

УДК 615.849.616.65-002-006

АРТЕМ ВІТАЛІЙОВИЧ ТРОФИМОВ, ЛЕОНІД ЛЕОНІДОВИЧ ВАСИЛЬЄВ,  
АНАСТАСІЯ АНДРІЇВНА СВИНАРЕНКО

ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України», Харків

## РОЛЬ *IN VIVO* ДОЗИМЕТРІЇ В КОНТРОЛІ ЯКОСТІ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ РАКУ ПЕРЕДМІХУРОВОЇ ЗАЛОЗИ

**Мета роботи.** Оцінити можливості *in vivo* дозиметрії для контролю якості дистанційної променевої терапії раку передміхурової залози та провести порівняльний аналіз розрахованих і фактичних доз на органи ризику за допомогою напівпровідникових детекторів, розташованих на передній стінці прямої кишки і задній стінці сечового міхура.

**Матеріали і методи.** У дослідженні брало участь 63 хворих на рак передміхурової залози T1-T3a стадії, без віддалених метастазів. Променева терапія проводилася в сумарній осередковій дозі 74 Гр, 34 фракції, 5 днів на тиждень з використанням статичної чотирьохпільної методики. *In vivo* дозиметрія проводилася один раз на тиждень з використанням напівпровідникових дозиметрів, розташованих на передній стінці прямої кишки і задній стінці сечового міхура.

**Результати.** Були порівняні дані розрахованої і фактичної дози на задній стінці сечового міхура і передній стінці прямої кишки, які є основними критичними органами при променевої терапії даної локалізації. Середнє відхилення вимірної дози від розрахованої планувальною системою на задній стінці сечового міхура склало  $1,17\% \pm 0,17\%$ , на передній стінці прямої кишки —  $0,99\% \pm 0,18\%$ .

**Висновки.** Результати вимірювань, отримані в даній роботі, показують точність дозиметрії *in vivo* (при використанні напівпровідникових дозиметрів) та дозволяють проводити вторинну верифікацію планів в променевої терапії. Вони здатні вимірювати дозу всередині тіла пацієнта в безпосередній близькості до обсягу опромінення з високою точністю і можуть використовуватися без істотної зміни клінічного робочого процесу.

**Ключові слова:** *in vivo* дозиметрія, рак передміхурової залози, дистанційна променева терапія, контроль якості, критичні органи, обсяг опромінення.

Успішне проведення променевої терапії залежить від все більш складної взаємодії різних технологій і людей, включаючи лікарів, фізиків, дозиметристів і терапевтів. Якщо не дотримуватися обережності, така складна система, природно, схильна до помилок, які можуть мати серйозні наслідки для пацієнтів, що перебувають на лікуванні.

Таким чином, в променевої терапії регулярно практикуються численні перевірки, спрямовані на посилення заходів безпеки: перевірки планів, забезпечення контролю якості апарата, перевірки контролю якості лікування для конкретного пацієнта, розрахунки вторинної дози, перевірки блокувань апарата та багато іншого. Всі ці заходи виявляють і запобігають помилкам, які можуть поставити під загрозу якість лікування або завдати шкоди пацієнтові [1]. Одним із найсучасніших методів у комплексній програмі забезпечення якості є дозиметрія *in vivo*, яка проводиться вчасно, а також у вигляді заключного етапу в довгій серії процедур забезпечення контролю якості в променевої терапії [2]. Як вказує термін *in vivo*, ці вимірювання зазвичай виконуються під час

лікування пацієнта або діагностичного обстеження, і вимірювальний прилад розташовується всередині тіла пацієнта. Дана процедура також може бути здійснена у фантомах (за відсутності пацієнта), щоб перевірити поведінку медичного апарата (лінійного прискорювача або блока діагностичної візуалізації) або достовірність комп'ютерного плану лікування [3]. Сьогодні використання дозиметрії *in vivo* розширюється відповідно до рекомендацій багатьох національних і міжнародних організацій (МАГАТЕ), і вона застосовується як важливий інструмент забезпечення якості, згідно з даними ВООЗ [4,5]. У деяких країнах, наприклад у Франції, за результатами виявлених випадків аварійного опромінення пацієнтів, дозиметрія *in vivo* включена в національні керівництва з променевої терапії [5]. Даний вид дозиметрії дозволяє виявляти помилки, які неможливо визначити існуючими методами забезпечення контролю якості [6]. Аналіз даних системи повідомлень про інциденти кількісно продемонстрував, що дозиметрія *in vivo* є високо-ефективним додатком до загального набору методів забезпечення контролю якості променевої терапії, що забезпечує значне підвищення чутливості до помилок [5–7]. Нові методи діагностики та лікування, такі

як променева терапія з модуляцією інтенсивності (IMRT, VMAT та ін.) [8], ставлять нові завдання і вимоги — необхідність забезпечити високу якість, чутливість і точність у реальному часі [9].

Дозиметри *in vivo* можуть виявляти відхилення при проведенні стандартних або комплексних методів лікування, оцінювати дозу для радіочутливих органів або оцінювати поглинену дозу, що підводиться в ситуаціях, коли комп'ютерні розрахунки ненадійні (наприклад, на границях між тканиною і повітрям, тканиною та кісткою тощо) [10]. Щоб повністю зрозуміти роль і значення дозиметрії *in vivo*, необхідно знати мету медичних процедур, пов'язаних з опроміненням, а також ризик, пов'язаний з ними.

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження проводилося на базі відділення променевої терапії ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» під контролем комітету з біоетики та включало 63 хворих на рак простати віком від 46 до 73 років, які відповідали таким критеріям: гістологічно підтверджена аденокарцинома передміхурової залози, T1–T3a, PSA  $\geq$  6 нг/мл, без віддалених метастазів. Кожен пацієнт підписав інформційну згоду. Пацієнтам проводили курс дистанційної променевої терапії на лінійному прискорювачі Clinac 600C (Varian). Первинне сканування пацієнтів здійснювалося на комп'ютерному томографі Toshiba Aquilion 64 з кроком спіралі 3,0 мм, без контрастного підсилення, з плоскою декою столу, в позі укладання на спині, зі спорожненою прямою кишкою, комфортно наповненою сечовим міхуром і наявністю напівпровідникових дозиметрів на задній стінці сечового міхура і на передній стінці прямої кишки.

Був розроблений протокол планування пацієнта до курсу променевої терапії зі спрямованим контурованням об'ємів мішені і органів ризику за КТ-сканами. Об'єми мішені було оконтурено таким чином: для кожного пацієнта було створено до семи структур мішеней (STV<sub>pr</sub>, STV<sub>+3</sub>, STV<sub>sv</sub>, STV<sub>n</sub>, PTV) відповідно до рекомендацій ICRU 93. STV<sub>pr</sub> включав передміхурову залозу (ПЗ), що була візуалізована на КТ-сканах і будь-яке поширення процесу за її межі, STV<sub>+3</sub> — ізотропний край 3 мм навколо STV<sub>pr</sub>, виключаючи перенакладання на пряму кишку, STV<sub>sv</sub> — сім'яні пухирці (СП) білатерально (тільки при підтвердженому їх ураженні), STV<sub>n</sub> — лімфатичні вузли малого таза з краєм 7 мм навколо обтураційних, пресакральних і внутрішніх клубових судин, контуруються відповідно до протоколів RTOG. PTV — при незалучених СП: край 5 мм навколо STV<sub>pr</sub>, при залученні СП: край 5 мм навколо STV<sub>pr</sub> + 7 мм край навколо STV<sub>sv</sub> наперед і назад і 5 мм в інших напрямках. Під час аналізу було переглянуто план кожного пацієнта з метою оцінки кожної структури мішені на предмет суворого дотримання протоколу контуровання третьою стороною, що не причетна до первинного процесу планування. Ця перевірка була також повторена для контурів органів ризику (ОР). Наступні структури було оконтурено як органи ризику: пряма кишка, тонкий кишечник,

сечовий міхур та голівки стегнових кісток. Пряма кишка була оконтурена від аноректального з'єднання до ректосигмоїдного вигину. Сечовий міхур був оконтурений повністю. Тонкий кишечник контуровався повністю в зоні, що не перевищує 8 см у краніальному напрямку від PTV. Цей об'єм також розширено на 3 мм у всіх напрямках, щоб створити об'єм планованого органа ризику (PRV) для тонкого кишечника. Було також оконтурено два напівпровідникових дозиметра, розташованих у прямій кишці та сечовому міхурі.

Променева терапія проводилася в сумарній осередковій дозі (СОД) 74 Гр, 34 фракції, 5 днів на тиждень з використанням статичної чотирьохпільної методики. *In vivo* дозиметрія проводилася один раз на тиждень, 7 разів на курс, з використанням напівпровідникових дозиметрів PTW T9112 для прямої кишки з наявністю 5 послідовно розташованих діодів і PTW T9113 для сечового міхура з одним напівпровідниковим діодом. Реєстрація вимірювань проводилася дозиметром PTW UNIDOS E (Німеччина). Щоб точно розрахувати очікувану дозу на кожен з детекторів, виникла необхідність визначення їх точного розташування, такого ж як і на референсних КТ-сканах. Для кращої їх візуалізації було використано фідуціарні маркери, які кріпилися до детекторів. Верифікація положення детекторів проводилася на рентгенівському симуляторі шляхом суміщення зображення в реальному часі з цифровими реконструйованими радіограмами, які було згенеровано з референсних КТ-сканів.

Завдання планування і розташування полів були оптимізовані з метою досягнення кращого дозового розподілу в об'ємі мішені і органах ризику. Весь процес планування проводився у планувальній системі «Eclipse» версія 8,9 (Varian Medical Systems, США). Зокрема, доза на PTV була спрямована на те, щоб підвести 100 % від призначеної дози на 98 % об'єму мішені згідно з ICRU 83[11]. Поглинута доза з двох напівпровідникових дозиметрів реєструвалася раз на тиждень з внесенням даних у вищевказану планувальну систему. Для детекторів використовувався поправковий коефіцієнт температурної залежності, який було застосовано до кожного детектора.

Призначена доза на обсяг опромінення складає  $\geq$  74.0 Гр, значення призначених доз представлені у табл. 1. Порогові дозові обмеження для ОР визначалися з урахуванням разової поглиненої дози 2 Гр за одну фракцію. Толерантні дози мають широкий діапазон і варіюються залежно від віку, індивідуальної чутливості, судинного статусу та інших видів лікування та не мають перевищувати значення, вказані в табл. 2 [12, 13].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Необхідна точність для основної мети лікування променевою терапією може в загальних рисах бути сформульована так: доставити до пухлини достатню дозу, щоб гарантувати її контроль, знизивши при цьому ймовірність серйозних побічних ефектів. У результаті ймовірність контролю пухлини має бути збалансована по відношенню до ймовірності ускладнень

Таблиця 1

## Дозові обмеження для обсягів мішені

Обсяг мішені	Поглинута доза, Гр
PTV	≥ 74,0
CTV <sub>pr</sub>	≥ 74,0
CTV <sub>sv</sub> D99 %	≥ 74,0
CTV <sub>+3</sub> D95 %	≥ 70,3
CTV <sub>n</sub> D99 %	≥ 50,4

Таблиця 2

## Толерантні дози на органи ризику

Органи ризику	Толерантна доза, Гр
Пряма кишка D25 %	≤ 69,0
Сечовий міхур D15 %	≤ 79,0
Тонкий кишечник PRV D99 %	≤ 52,0
Голівка стегнових кісток D5 %	≤ 44,0

з боку нормальної тканини. Для деяких типів раку ці криві ймовірності чітко визначені і допомогли встановити, що результат променевої терапії залежить від доз, які не змінюються більше ніж на  $\pm 5\%$  відносно оптимальної. Ця вимога до точності зазвичай поширюється на всі види променевої терапії, хоча в деяких дослідженнях наголошується на необхідності більш високої точності в окремих ситуаціях.

Проводячи дозиметрію *in vivo* при дистанційній променевій терапії раку передміхурової залози і

маючи в арсеналі напівпровідникові дозиметри, були порівняні дані розрахованої і фактичної дози на задній стінці сечового міхура і передній стінці прямої кишки, які є основними критичними органами при променевій терапії даної локалізації (рис. 1 та 2). Середнє відхилення виміряної дози від розрахованої планувальною системою на задній стінці сечового міхура склало  $1,17\% \pm 0,17\%$ , на передній стінці прямої кишки —  $0,99\% \pm 0,18\%$ .

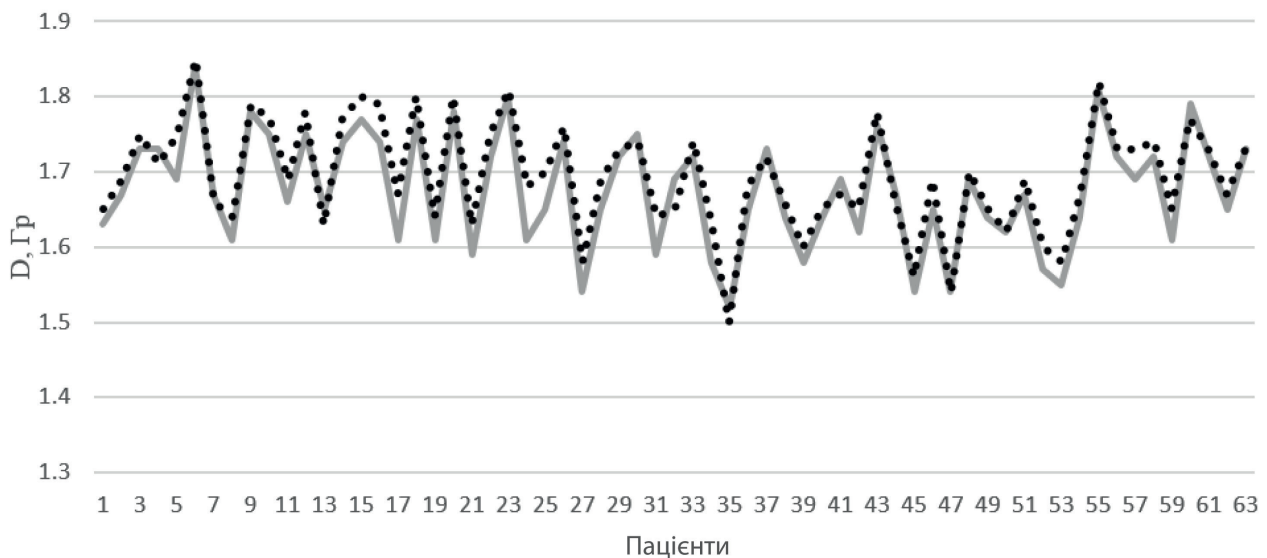
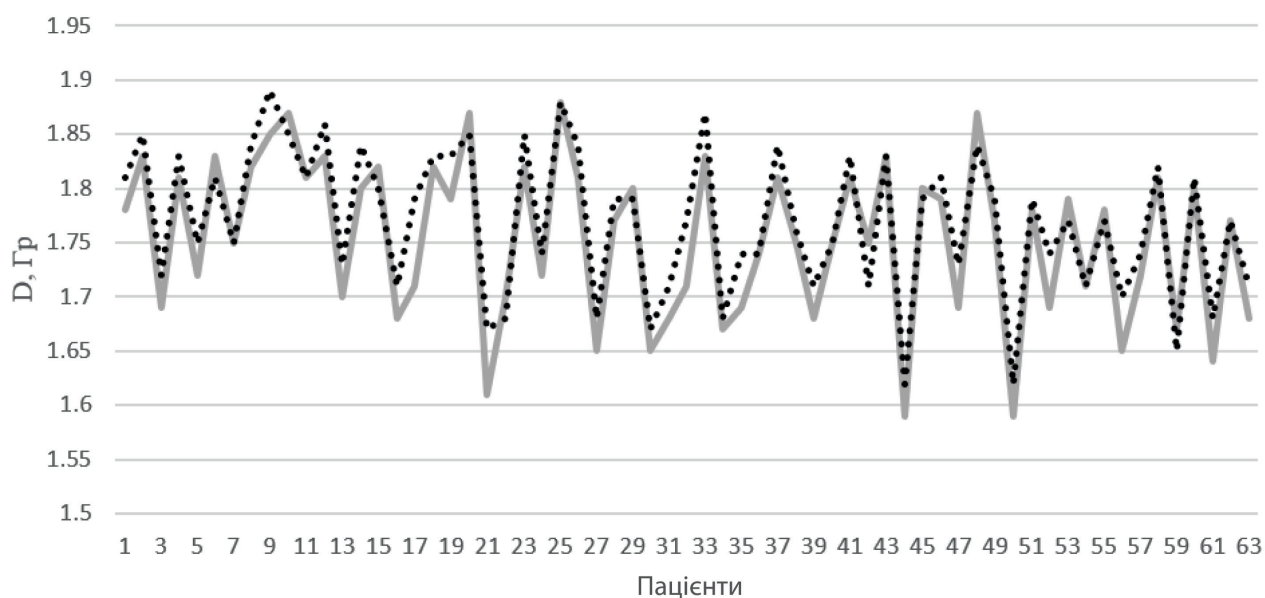


Рис. 1. Значення доз на задній стінці сечового міхура:

..... — значення виміряної дози методом *in vivo* дозиметрії; \_\_\_\_\_ — доза, розрахована планувальною системою

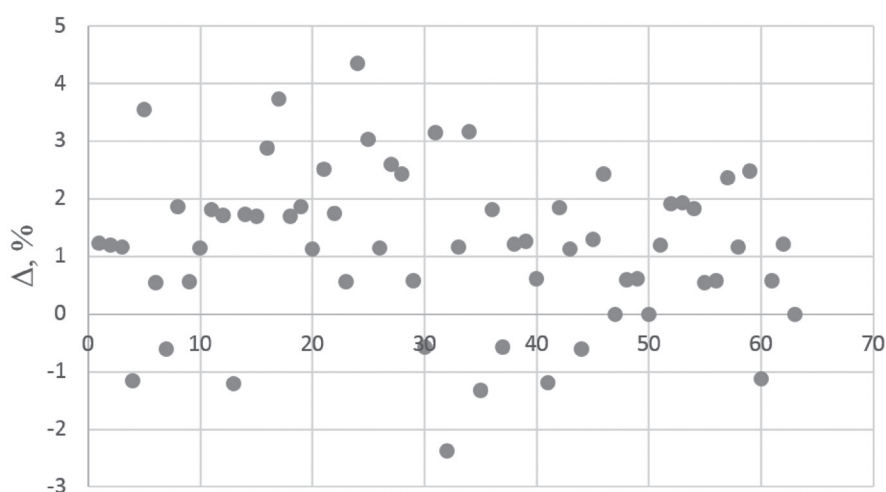
На рис. 3 та 4 представлені відхилення дози, виміряної методом *in vivo* дозиметрії на задній стінці сечового міхура та на передній стінці прямої кишки. Відхилення розрахованої дози від виміряної спостерігалось в межах від 2,37 до 4,35 %, складаючи  $1,17\% \pm$

$0,17\%$ . У прямій кишці відхилення розрахованої дози від виміряної коливалось від 2,29 до 4,68 %. Середнє значення відхилення склало  $0,99 \pm 0,18\%$ .

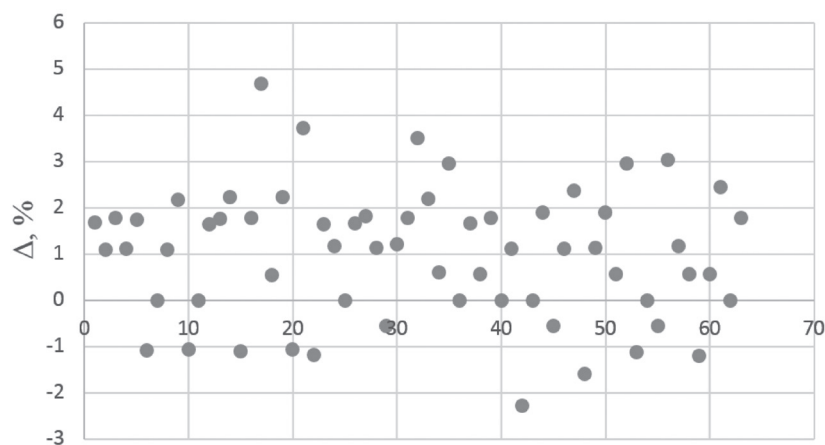


**Рис. 2.** Значення доз на передній стінці прямої кишки:

..... — значення виміряної дози методом *in vivo* дозиметрії; \_\_\_\_\_ — доза, розрахована планувальною системою



**Рис. 3.** Відсоток відхилення виміряної дози від розрахованої на задній стінці сечового міхура



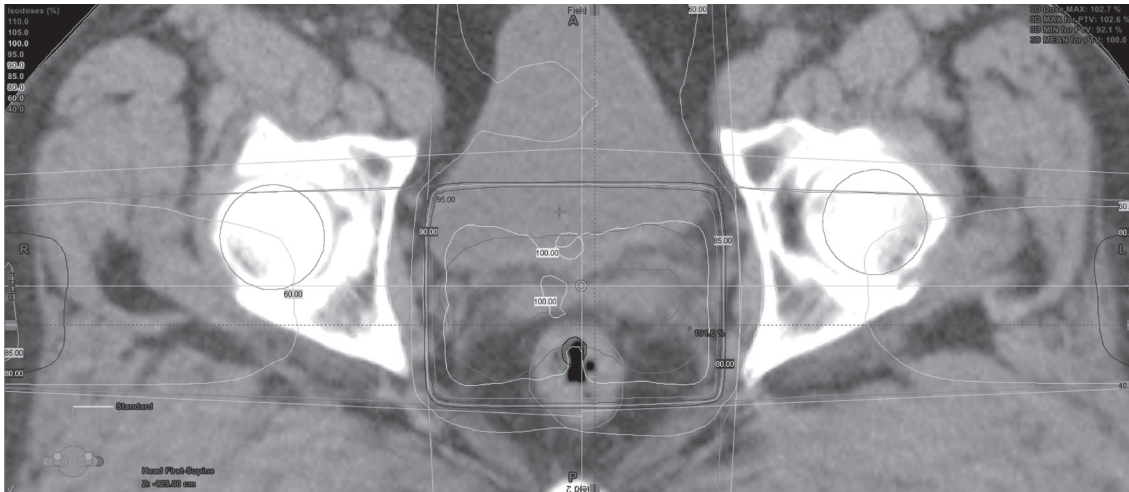
**Рис. 4.** Відсоток відхилення виміряної дози від розрахованої на передній стінці прямої кишки

Встановлено, що більшість вимірів, які відхилялися від розрахункової дози, в тих випадках, коли частіше розташування напівпровідникових дозиметрів відрізнялося від референсного та коли вони були зміщені і знаходилися в бічній або задній частині стінки прямої кишки, і також зміщувалися



в сечовому міхурі. Це відбувалося в результаті наповнення сечового міхура, прямої кишки або скорочення її стінок. Основна причина відхилень — величина градієнта дози по глибині. При розташуванні дозиметра на передній стінці прямої кишки спостерігалась доза, близька за значенням до розрахованої на обсяг опромінення, оскільки стінка кишки близько розташована

до передміхурової залози. Однак у зв'язку з тим, що пряма кишка є органом ризику, доза швидко зменшується на відстані від простати, і це призводить до значного градієнта дози в передньо-задньому напрямку всередині ампули прямої кишки. Це означає, що внутрішньофракційний рух буде надавати непропорційно великий вплив на дозу.



**Рис. 5.** Томографічний аксіальний зріз, що показує PTV, основні органи ризику (пряма кишка і сечовий міхур, голівки стегнових кісток) і два напівпровідникових дозиметри (в прямій кишці і сечовому міхурі). Показано деякі типові ізодози, отримані шляхом формування багатопільного плану опромінення

Існує дуже мало публікацій, в яких описується клінічний досвід програм дозиметрії *in vivo*, спеціально застосованої для дистанційної променевої терапії передміхурової залози. Вимірювання дози в одній точці з використанням дозиметрів, встановлених зовні, недоцільне при даному типі лікування. Тому зусилля в нашому дослідженні були спрямовані на використання *in vivo* дозиметрії через її точність, можливість цифрової візуалізації в реальному часі і зручність контролю дози.

Дозиметрія *in vivo* є потужним інструментом, що має переваги перед методами попереднього контролю забезпечення якості, вона дозволяє своєчасно виявити помилки, які можуть бути легко втрачені іншими методами. Для складних методів лікування за допомогою гіпофракціонування, а також методів лікування з СОД більше 75 Гр, дозиметрія *in vivo* стає ще більш цінною. На підставі опублікованих клінічних даних, що належать до лікування передміхурової залози під контролем *in vivo* дозиметрії, показано, що вона чутлива до безлічі помилок, корисна для адаптації плану і легко здійсненна в рутинному процесі лікування пацієнтів.

Застосування дозиметрії *in vivo* може переконати пацієнтів у тому, що помилки будуть виявлені і усунені, і це зміцнить довіру пацієнта до клініки, а також може служити додатковим критерієм оцінки якості при аналізі кожного страхового випадку. Таким чином, якість допомоги, яка сприймається, поліпшується навіть тоді, коли немає відхилень у лікуванні. Іншою мотивацією для застосування дозиметрії *in vivo* є те, що в майбутньому вона може знадобитися за законом. Деякі європейські уряди почали прописувати дозиметрію

*in vivo* у відповідь на радіаційні аварії. У той час як в нашій країні застосування дозиметрії *in vivo* не потрібно на регулярній основі, розумно припустити, що регулювання даного питання може виникнути в не такому далекому майбутньому.

Результати вимірювань, отримані в даній роботі, показують явну перевагу дозиметрії *in vivo* (при використанні напівпровідникових дозиметрів) перед іншими методами перевірки якості променевої терапії. Вони здатні вимірювати дозу *in vivo* з високою точністю і можуть використовуватися без істотної зміни клінічного робочого процесу.

Великомасштабна клінічна реалізація програми дозиметрії *in vivo* є потужним інструментом забезпечення якості та безпеки променевої терапії.

## ВИСНОВКИ

Проведені в даному дослідженні вимірювання довели достатню точність *in vivo* дозиметрії при зіставленні їх з розрахунковими даними планувальної системи. Даний метод являє собою додаткову, об'єктивну верифікацію розподілу поглиненої дози в критичних органах в інтрафракційному періоді опромінення передміхурової залози. Важливість даного виду дозиметрії буде зростати, оскільки в лікувальний процес впроваджуються все більш складні технології, що дозволяють підвести все більші дози до об'єму мішені і вимагають високого контролю забезпечення якості.

Клінічний досвід дозиметрії *in vivo* в застосуванні до дистанційної променевої терапії передміхурової залози буде продовжувати рости, інформація, отримана методом дозиметрії *in vivo* може використовуватися

різними інноваційними способами з метою підвищення якості лікування пацієнтів. Все одно на цьому етапі необхідно докласти чималих зусиль для рутинного великомасштабного клінічного застосування *in vivo* дозиметрії, щоб автоматизувати даний процес і зібрати якомога більше даних.

Проведення дозиметрії в порожнистих органах малого таза може служити важливою ланкою в ком-

плексній системі контролю якості променевої терапії, а також критерієм якості обраної програми опромінення раку передміхурової залози з подальшим коригуванням у разі потреби.

Дозиметрія *in vivo* відіграватиме ключову роль у забезпеченні безпечного та ефективного впровадження дозиметричних методів у сучасну практику радіаційної онкології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Donaldson S. Towards safer radiotherapy / S. Donaldson // British Institute of Radiology, Institute of Physics and Engineering in Medicine, National Patient Safety Agency, Society and College of Radiographers, The Royal College of Radiologists, London, 2007.
2. *In vivo* dosimetry: trends and prospects for brachytherapy / G. Kertzscher, A. Rosenfeld, S. Beddar et al. // Br. J. Radiol. — 2014.87:20140206.
3. The Royal College of Radiologists, Society and College of Radiographers, Institute of Physics and Engineering in Medicine, British Institute of Radiology. Implementing In Vivo Dosimetry. London : Royal College of Radiologists, 2008.
4. Radiotherapy Risk Profile Technical Manual, World Health Organization, WHO/ IER/PSP/2008.12 Geneva (Switzerland), 2008.
5. Development of procedures for in vivo dosimetry in radiotherapy. IAEA Human Health Report No. 8. International Atomic Energy Agency, IAEA, Vienna (Austria), 2013.
6. Lessons from recent accidents in radiation therapy in France / S. Derreumaux, C. Etard, C. Huet et al. // Radiat. Prot. Dosim. — 2008;131:130–5.
7. Escalated-dose versus control-dose conformal radiotherapy in prostate cancer: long-term results from the MRC RT01 randomised controlled trial / D. P. Dearnaley, G. Jovic, I. Syndikus et al. // Lancet. Oncol. — 2014;15:464–73.
8. American society for therapeutic radiology and oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guidelines for intensity-modulated radiation therapy (IMRT) / A. C. Hartford, M. G. Palisca, T. J. Eichler et al. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. — 2009. — Vol. 73. — P. 9–14.
9. Cherpak A. J. Real-time measurement of urethral dose and position during permanent seed implantation for prostate brachytherapy / A. J. Cherpak, J. E. Cygler, E. Choan, G. Perry // Brachytherapy. — 2014. — Vol. 13. — P. 169–177.
10. Quality control quantification (QCQ): A tool to measure the value of quality control checks in radiation oncology / E. C. Ford, S. Terezakis, A. Souranis et al. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. — 2012;84:e263–9.
11. Journal of the ICRU Vol 10 No 1 (2010) Report 83, Oxford University Press.
12. Tolerance of normal tissue to therapeutic irradiation / B. Emami, J. Lyman, A. Brown et al. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. — 1991. — Vol. 21. — P. 109–122.
13. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic (QUANTEC): An introduction to the scientific issues / S. M. Bentzen, L. S. Constine, J. O. Deasy et al. // Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. — 2010. Vol. 76 (suppl. 3). — P. 3–9.

Стаття надійшла до редакції 18.03.2019.

А. В. ТРОФИМОВ, Л. Л. ВАСИЛЬБЕВ, А. А. СВИНАРЕНКО

ГУ «Институт медицинской радиологии им. С. П. Григорьева НАМН Украины», Харьков

## РОЛЬ *IN VIVO* ДОЗИМЕТРИИ В КОНТРОЛЕ КАЧЕСТВА ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

**Цель работы.** Оценить возможности *in vivo* дозиметрии для контроля качества дистанционной лучевой терапии рака предстательной железы и провести сравнительный анализ рассчитанных и фактических доз на органы риска с помощью полупроводниковых детекторов, расположенных на передней стенке прямой кишки и задней стенке мочевого пузыря.

**Материалы и методы.** В исследовании принимало участие 63 пациента с раком предстательной железы T1–T3a стадии, без отдаленных метастазов. Лучевая терапия проводилась в суммарной очаговой дозе 74 Гр, 34 фракции, 5 дней в неделю с использованием статической четырехпольной методики. *In vivo* дозиметрия проводилась один раз в неделю с использованием полупроводниковых дозиметров, расположенных на передней стенке прямой кишки и задней стенке мочевого пузыря.

**Результаты.** Были сопоставлены данные рассчитанной и фактической дозы на задней стенке мочевого пузыря и передней стенке прямой кишки, которые являются основными критическими органами при лучевой терапии данной локализации.

Среднее отклонение измеряемой дозы от рассчитанной планирующей системой на задней стенке мочевого пузыря составило  $1,17\% \pm 0,17\%$ , на передней стенке прямой кишки —  $0,99\% \pm 0,18\%$ .

**Выводы.** Результаты измерений, полученные в данной работе, показывают точность дозиметрии *in vivo* (при использовании полупроводниковых дозиметров) и позволяют проводить вторичную верификацию

планов в лучевой терапии. Они способны измерять дозу внутри тела пациента в непосредственной близости к облучаемому объему с высокой точностью и могут использоваться без существенного изменения клинического рабочего процесса.

**Ключевые слова:** *in vivo* дозиметрия, рак предстательной железы, дистанционная лучевая терапия, контроль качества, критические органы, объем облучения.

A. TROFYMOV, L. VASYLIEV, A. SVYNARENKO

*SI «Grigoriev Institute for Medical Radiology of National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kharkiv*

## **ROLE OF IN VIVO DOSIMETRY IN QUALITY ASSURANCE OF RADIATION THERAPY FOR PROSTATE CANCER**

**Objective.** Assess *in vivo* dosimetry capabilities for monitoring the quality of external beam radiation therapy for prostate cancer and conduct a comparative analysis of calculated and actual doses to organs at risk using semiconductor detectors located on the anterior wall of the rectum and the posterior wall of the bladder.

**Materials and methods.** The study involved 63 patients with prostate cancer T1–T3a stage, without distant metastases. Radiation therapy was carried out in a total dose of 74 Gy, 34 fractions, 5 days a week using a static four-field method. *In vivo* dosimetry was performed once a week using semiconductor dosimeters located on the anterior wall of the rectum and the posterior wall of the bladder.

**Results.** The calculated and actual dose data on the posterior wall of the bladder and the anterior wall of the rectum (which are the main critical organs in radiation therapy of this localization) was compared. The average deviation of the measured dose from the calculated one by planning system on the posterior wall of the bladder was  $1.17\% \pm 0.17\%$ , on the anterior wall of the rectum —  $0.99\% \pm 0.18\%$ .

**Conclusions.** The measurement results obtained in this work show the accuracy of *in vivo* dosimetry (using semiconductor dosimeters) and allow the secondary verification of plans in radiation therapy to be made. These type of dosimetry is able to measure the dose inside the patient's body in close proximity to the irradiated volume with high accuracy and can be used without significant changes in the clinical workflow.

**Keywords:** *in vivo* dosimetry, prostate cancer, remote radiation therapy, quality control, organs at risk, the amount of radiation.

### **Контактна інформація:**

Трофимов Артем Віталійович  
лікар-рентгенолог групи клінічної топографії ДУ «ІМР НАМН України»  
вул. Пушкінська, 82, м. Харків, 61024, Україна  
тел.: +38 (057) 725-50-93