після Чорнобильської катастрофи актуальність таких діагностичних обстежень є очевидною.

Спектр застосування КТ-технологій постійно розширюється. Зокрема, розроблений метод конусно-променевої КТ (*cone-beam CT*) дає можливість отримувати якісне тривимірне зображення окремих частин тіла [13]. Впровадження у практику двотрубчастої КТ (*dualenergy CT*) дозволяє сканувати одночасно двома рентгенівськими пучками і, таким чином, покращити візуалізацію анатомічних структур.

Широко використовуються КТ-технології також при плануванні променевої терапії та оцінці ефективності лікування онкологічних хворих. Питання радіаційної безпеки медичного опромінення було б недостатньо висвітленим, якби ми не проаналізували використання сучасних променевих діагностичних методів з метою контролю росту пухлини в процесі променевої терапії. В США, починаючи з кінця ХХ століття, застосування КТ зросло втричі і становить понад 70 млн досліджень на рік. У 80% випадків результати КТ-обстежень впливали на планування променевої терапії. Розраховано, що КТ-планування підвищує ймовірність локального лікування на 6% та 5-річну виживаність онкологічних хворих на 3,5% [16].

Вдосконалення КТ-технологій безпосередньо пов'язане зі збільшенням швидкості роботи ком-

п'ютерних систем, що забезпечує сканування та збір даних, а також реконструкцію зображень за лічені секунди. Коротко описані технології КТ дозволяють об'єктивно оцінити стан хворого, уточнити діагноз, прогнозувати ефективність терапевтичного опромінення.

Серед причин недостатньої ефективності ранньої діагностики ЗН в Україні зазначають скорочення кількості спеціалістів-рентгенологів і використання в переважній більшості рентгенодіагностичного обладнання застарілих зразків. Враховуючи щорічне скорочення кількості лікарів, у країні поступово впроваджується телерентгенологія — дистанційна обробка діагностичних зображень від кількох рентгенівських апаратів одним рентгенологом [17].

Останнім часом також збільшилася кількість проведення інтервенційних діагностичних процедур. Це діагностичний та лікувальний напрямок, пов'язаний із виконанням малоінвазивних процедур під безпосереднім контролем з використанням радіологічних методів візуалізації. Високим променевим навантаженням (як на персонал, так і на пацієнтів) характеризуються ангіографічні дослідження, тривалість та складність яких залежить від індивідуальних особливостей обстежуваних осіб і конкретної клінічної ситуації.

Слід також відзначити зростаючу роль методу радіоізотопної діагностики ПЕТ для ранньої діагностики та стадіювання онкологічного захворювання [18]. При проведенні обстеження пацієнту внутрішньовенно вводять мічений позитрон-випромінюючим радіонуклідом радіофармпрепарат (РФП), а потім фіксують та кількісно визначають розподіл РФП у досліджуваному органі або у всьому тілі.

Сучасні апарати для проведення ПЕТ поєднані з рентгенівськими комп'ютерними томографами, що дає можливість одночасно проводити ПЕТ- та КТ-обстеження пацієнта, отримувати інформацію про функціональну активність і анатомічну будову досліджуваних органів та тканин. На думку фахівців [19] висока діагностична інформативність цього методу пов'язана з високими дозами опромінення. Найбільші ефективні дози (до 17 мЗв) одержують пацієнти під час проведення ПЕТ/КТ-обстеження всього тіла; при дослідженні головного мозку — 3,4–4,8 мЗв. Гібридні методи ПЕТ, ПЕТ/КТ як скринінг різних видів раку широко використовують в Японії [20].

На сьогодні в більшості європейських країн для скринінгу раку молочної залози використовують метод томосинтезу [21], який дозволяє отримати тривимірне зображення органу за рахунок виконання серії рентгенівських знімків під різними кутами. Однак цей метод впроваджується у практику охорони здоров'я повільно через високу вартість обладнання.

Викладене вище аргументує необхідність пильної уваги фахівців у галузі радіаційної гігієни, клінічної радіобіології до додаткового опромінення населення за рахунок променевої діагностики, захисту життєво важливих органів та тканин з обов'язковим контролем дозових навантажень. Тому особливу увагу слід приділяти профілактичним заходам, спрямованим на збереження імунітету у представників окремих категорій професіоналів, які продовжують працювати у сфері дії ІВ (радіаційна медицина, атомна енергетика, галузь видобутку урану), а також у мешканців радіаційно-забруднених територій України.

Дослідженням радіаційних ризиків займаються у всьому світі. Основним критерієм оцінки радіаційної безпеки є стохастичні ефекти малих доз ІВ, насамперед радіаційно-асоційовані ЗН [9]. При проведенні медичних радіологічних процедур необхідно співставити користь від проведення діагностичного обстеження з потенційним ризиком для здоров'я. У зв'язку з цим основним завданням нормування радіаційної безпеки як для пацієнтів, так і для персоналу є аналіз двох альтернативних категорій — “користь” та “школа” — та визначення умов опромінення, за яких користь буде істотно переважати (принцип ALARA — “настільки мало, наскільки розумно досяжно, *As Low As Reasonable Achievable*”). Вплив ІВ є потенційно онкогенним, і тому найкращий спосіб захисту — це утримувати рівні опромінення “як можна на більш низькому, розумно досяжному рівні” [22]. Розроблено моделі статистичної оцінки стохастичних ефектів впливу надфонових доз ІВ різних джерел для професіоналів та населення [23]. Підхід базується на епідеміологічних дослідженнях, в рамках яких вивчаються взаємозв'язки між захворюваністю осіб з опромінених груп та поглиненими дозами ІВ. При цьому рівні захворюваності зіставляються з фоновими показниками для аналогічних груп осіб, які не піддаються радіаційному впливу.

Відповідно до НРБ-96 та НРБУ-97 “сумарна доза від усіх видів опромінення використовується для оцінки медичних наслідків” [24, 25]. Однак дослідники зазначають, що на сьогодні у світі відсутні медико-біологічні реєстри, які відповідають цим вимогам. Це виключає можливість розробки заходів щодо радіаційної безпеки при малих дозах опромінення, а також з урахуванням впливу природних джерел ІВ — радону та його ізотопу торону [26]. Таким чином, використання для оцінки стану радіаційної безпеки лише одного виду опромінення не гарантує отримання коректних дозиметричних даних. Так, під час обстеження професіоналів, які працювали в атомній промисловості та були направлені для ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, не було враховано індивідуальну дозову “історію” за період роботи на основних виробництвах [27]. Внаслідок цього

реконструйовані дози опромінення були недостатньо коректними.

Останнім часом науковою спільнотою визнано методологію “ризик-орієнтованого підходу” (*risk-oriented approach*), яка дозволяє порівнювати вплив різних за природою факторів, для оцінки ризиків для здоров'я населення за умови впливу техногенних, у тому числі радіаційних, джерел. Наприклад, показано, що хімічний вплив у ряді випадків нормований менш жорстко, ніж радіаційний. Така методологія успішно використовується у США, країнах Західної Європи, а також для розробки сучасних міжнародних норм радіаційної безпеки, сформульованих МКРЗ [28].

Таким чином, дані, що обговорюються вище, є короткою ілюстрацією стану променевої діагностики ЗН в сучасних умовах і підтверджують висновок провідних онкологів України: “Провідною проблемою протиракової боротьби в Україні сьогодні є низький рівень своєчасної діагностики” [29]. Так, у порівняльному аспекті структура променевої діагностики та колективної дози від медичного опромінення в Україні суттєво відрізняється від аналогічних показників країн Євро-союзу, в яких практично не проводяться флюорографічні дослідження, а внесок КТ у кілька разів вищий, ніж у нашій країні. Проблема реконструкції сумарної поглиненої дози медичного опромінення залишається відкритою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. UNEP Radiation. Effects and sources. UN Environmental Programme, 2016. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency and Urals Research Center for Radiation Medicine, 2016. 56 p.
2. World Health Organization / Global initiative on Radiation Safety in Healthcare Setting. Wjrdl Health Organization. Technical meeting report. Geneva, 2008. 100 p.
3. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and safety medical uses of ionizing radiation. Specific safety guide. Vienna, IAEA, 2018. №SSG-46. 340 p.
4. Domina EA, Ivankova VS. On the issue of radiation safety of diagnostic exposure in oncology. Promeneva diagnostyka, promeneva terapiya 2019; (3–4): 38–43.
5. International Atomic Energy Agency. World Health Organization. Bonn call for action. International Atomic Energy Agency. World Health Organization. 10 Action to Improve Radiation Protection in Medicine in the Next Decade: https://www.who.int/ionizing.radiation/medicalradiation_exposure/BonnCaliforAction2014.pdf
6. Krasnoselskyi MV, Starenkyi VP, Averianova LO, et al. Problems and prospects for the development of radiation oncology in Ukraine. Journal NAMN Ukraine 2021; 27 (4): 256–62. <https://doi.org/10.37621/JNAMSU-2021-4-4>. (in Ukrainian)
7. Kundiev JuI, Nagornaya AM, Varivonchik DV. Occupational cancer: epidemiology and prevention. Kyiv: Naukova dumka, 2008. 335 p. (in Ukrainian)
8. Ternova SK, Sinitcyn VE. Prospects for the development of methods of radiation diagnostics. Analytical review, 2019. <https://rosoncweb.ru/library/radiodiagnostics/002.php>. 2019.
9. Chekhun VF, Domina EA. A current look at the stochastic effects of ionizing radiation (before the 36th anniversary of

- the Chernobyl catastrophe). *Oncology* 2022; **24** (1): 5–10. doi: 10.32471/oncology.2663-7928.t-24-1-2022-g.10339. (in Ukrainian)
10. Radiation Protection 180 pt. 2. Diagnostic Reference Levels in Thirty-six European Countries. European Commission, 2014. 73 p.
 11. **Wattsson S, Siderberg M.** Radiation dose management in CT, PECT/CT and PET/Ct techniques. *Radiat Protect Dosim*, 2011; **147** (1–2): 13–21. doi: 10.1093/rpd/ncr261.
 12. **Kashcheev VV, Pryachin EA., Kuraschvily YuB.** Methodology for assessing the radiation risks of medical exposure on the example of repeated passage of CT scan. *Radiation and risk* 2021; **30** (4): 24–39.
 13. ICRP, 2015. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. *Ann ICRP* 44(1).
 14. **Fahey FH., Treves ST, Adelstein SJ.** Minimizing and communicating radiation risk in pediatric nuclear medicine. *J Nucl Med* 2011; **52** (8): 1240–51. doi: 10.2967/jnumed.109.069609.
 15. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. Geneva: WHO, 2016. 88 p.
 16. **Rydj SD.** Fundamentals and clinical application of X-ray computed tomography. In: *Radiation diagnostics*. Moscow 2007: 53–67.
 17. **Kovalenko YuM, Balashov SV.** How to ensure the effectiveness of X-ray diagnostics in modern conditions. *Promeneva diagnostyka, promeneva terapiya* 2019; (3–4): 44–8. (in Ukrainian).
 18. **Boellaard R, Delgado-Botton R, Oyen WJ, et al.** FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2015; **42**: 328–54. doi: 10.1007/s00259-014-2961-x.
 19. **Anderson T, Elman S, Matesan M, et al.** Pictorial review of NCCN guidelines for use of FDG PET in oncology. *J Nucl Med* 2017; **58** (1): 974. https://jnm.snmjournals.org/content/58/supplement_1/974.
 20. **Murano T.** Radiation exposure and risk-benefit analysis in cancer screening using FDG-PET: results of a Japanese nationwide survey. *Ann Nucl Med* 2011; **25**: 657–66. doi: 10.1007/s12149-011-0511-1.
 21. **Helvie MA.** Digital mammography imaging: breast tomosynthesis and advanced applications. *Radiol Clin North Am* 2010; **48** (5): 917–29. doi: 10.1016/j.rcl.2010.06.009.
 22. **Joiner MC, Kogel AJ.** Basic clinical radiobiology. Fifth edition. Boca Raton, Florida: Publishing CRC Press, 2018. 350 p.
 23. **Uyba VV, Akleev AV, Azizova TV, et al.** Results of the 65th session of the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (SCEAR), Vienna, June 11–14, 2018. *Med Radiology, Radiation Safety* 2018; **63** (5): 77–88.
 24. Radiation safety standards (NRB-96). Hygienic standards. Moscow: Information and publishing work, 1996. 127 p.
 25. Norms of radiation safety in Ukraine; addendum: Radiation protection against the potential potential prominence (NRBU-97/D-2000).
 26. **Tollefsen T, Cinelli G, Bossew P. et al.** From the European indoor radon map towards an Atlas of natural radiation. *Radiation Protection Dosimetry* 2014; **162** (1–2): 129–34. doi: 10.1093/rpd/ncu244.
 27. **Tukov AR, Shafranskyi IL, Biriukov AP, Prochorova ON.** Branch register of persons exposed to radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power plant. *Med Radiology, Radiation Safety* 2016; **61** (3): 62–7.
 28. **Arutiunian RV, Grachov VA.** Risk-oriented approach to the analysis of safe living near nuclear facilities. *Radiation and risk* 2018; **27** (2): 117–40.
 29. **Dumansky YuV, Chekhun VF.** Oncology in Ukraine: problems and ways of development. *Oncology* 2022; **24** (3–4): 130–135. doi: 10.32471/oncology.2663-7928.t-24-3-2022-g.10652. (in Ukrainian)

RADIATION DIAGNOSTICS OF ONCOLOGICAL DISEASES IN MODERN CONDITIONS

E.A. Domina

R.E. Kavetsky Institute of experimental pathology, oncology and radiobiology of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Summary. *An analysis of the state of radiation diagnostics of malignant neoplasms in modern conditions compared to other countries was carried out. The modern methods of radiation diagnosis of oncological diseases were considered and briefly characterized. The reasons for the insufficient effectiveness of their early detection were determined. The increase in the frequency of medical radiological procedures is mainly due to the widespread use of computer tomography. Attention was focused on the carcinogenic risks of small doses of medical radiation*

with the use of modern highly informative methods of radiation diagnostics. The principle of ALARA (As Low As Reasonably Achievable) was considered. The need to improve the radiation protection system in medicine was substantiated.

Keywords: malignant neoplasms, radiation diagnostics, medical exposure, computer tomography, radiation risk.

Адреса для листування:

Дьоміна Е.А.
3022, Київ, вул. Васильківська, 45
Інститут експериментальної патології
онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького
НАН України
E-mail: edjomina@ukr.net

Одержано 25.06.2023