

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].

Незважаючи на значний прогрес у технологіях променевої терапії (ПТ) і контролю якості у світі, ситуація в Україні, як і раніше, залишається плачевною. У 82 % випадків парк обладнання для дистанційної променевої терапії представлений морально і технічно застарілими гамма-апаратами радянського виробництва [2].

Позитивно-задовільний ефект ПТ може нівелюватися негативним впливом на оточуючі пухлину нормальні тканини, що пов'язано як із недоліками традиційного двомірного (2D) планування радіотерапії, так і обмеженими можливостями гамма-апаратів (більша частина хворих помирає від ускладнень через опромінення великих обсягів радіочутливої легеневої паренхіми, серця та великих судин). Використання сучасної радіаційної техніки значною мірою дозволяє уникнути серйозних віддалених наслідків.

Однією з важливих проблем планування ПТ РЛ є створення обсягу опромінення з урахуванням дихальних рухів органів грудної клітки та контроль за щоденною укладкою пацієнта. Об'ємна візуалізація пухлини і сусідніх критичних структур нині стає визначною рисою променевої терапії, супроводжуваної зображеннями (IGRT). Застосування даної методики дозволяє знизити систематичні помилки, надає можливості для зменшення планованого обсягу опромінення (PTV) і зниження навантаження на нормальні навколишні тканини, що, в свою чергу, може поліпшувати контроль за пухлиною для пацієнтів з місцевопоширеним раком легенів [3, 4].

Для зниження радіотоксичності останнім часом були представлені такі техніки контролю за диханням як Respiratory Gating і затримка дихання на вдиху. На жаль, дані методики є ресурсоемними і не можуть бути застосовані до неконтактних пацієнтів або пацієнтів зі зниженою можливістю затримки дихання, тоді як форма мішені може бути краще візуалізована за допомогою тривимірних технік, таких як комп'ютерна томографія конічним пучком (КТКП). Недоступність тривимірних (3D) досліджень лікувальним установам та рутинна укладка пацієнта при щоденних сеансах опромінення зазвичай заснована на 2D зображеннях. Понад усе немає чіткого рішення про переваги КТКП для хворих на рак легенів. Таким чином, визначення положення мішені за допомогою двовимірних методик все ще є досить актуальним [3, 4].

Чинні протоколи складання плану ПТ на основі 2D візуалізації в лікувальних установах істотно розрізняються. Деякі клініки використовують тільки ортогональні зображення для укладання, тоді як інші використовують додатково рентгеноскопію для оцінки рухливості пухлини [5]. Пухлину легені не завжди видно на ортогональних зображеннях укладки, отже, вибір видимих анатомічних орієнтирів для суміщення зображення непросте завдання, тому що кореляція кісткових орієнтирів з пухлиною легені не є прямою. З іншого боку, РЛ, який визначається на знімках, чутливий до респіраторних рухів. При щоденній укладці пацієнта важливою умовою є точне відтворення положення тіла і відповідність ізоцентра розрахованому

плану. Для цього застосовують корекції в положенні столу в передньо-задньому, верхньо-нижньому і латеральному напрямках, ґрунтуючись на даних, отриманих за допомогою ортогональних зображень.

Протоколи для поєднання ортогональних зображень із 3D набором КТ зображень відрізняються один від одного. Для кісткових орієнтирів деякі центри використовують груднину або ребра [6], тоді як інші в цей список включають і хребет або використовують тільки його без зазначених орієнтирів. Наскільки нам відомо, похибки укладання при методиці суміщення ортогональних зображень на цифрові реконструйовані рентгенограми раніше не оцінювалися і не проводилося порівняння з різними положеннями фіксованих точок за такою методикою.

Метою роботи було визначення оптимальної фіксованої точки у пацієнтів з пухлинами легенів за допомогою ортогональної рентгенографії для більш точного поєднання. Для досягнення поставленої мети досліджували похибки укладання при суміщенні рентгенограм з референсними зображеннями. Ці суміщення ґрунтувалися на кісткових орієнтирах, таких як хребет, груднина, ребра і плечовий суглоб. Проведено пошук кращих кісткових орієнтирів з мінімальними помилками при укладці і, таким чином, мінімальними окрайками опромінення для мінімізації променевого навантаження на критичні органи. Розмір окрайок, які додають до великого обсягу пухлини, найбільш виражений при застосуванні конформної ПТ, яка дозволяє досягти високої точності при розподілі дози.

У дослідження було включено 15 хворих на РЛ, які отримували ПТ в ДУ «Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва НАМН України». Середній вік пацієнтів становив 57 років. Дослідження проводили під контролем комітету з біоетики. Планувальні знімки КТ робили при вільному диханні на апараті Toshiba Aquilion 64 при товщині зрізу в 3 мм. Усі пацієнти були в положенні лежачи на спині з руками, піднятими над головою. Для кращої відтворюваності щоденної укладки застосовували індивідуальні вакуумні матраци. Референсні рентгеноконтрастні шкірні маркери наносили на груднину і проекцію середньої пахвової лінії.

Вибір обсягів опромінення, оконтурювання критичних органів і внутрішніх фіксованих точок виконували лікар — променевої терапевт разом з рентгенологом-топометристом. Лікування пацієнтів проводилося на апараті Varian Clinac 600C з енергією фотонів 6 MeV.

Ортогональні зображення отримували за допомогою рентгеносимулятора Varian Acuity (95 кв, 40 мА, 20 мс — для знімків у прямій проекції та 105 кВ, 40 мА, 20 мс — у бічній). Отримані зображення використовували для корекції положення столу, після чого пацієнтові наносилися мітки в проекції ізоцентра для укладки на лінійному прискорювачі.

Щодня перед сеансом опромінення пацієнта укладали по мітках проекції ізоцентра на рентгеносимуляторі і виконували знімки. Після внесення їх у планувальну систему та суміщення з референсним

зображенням наносили мітки на кісткові орієнтири і вимірювали похибки.

Грудна клітка була розділена на орієнтири та ділянки. Ними були верхня, середня і нижня частини хребта (Th1–5 UP_V, Th6–8 MID_V, Th 9–12 LOW_V), нижні і середні задні відрізки ребер (LOW_R, MID_R), середня частина груднини (MID_ST), плечовий суглоб і біфуркація трахеї (рис. 1). Похибки укладання при ортогональних зображеннях розглядалися ретроспективно при різних локалізаціях для поєднання. Зображення укладання поєднувалися по хребту, ребрам і груднині. Ретроспективне суміщення зображень проводилося одним і тим же дослідником для всіх 15 пацієнтів.

По груднині визначався тільки верхньо-нижній напрямок, тому за цією структурою неможливо точно визначити латеральні і передньо-задні напрямки.

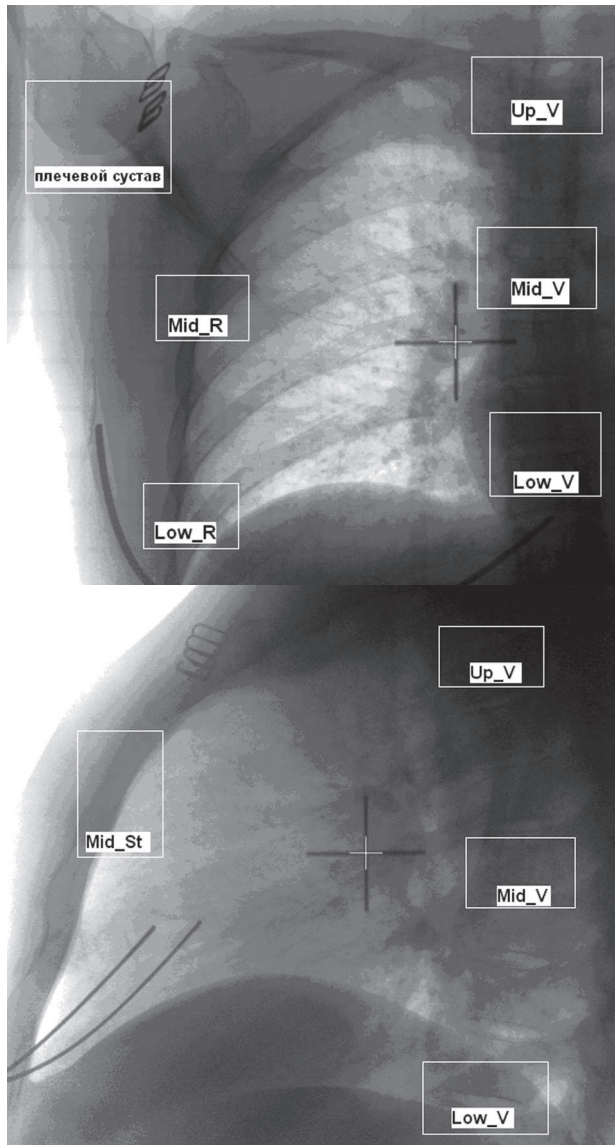


Рис. 1. Вибір кісткових орієнтирів на ортогональних рентгенограмах для поєднання з референсним зображенням

Ґрунтуючись на попередніх даних, кращим положенням внутрішніх точок для суміщення зображень при отриманні ортогональних знімків є візуалізація хребта, груднини та біфуркації трахеї. Досліджено

похибки при даному суміщенні зображень. Це було зроблено шляхом визначення похибок за вказаними вище ділянками груднини і плечового суглоба після суміщення зображень у реальному часі. Адекватні крайки для ПТ розраховували за формулою van Herk — $m = 2,5\Sigma + 0,7\delta$ (Σ — це систематична похибка, а δ — випадкова похибка) [7]. Всі напрямки зміщення подані як верхньо-нижнє (ВН), передньо-заднє (ПЗ) і латеральне (Лат).

Похибки і відповідні внутрішні орієнтири представлені в таблиці для різних суміщень за ортогональними знімками. Середня відстань похибок була в межах 2 мм для всіх суміщень. Положення для зіставлення мало тільки один вплив на передньо-задній і латеральний напрямки, тоді як більший ефект відзначався в верхньо-нижньому напрямку. Кращим положенням для суміщення були умови, за яких візуалізуються хребет, груднина та ребра (MID_V + MID_ST + MID_R), щоб мінімізувати похибки укладки. Це суміщення мало мінімальні похибки в самих важливих ПЗ і Лат напрямках. Більше того, систематична похибка була лише не набагато вище в ВН напрямку, ніж найдрібніша похибка, отримана для MID_R + MID_ST. При такому суміщенні корекція положення ґрунтувалася на середньому положенні цих трьох орієнтирів.

Систематичні та випадкові похибки особливо не відрізнялися в ПЗ/Лат напрямку для інших положень суміщення. У ВН напрямку випадкова похибка при більш точному суміщенні була значно краща, ніж MID_R суміщення ($p = 0,02$) та суміщення в реальному часі ($p = 0,02$).

Таблиця

Середнє зміщення внутрішніх орієнтирів

Орієнтир	Систематична похибка		Випадкова похибка	
	ПЗ/Лат напрямок	ВН напрямок	ПЗ/Лат напрямок	ВН напрямок
MID_V	1,6	2,1	2,0	2,3
MID_ST	1,5	1,7	2,0	2,4
MID_R	1,9	2,1	2,3	2,8
Плечовий суглоб	3,4	2,0	4,0	2,5
Біфуркація трахеї	1,2	1,3	1,8	1,6

На рис. 2 показано графік щоденних варіацій зміщення внутрішніх фіксованих точок на прикладі пацієнта 2.

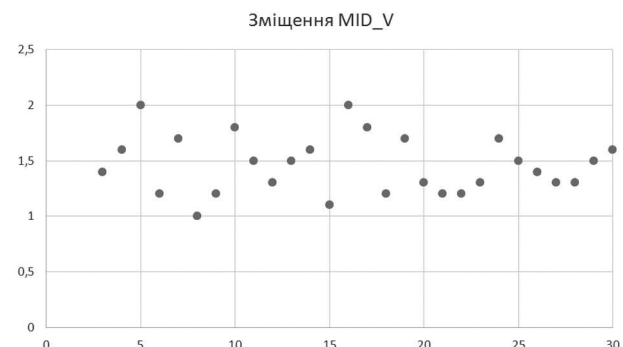


Рис. 2. Щоденний контроль зміщення кісткових орієнтирів (мм)

У цьому дослідженні були вивчені похибки позиціонування у ПТ при РЛ, проведеній при вільному дихальному циклі. Внаслідок щоденних укладок пацієнта, а також акту дихання положення планованого обсягу опромінення змінюється. Ми виявили, що необхідно визначити оптимальне положення внутрішніх фіксованих точок для поєднання за методикою отримання ортогональних двовимірних зображень укладки. Ми також оцінили, наскільки була зменшена точність положення лікувального поля внаслідок суміщення зображень. Потім були визначені крайки, які додаються при формуванні обсягу опромінення для оптимального суміщення, ґрунтовані на кісткових орієнтирах та біфуркації трахеї.

У результаті проведеного дослідження було визначено, що кращим варіантом для знімків, зроблених в ортогональній проекції, є наявність таких орієнтирів,

як хребет, груднина та біфуркація трахеї. Груднина і ребра необхідні для мінімізації залишкової похибки положення при методиці отримання зображень полів опромінення, щоб мінімізувати крайки для укладки, які, в свою чергу, необхідні для зниження променевого навантаження на органи ризику. При такому суміщенні коригування в ПЗ, Лат і ВН напрямках базуються на середньому положенні цих орієнтирів. Кращий ефект суміщення зображень найчастіше спостерігався при коригуванні у ВН напрямку, тоді як для ПЗ і Лат напрямків він був значно нижчим. Застосування мінімальних крайок для зменшення променевого навантаження на органи ризику можливе, якщо систематичні похибки по центральній легеневій відстані не перевищують 4 мм у всіх напрямках. Якщо цей ліміт перевищений (систематично в 3–4 фракціях), необхідно використовувати корегувальні методи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Рак в Україні, 20013–2014* : Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної служби / за ред. І. Б. Щепотіна // Бюл. Нац. канцер-реєстру України. — Київ, 2015.
2. *Старенький В. П.* Модернізація дистанційної променевої терапії в Україні — світовий досвід, проблеми та перспективи / В.П. Старенький, Л. О. Авер'янова. — Харків, 2014.
3. *How can we further improve radiotherapy for stage-III non-small-cell lung cancer* / G. K. Beckmann, O. Kolbl, T. Krieger et al. // *Lung Cancer*. — 2004. — Vol. 45 (suppl. 2). — S. 125–132.
4. *Postoperative radiotherapy in localized non-small cell lung cancer* / C. Rube, T. Phu Nguyen, J. Fleckenstein et al. // *Lung Cancer*. — 2001. — Vol. 33 (suppl. 1). — S. 29–33.
5. *National Cancer Action Team (NCAT). National radiotherapy implementation group report — image guided radiotherapy: guidance for implementation and use.* — London : NCAT, 2012.
6. *Royal College of Radiologists (RCR). On target: ensuring geometric accuracy in radiotherapy (BFCO (08)5).* — London : Royal College of Radiologists, 2008.
7. *van Herk et al.* // *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. — 2000. — Vol. 47. — P. 1121–1135.

Резюме. Исследованы ошибки укладки при сопоставлении рентгенограмм с референсными изображениями по костным ориентирам, таким как позвоночный столб, грудина, ребра и бифуркация трахеи. Проведен также поиск лучших ориентиров для минимизации ошибок при укладке пациента и с целью уменьшения лучевой нагрузки на критические органы.

Ключевые слова: лучевая терапия, рак легких, топометрическая подготовка, костные ориентиры.

Summary. The study of set-up errors during matching of X-Ray images with reference ones to bony landmarks such as vertebrae, sternum, ribs and carina was made. Also the search of better landmarks was conducted in order to minimize set-up errors during positioning of the patient with following reduction of radiation exposure to organs at risk.

Keywords: radiation therapy, lung cancer, topometric preparation, bony landmarks.