

В. П. СТАРЕНЬКИЙ, Л. О. АВЕР'ЯНОВА, В. В. КАРВАСАРСЬКА
Л. Л. ВАСИЛЬЄВ, А. В. ТРОФИМОВ

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

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДИСТАНЦІЙНОЇ ПРОМЕНЕВОЇ ТЕРАПІЇ: РЕАЛІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ В УКРАЇНІ

MODERN TECHNOLOGIES OF EXTERNAL BEAM RADIATION THERAPY: REALITIES AND PROSPECTS IN UKRAINE

Зростання рівня онкозахворюваності в світі не дає лікарям-онкологам жодного приводу для заспокоєння. Незалежно від рівня життя в різних країнах кількість онкопацієнтів збільшується, проте якість медичної допомоги та показники виживаності у світі значно відрізняються. Без перебільшення можна стверджувати, що рівень та якість надання онкологічної допомоги є беззаперечним індикатором рівня розвитку кожної країни в цілому, її економічної та соціальної успішності. З огляду на це, Україна сприймається як країна зі значним потенціалом розвитку, проте численні організаційні та фінансові проблеми гальмують прогресивні зміни у галузі охорони здоров'я, особливо там, де потрібна значна технологічна модернізація. Радіаційна медицина, яка у світі вже давно довела свою високу клінічну ефективність, в Україні зазнає найбільших труднощів через безсистемність менеджменту, нестачу технічного забезпечення та кваліфікованих фахівців. Не виняток і дистанційна променева терапія (ДПТ), яка є необхідним компонентом у лікуванні понад 60 % онкохворих. Отже, боротьба за порятунок життя таких пацієнтів — це, насамперед, впровадження всіх можливих технологічних новацій для поліпшення результатів променевого лікування.

Метою роботи є визначення рівня та обсягу технологічної забезпеченості радіотерапевтичних центрів України для підвищення доступності якісної променевої терапії (ПТ) та ефективності лікування онкохворих.

Аналіз можливостей сучасних технологій ДПТ. Сучасна дистанційна променева терапія представлена, насамперед, методами 3D-конформної фотонної терапії гальмівним випромінюванням енергій 6–18 МеВ, яке генерується лінійними прискорювачами електронів, обладнаними системою конформної колімації пучка MLC. Конформна ДПТ дає можливість обмежити поле опромінення відповідно до форми мішені, яка визначається за результатом точної об'ємної КТ-реконструкції зображення пухлини. Наявність коліматора MLC дозволяє блокувати ту частину терапевтичного пучка, яка припадає на здорові тканини та органи ризику. Цим забезпечується максимальне зниження дози на межі «пухлина–здорова тканина». Технологія 3D-конформної фотонної терапії

(3DCRT) придатна для лікування широкого спектра пухлинних захворювань, проте не є технологією прецизійного опромінення.

Подальший розвиток цієї технології дав можливість не тільки створювати індивідуальні конформні поля опромінення, але й змінювати його інтенсивність протягом одного сеансу залежно від об'єму пухлини. Ця технологія отримала назву IMRT. Технологія IMRT дозволяє створити кращий розподіл дози в мішені, проте підготовка процедури займає більше часу, суворими є вимоги щодо іммобілізації пацієнта. Ця технологія щонайменш удвічі дорожча за 3D-конформну терапію, тому має сенс застосовувати її для меншого кола патологій, для яких лікування має бути особливо ретельним. Варто зазначити, що в Західній Європі технологія IMRT вже стала «золотим стандартом» ПТ, нею забезпечені всі нові прискорювачі, які нині інсталиуються в європейських країнах.

В окремих випадках технології 3DCRT та IMRT не можуть забезпечити точне зосередження дози в маленькій мішені, як це необхідно, наприклад, при лікуванні пухлин головного мозку. Тут застосовуються технології стереотаксичної радіохірургії SRS, які реалізуються за допомогою апаратів Гамма-ніж та Кібер-ніж. За точністю до цих апаратів наближається лінійний прискорювач Novalis з мікроколіматорами MLC для опромінення малих мішеней. Технологія SRS потребує дуже ретельного планування — до 10 годин на пацієнта — та тривалого часу опромінення. Так, один сеанс на апараті Кібер-ніж триває до 40 хвилин і фактично неінвазивно знищує пухлини та інші патологічні осередки розміром до 3 см максимум за 5 сеансів. Технології стереотаксичної радіохірургії не є універсальними, їх застосування у розвинених країнах нині складає не більше 10 % від усієї кількості процедур ДПТ.

Серед останніх досягнень технологій ПТ — адронна терапія, яка застосовує високоенергетичні пучки прискорених протонів та іонів для прицільного знищення глибоких пухлин. За міжнародною класифікацією адронну терапію також відносять до технологій стереотаксичної радіохірургії через важливу властивість адронних пучків — гальмування з повною віддачею енергії на певній глибині (пік Брегга). Протони високої енергії легко проходять крізь об'єкт, що опромінюється, створюючи незначну іонізацію вздовж траєкторії руху. Незначне розсіювання

© В. П. Старенький, Л. О. Авер'янова, В. В. Карвасарська, Л. Л. Васильєв, А. В. Трофимов, 2015

дозволяє підвести вузький пучок частинок в зону опромінення. Співвідношення дози в пухлині та на поверхні тіла може сягати 200:1, це сприяє ефективному ураженню генетичного апарату пухлинних клітин (подвійні розриви ДНК) і унеможливує подальше відтворення пухлини. Адронна терапія є унікальною технологією ДПТ, широке застосування якої гальмується через значні проблеми: високу вартість створення та обслуговування технології, малу розповсюдженість (близько 40 центрів у світі), відсутність стандартизації параметрів обладнання та системного підходу до підготовки фахівців.

Проблема вибору спектра технологій ДПТ для кожної країни не вирішується лише шляхом закупівлі терапевтичних апаратів того чи іншого типу (рис. 1). Постає задача створення цілісної технології, яка має підтримуватись у межах чинної державної системи онкологічної допомоги [1]. Особливо ваги нині набуває інформаційне та комунікаційне забезпечення ДПТ, яке стає основою всього клініко-технологічного конвеєра у відділенні променевої терапії [2]. Взаємопов'язаність усіх технологій та етапів складного онкологічного лікування вимагає запровадження іншого рівня організації клінічної інфраструктури, який потребує сучасної фахової підготовки як лікарів-радіологів, так і інженерів радіотерапевтичних відділень на якісно новому рівні [3]. Застосування комп'ютерних систем передпроменевої підготовки та планування ДПТ (Treatment planning systems, TPS) вимагає знань та навичок з комплексного застосування засобів об'ємної КТ-реконструкції анатомічних структур, віртуального розподілу дози та його оптимізації із застосуванням гістограм «доза-об'єм» [4]. Для верифікації плану ДПТ обов'язково застосовуються симулятори — спеціалізовані рентгенівські апарати або комп'ютерні томографи.

На початковому етапі розробки плану променевого лікування необхідно визначити обсяг мішені та опромінювані об'єми, для чого виникає необхідність застосування діагностичних зображень різних модальностей медичної візуалізації. Найбільше значення для планування ДПТ зазвичай має рентгенівська комп'ютерна томографія — 98 %, яка в деяких випадках обов'язково застосовується спільно з МРТ (12 %). Для визначення метаболічного об'єму мішені застосовується позитронно-емісійна томографія (8 %). Ультразвукова візуалізація та всі інші модальності при

складанні плану ДПТ застосовуються менш ніж у 1 % випадків (AuntMinnie.com, IMV Medical Information Division, Inc. Of Des Plaines, IL). У сучасних системах планування ДПТ застосовуються опції гібридизації зображень різних модальностей, що значно уточнює візуальне визначення меж пухлин [5].

Сучасні технології ДПТ мають забезпечувати максимальне суміщення терапевтичного пучка з мішенню, в тому числі рухомою. Для цього застосовується великий комплекс засобів іммобілізації, позиціонування, системи моніторингу дихальних рухів тощо. Оснащеність того чи іншого центру ДПТ цими технологічними засобами також значною мірою визначає рівень та клінічні наслідки наданого променевого лікування.

Необхідний компонент сучасної ДПТ — система забезпечення якості променевого лікування, яка є багатоетапним технологічним процесом, що насамперед контролює адекватність підведення дози випромінення з метою мінімізації негативних наслідків променевого лікування. Для цього застосовуються дозиметричні фантоми, автоматизовані системи побудови дозних полів, а також інші засоби контролю технічних систем та програмного забезпечення з метою зменшення вірогідності відмови обладнання та помилок у роботі персоналу.

Проведений огляд сучасних технологій ДПТ дає можливість зіставити нинішні можливості радіотерапевтичних відділень в Україні з тими потребами, які насамперед необхідно задовольнити за певних соціально-економічних умов.

Технологічне забезпечення ДПТ в Україні. Проаналізуємо ситуацію в Україні порівняно з рівнем розвитку ДПТ у сусідніх країнах станом на кінець 2014 р. [6–10]. За міжнародними нормативами мінімально достатня кількість мегавольтних апаратів ДПТ має становити 4 на 1 млн населення [1]. Далі скористаємось даними з міжнародної бази даних МАГАТЕ із забезпечення центрів променевої терапії DIRAC (nucleus.iaea.org).

За рис. 2а можна оцінити насиченість країн мегавольтними апаратами. Чехія, Словаччина, Угорщина та Литва забезпечені ними у достатній кількості (від 138 до 92 %). До них наближаються Польща та Білорусь (74 та 71 %). Наступна група — Туреччина, Росія, Україна (від 66 до 62 %), Казахстан та Румунія (56 та 37 %). Україні поки що не вдається подолати значний



Рис. 1. Комплекс універсального технологічного забезпечення центрів променевої терапії, представлений у базі даних МАГАТЕ DIRAC

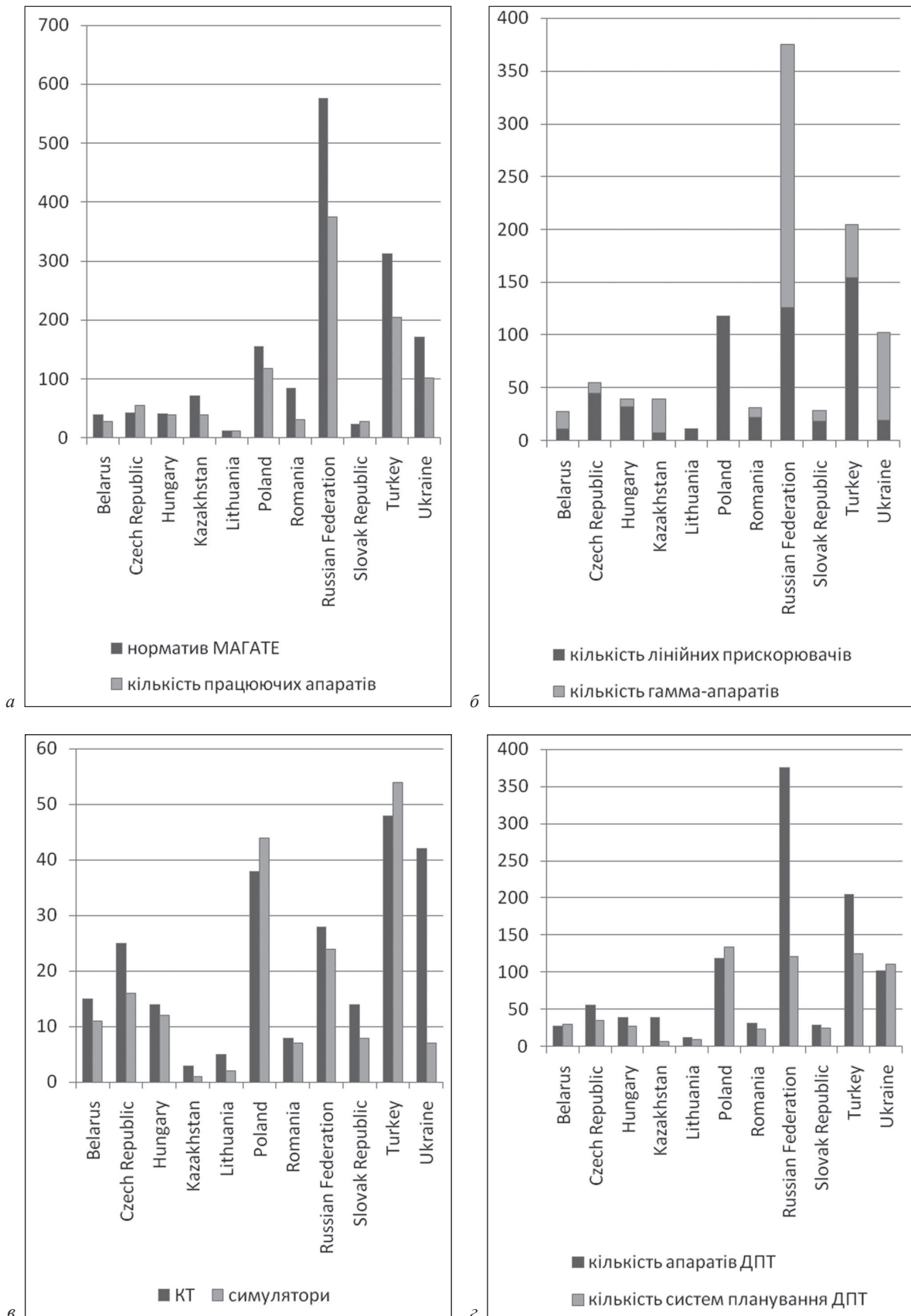


Рис. 2. Порівняльні діаграми технологічного забезпечення ДРТ в Україні та сусідніх державах

дефіцит апаратів ДПТ. За темпами нарощування потужностей ДПТ Україні слід передусім використовувати досвід Польщі та Білорусі.

Якісний розподіл апаратів ДПТ у тих же країнах проаналізуємо на рис. 2б. Видно, що більш розвинені країни різко зменшили кількість гамма-апаратів на користь більш сучасних лінійних прискорювачів. З діаграми видно, що Туреччина за кількістю прискорювачів вже випередила Росію, приблизно такі ж темпи — у Польщі, яка взагалі відмовилась від гамма-апаратів. Натомість пострадянські країни досі мають їх переважну більшість.

За кількістю комп'ютерних томографів (рис. 2в) Україна — серед лідерів. Комп'ютерна томографія (КТ) — це технологія, яка застосовується і для діагностики, і для терапії, вона освоєна в Україні досить ґрунтовно. Проте симулятори — це спеціалізоване обладнання, отже їх у нас замало. Їх, як правило, інсталюють разом із прискорювачами: у Польщі на 118 прискорювачів — 44 симулятори, в Туреччині відповідно від 154 до 54. Достатнім рівнем вважається один симулятор на 3 сучасні апарати ДПТ. Якщо зважити на те, що симулятори застосовуються і з прискорювачами, і з гамма-апаратами, то в усіх пострадянських країнах з їх застарілим обладнанням симуляторів вкрай не вистачає. Вихід тут один — інсталювати прискорювачі замість гамма-апаратів та разом з цим встановлювати симулятори. Проте для їх ефективного використання потрібно мати у кожному онкоцентрі не менш ніж три мегавольтні апарати ДПТ. Тільки такі центри можуть забезпечити якісне планування ДПТ, інші ж — тільки лікувати за планом, створеним за сучасними технологіями.

Наявність систем планування — це також важливий показник якісного стану ДПТ. На рис. 2г ми бачимо, що в Росії та Казахстані існує значне відставання у впровадженні систем планування, тобто разом із застарілими апаратами досі застосовуються рутинні розрахунки дозних полів. В Україні кількість систем планування навіть більша за кількість апаратів ДПТ, проте не всі вони є сучасними. Зважаючи на наявність комп'ютерних мереж обміну даними, можна розробити технологію дистанційного розрахунку планів опромінення та передачі їх до центрів ДПТ, у яких поки що немає симуляторів.

Отже, наведені дані свідчать про те, що модернізація відділень ДПТ має здійснюватись комплексно, на однаковому технологічному рівні для всіх складових. Якщо аналізувати сучасний рівень розвитку технічної інфраструктури радіотерапевтичних центрів, то нині він визначається не тільки достатньою кількістю апаратного забезпечення, але й якісною перевагою на користь новітніх, більш ефективних та радіаційно-безпечних технологій.

Перспективні технології ДПТ в Україні. Технології стереотаксичної радіохірургії SRS в Україні реалізуються за допомогою апарата Кібер-ніж (один, у приватній клініці Спіженка, Київ), лінійних прискорювачів Novalis (два, в Інституті нейрохірургії ім. акад. А. П. Ромоданова та у Всеукраїнському центрі

радіохірургії КЛ «Феофанія», Київ). В Україні є потреба збільшити кількість апаратів SRS, один з яких можна встановити у Харкові, зважаючи на велику кількість населення північно-східної України та здатність наших фахівців швидко освоїти цю технологію.

На сьогодні це найбільш ефективна технологія ПТ, проте й найбільш високоартісна та недоступна. Навіть у тих країнах, де її активно застосовують, установок протонної терапії не вистачає. У сусідній Польщі зараз діє один та створюється другий протонний центр. Для таких великих інфраструктурних проєктів, які створюються не менш як за 3–5 років, потрібні чималі капіталовкладення, основну частку яких становить високо-технологічне інженерно-фізичне обладнання та комунікації. Тільки на четвертий рік експлуатації протонний центр виходить на повне завантаження.

Важливим є питання джерел покриття витрат. Не так багато пацієнтів спроможні сплачувати повну вартість лікування. У європейських країнах та США існує практика відшкодування частини витрат через загальнодержавні фонди. Якщо такий механізм не запровадити в Україні, може виникнути ситуація з незавантаженням протонного центру, що призведе до нерентабельності таких медичних послуг. Утримувати лише державним коштом таку технологію неможливо. Виходячи з аналізу потужностей протонної терапії в світі, можна говорити про необхідність створення в Україні 2–3 центрів протонної терапії, проте це є справою далекої перспективи. За потреби слід направляти пацієнтів, які дійсно потребують протонної терапії, у країни, де ця технологія активно застосовується.

Аналіз технологічного забезпечення ДПТ в Україні станом на початок 2015 року виявив необхідність збільшення кількості апаратів ДПТ на 35 % (за рахунок лінійних прискорювачів електронів) та симуляторів (один симулятор на три апарати ДПТ); впровадження новітніх систем планування ПТ; збільшення штату медичних фізиків та радіаційних технологів.

За існуючих складних соціально-економічних умов в Україні необхідно насамперед:

1. Підтримувати у працездатному стані наявні технічні засоби ПТ.
2. Внести корективи щодо організаційно-технічного забезпечення радіотерапевтичних відділень у зв'язку зі значною міграцією населення з Донецької та Луганської областей, АР Крим.
3. На державному рівні сконцентрувати наявні фінансові ресурси для поступового нарощення потужностей та технічного переоснащення відділень променевої терапії. За нинішніх умов жодна область не може самостійно вирішити це надскладне завдання.
4. Слід залучати приватні інвестиції та створювати приватні центри ПТ. Ефективна робота таких центрів можлива за умов упровадження в Україні страхової медицини (хоча б в окремих галузях).
5. Проблема модернізації променевої терапії в Україні має вирішуватись планомірно та комплексно, з точки зору як клінічної доцільності, так і техніко-економічної обґрунтованості.

Для модернізації відділень променевої терапії в Україні потрібні концептуальна програма і спільна робота різних державних структур із залученням приватного бізнесу та інвестицій.

Тільки держава може бути гарантом ефективної, високопрофесійної радіологічної допомоги.

Слід належним чином організувати взаємодію фахівців у сфері державного управління охороною здоров'я, науковців, клініцистів, технічних фахівців та менеджерів від медицини у справі створення в Україні сучасних медичних онкорадіологічних центрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Planning national radiotherapy services: a practical tool.* — Vienna : International Atomic Energy Agency, 2010.
2. *Старенький В. П.* Модернізація дистанційної променевої терапії в Україні: світовий досвід, проблеми та перспективи / В. П. Старенький, Л. О. Авер'янова // Журн. НАМН України. — 2014. — Т. 20, № 1. — С. 83–91.
3. *Старенький В. П.* Інтегративні технології оптимізації лікувального процесу на прикладі досвіду організації роботи відділення променевої терапії ДУ «Інститут медичної радіології ім. С. П. Григор'єва НАМН України» / В. П. Старенький // Вісн. ХНУ ім. В. Н. Каразіна. № 1024. Серія : Медицина. — 2012. — Вип. 24. — С. 113–120.
4. *Аналіз інформаційних і технічних можливостей сучасних систем планування дистанційної радіотерапії* / В. П. Старенький, Л. О. Авер'янова, Л. Л. Васильєв та ін. // Клін. інформатика і телемедицина. — 2011. — Т. 7, вип. 8. — С. 79–82.
5. *Starenkiy V. P.* The Role of Modern Medical Imaging Technologies at Distant Radiation Therapy Planning / V. P. Starenkiy // Journal of V. N. Karazin' KhNU. — 2013, N 1044. — P. 54–63.
6. *Radiotherapy in European countries: an analysis of the DIRAC data base* / E. Rosenblatt et al. // Lancet Oncol. — 2013. — Vol. 4. — P. 79–86.
7. *Reinfuss M.* Radiotherapy facilities, equipment, and staffing in Poland: 2005–2011 / M. Reinfuss, E. Byrski, J. Malicki // Reports of Practical Oncology & Radiotherapy. — 2013. — Vol. 18, Issue 3. — P. 159–172.
8. *Syczewska-Weber K.* The Main Challenges of Polish Oncology / K. Syczewska-Weber, P. Rucinski // Public Health Rep. — 2008. — Vol. 123, N 5. — P. 655–663.
9. *Костылев В. А.* Анализ состояния радиационной онкологии в мире и в России / В. А. Костылев // Мед. физика. — 2009. — № 3. — С. 5–20.
10. *Утілення сучасних технологій в практику променевої терапії в онкологічних хворих* / В. С. Іванкова, Т. В. Скомоорова, О. Ю. Столярова та ін. // Техноген. безпека. — 2013. — № 198, вип. 210. — С. 109–113.

Резюме. Проведен аналіз сучасного стану та перспектив розвитку дистанційної лучевої терапії (ДЛТ) в Україні. Визначені шляхи удосконалення технологічного забезпечення радіотерапевтичної служби України.

Ключевые слова: дистанционная лучевая терапия, система планирования, системы визуализации.

Summary. The current state and prospects for the development of external beam radiation therapy (EBRT) in Ukraine are analyzed. The ways of improving the technological support of radiotherapy service of Ukraine are defined.

Keywords: external beam radiation therapy, planning system, imaging systems.

Л. Л. ВАСИЛЬЄВ, А. В. ТРОФИМОВ
В. П. СТАРЕНЬКИЙ

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

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОЛОЖЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ФІКСОВАНОЇ ТОЧКИ ПРИ ПЕРЕДПРОМЕНЕВІЙ ПІДГОТОВЦІ У ПАЦІЄНТІВ З ПУХЛИНАМИ ЛЕГЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНОГРАФІЇ

DEFINITION OF INNER FIXED POINT OPTIMAL POSITION DURING RADIATION THERAPY PLANNING OF LUNG CANCER PATIENTS USING RADIOGRAPHY METHOD

Згідно з даними сучасної статистики, рак легень (РЛ) залишається найбільш поширеним злоякісним новоутворенням у світі — 1,6 млн нових випадків © Л. Л. Васильєв, А. В. Трофимов, В. П. Старенький, 2015

захворювання на рік. В Україні РЛ займає провідне місце у структурі онкозахворюваності і становить 34,2 випадку на 100 тис. населення (59,7 чол. і 12,2 жін.) [1].