

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕЖЕДНЕВНОЙ ОШИБКИ УКЛАДКИ ПРИ ПРЕДЛУЧЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ У ПАЦИЕНТОВ С ОПУХОЛЯМИ ЛЕГКИХ С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОГРАФИИ

Васильев А.А., Старенький В.П.

ГУ "Институт Медицинской радиологии им. С.П. Григорьева НАМН Украины", г. Харьков

**РЕЗЮМЕ.** В работе было проведено исследование ошибок укладки при сопоставлении рентгенограмм с референсными изображениями по костным ориентирам, таким как позвоночный столб, грудина, ребра и бифуркация трахеи. Также проведен поиск лучших ориентиров для минимизации ошибок при укладке пациента и с целью уменьшения лучевой нагрузки на критические органы. В результате проведенного исследования было определено, что лучшим вариантом для снимков, сделанных в ортогональной проекции, является наличие таких ориентиров, как позвоночный столб, грудина и бифуркация трахеи. Грудина и ребра необходимы для минимизации остаточной ошибки положения при методике получения тангенциальных изображений полей облучения, чтобы минимизировать края для укладки, необходимые для снижения лучевой нагрузки на органы риска.

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

Согласно данным современной статистики, рак легких (РЛ) остается наиболее распространенным злокачественным новообразованием в мире – 1,6 млн новых случаев заболевания в год. В Украине РЛ занимает ведущее место в структуре онкозаболеваемости и составляет 34,2 случая на 100 тысяч населения (59,7 мужчины и 12,2 женщины) [2].

Несмотря на значительный прогресс в технологиях лучевой терапии (ЛТ) и контроля качества в мире, ситуация в Украине по-прежнему остается плачевной. В 82% случаев парк оборудования для дистанционной лучевой терапии представлен морально и технически устаревшими гамма-аппаратами советского производства [1].

Лечебный эффект лучевой терапии может нивелироваться негативным воздействием на окружающие опухоль нормальные ткани, что связано как с недостатками традиционного двухмерного (2D) планирования радиотерапии, так и ограниченными возможностями гамма-аппаратов (большая часть больных умирает от осложнений из-за облучения больших объемов радиочувствительной легочной паренхимы, сердца и крупных сосудов). Использование современной радиационной техники в значительной степени позволяет избежать серьезных отдаленных последствий.

Одной из важных проблем планирования ЛТ РЛ является создание объема облучения с учетом дыхательных движений органов груд-

ной клетки и контроль за ежедневной укладкой пациента.

Объемная визуализация опухоли и соседних критических структур становится отличительной чертой в формирующуюся эпоху лучевой терапии, сопровождаемой изображениями (IGRT). Применение данной методики позволяет снизить систематические ошибки, предоставляя возможности для уменьшения планируемого объема облучения (PTV) и снижения нагрузки на нормальную окружающую ткань, что, в свою очередь, может привести к улучшенному контролю за опухолью для пациентов с местнораспространенным раком легкого [3, 5].

Для снижения радиотоксичности в последнее время были представлены такие техники контроля за дыханием, как "Respiratory Gating" и задержка дыхания на вдохе. Но, к сожалению, данные методики являются ресурсоемкими и не могут быть применены к неконтактным пациентам или пациентам со сниженной возможностью задержки дыхания. В то время как форма мишени может быть лучше визуализирована с помощью трехмерных техник, таких как компьютерная томография коническим пучком (КТКП). Недоступность трехмерных (3D) исследований лечебным учреждениям и рутинная укладка пациента при ежедневных сеансах облучения обычно основана на 2D-изображениях. Более того, нет четкого решения о преимуществах КТКП для пациен-

тов с раком легких. Таким образом, определение положения мишени с помощью двухмерных методик все еще весьма актуально.

Существующие протоколы составления плана лучевой терапии на основе 2D-визуализации существенно различаются в разных лечебных учреждениях. Одни клиники используют только ортогональные изображения для укладки, в то время как другие используют дополнительно рентгеноскопию для оценки подвижности опухоли [4]. Опухоль легкого не всегда видна на ортогональных укладочных изображениях, следовательно, выбор видимых анатомических ориентиров для сопоставления изображения — непростая задача, потому что корреляция костных ориентиров с опухолью легкого не является прямой. С другой стороны, рак легких, который определяется на снимках, чувствителен к респираторным движениям. При ежедневной укладке пациента важным условием является точное воспроизведение положения тела и соответствие изоцентра рассчитанному плану. Для этого применяют коррекции в положении стола в передне заднем, верхне нижнем и латеральном направлениях, основываясь на данных, полученных с помощью ортогональных изображений.

Протоколы для совмещения ортогональных изображений с 3D-набором КТ-изображений отличаются друг от друга. Для костных ориентиров некоторые центры используют грудину или ребра [6], тогда как другие в этот список включают и позвоночный столб или используют только его без вышеуказанных ориентиров. Насколько нам известно, ошибки укладки при методике наложения ортогональных изображений на цифровые реконструируемые рентгенограммы ранее не оценивались и не проводилось сравнение с различными положениями фиксированных точек при сопоставлении с использованием ортогональных изображений.

**Целью работы** являлось определение оптимальной фиксированной точки у пациентов с опухолями легких с помощью ортогональной рентгенографии для более точного совмещения.

Для достижения поставленной цели исследовались ошибки укладки при сопоставлении рентгенограмм с референсными изображениями. Эти сопоставления основывались на костных ориентирах, таких как позвоночный столб, грудина, ребра и плечевой сустав. Поиск лучших костных ориентиров с мини-

мальными ошибками при укладке и, таким образом, минимальными краями облучения для минимизации лучевой нагрузки на критические органы. Размер краев, добавляемых к большому объему опухоли, наиболее выражен при применении конформной лучевой терапии, которая позволяет достичь высокой точности при распределении дозы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данную работу было включено 60 пациентов с раком легких, получающих лучевую терапию в ГУ «Институт медицинской радиологии им. С.П. Григорьева НАМН Украины». Средний возраст пациентов составлял 57 лет. Планирующие снимки КТ (Toshiba Aquilion 64, Япония) производились при свободном дыхании при толщине среза в 3 мм. Все пациенты находились в положении лежа на спине с руками поднятыми над головой. Для лучшей воспроизводимости ежедневной укладки применялись индивидуальные вакуумные матрасы. Референсные рентгенконтрастные кожные маркеры наносились на грудину и проекцию средней подмышечной линии.

Выбор объемов облучения, оконтуривание критических органов и внутренних фиксированных точек выполнялось врачом — лучевым терапевтом совместно с рентгенологом-топометристом. Лечение пациентов проводилось на линейном ускорителе (Varian Clinac 600C, США) с энергией фотонов 6 МэВ.

Ортогональные изображения получали с помощью рентген-симулятора (Varian Acuity, США) (95 кВ, 40 мА, 20 мс — для снимков в прямой проекции и 105 кВ, 40 мА, 20 мс — в боковой проекции). Полученные изображения использовались для коррекции положения стола, после чего пациенту наносились метки в проекции изоцентра для укладки на линейном ускорителе.

Ежедневно перед сеансом облучения пациента укладывали по меткам проекции изоцентра на рентген-симулятор и выполнялись снимки. После внесения их в планирующую систему и совмещения с референсным изображением наносились метки на костные ориентиры и измерялась ошибка.

Грудная клетка была разделена на ориентиры и области. Ими являлись: верхняя, средняя и нижняя части позвоночного столба (Th1-5 UP\_V, Th6-8 MID\_V, Th 9-12 LOW\_V), нижние и средние задние отрезки ребер (LOW\_R, MID\_R), средняя часть грудины (MID\_ST),

плечевой сустав и бифуркация трахеи (рис.). Ошибки укладки при ортогональных изображениях рассматривались ретроспективно при различных локализациях для совмещения. Изображения укладки совмещались по позвоночному столбу, ребрам и грудины. Ретроспективное совмещение изображений проводилось одним и тем же исследователем для всех 60 пациентов.

По грудины определялось только верхне-нижнее направление, т.к. по этой структуре невозможно точно определить латеральное и передне заднее направления.

Основываясь на предварительных данных, лучшим положением внутренних точек для сопоставления изображений при получении ортогональных снимков является визуализация позвоночного столба, грудины и бифуркации трахеи. Были исследованы ошибки при данном совмещении изображений. Это было сделано путем определения ошибок по вышеуказанным областям, грудины и плечевому суставу после сопоставления изображений в реальном времени. Адекватные края для лучевой терапии рассчитывались по формуле  $\text{var Ner}k - m = 2,5\Sigma + 0,7\delta$  ( $\Sigma$  — систематическая ошибка, а  $\delta$  — случайная ошибка) [7]. Все направления смещения даны как верхне нижнее, передне заднее и латеральное.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

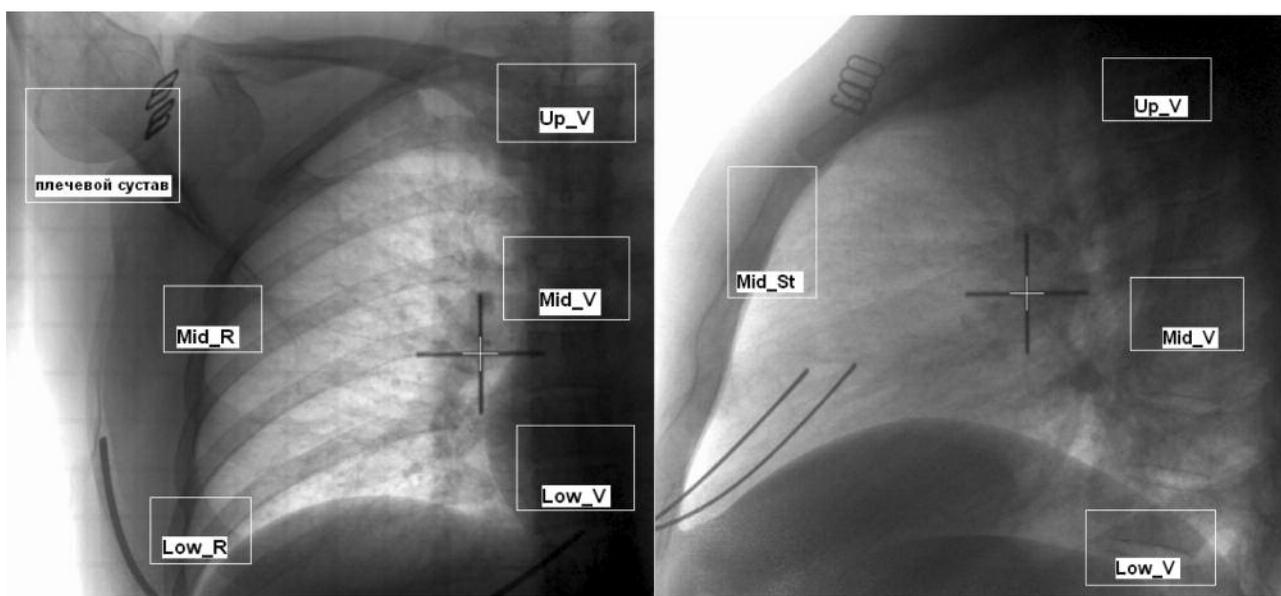
Ошибки и соответствующие внутренние ориентиры представлены в таблице для раз-

личных сопоставлений по ортогональным снимкам. Среднее расстояние для ошибок находилось в пределах 2 мм для всех совмещений. Положения для сопоставления имело только одно влияние на передне заднее (ПЗ) и латеральное (Лат) направления, тогда как больший эффект отмечался в верхне нижнем (ВН) направлении. Лучшим положением для совмещения были условия, при которых визуализируются позвоночный столб, грудина и ребра (MID\_V + MID\_ST + MID\_R), чтобы минимизировать ошибки укладки. Это сопоставление имело минимальные ошибки в самых важных ПЗ и Лат направлениях. Более того, систематическая ошибка была лишь ненамного выше в верхне нижнем направлении, чем самая мелкая ошибка, полученная для MID\_R + MID\_ST. При таком сопоставлении коррекция положения основывалась на среднем положении этих трех ориентиров.

Систематические и случайные ошибки особо не отличались в ПЗ/Лат направлении для других положений сопоставления. В ВН направлении случайная ошибка при лучшем сопоставлении была значительно лучше, чем MIDR сопоставление ( $p=0,02$ ) и сопоставление в реальном времени ( $p=0,02$ ).

На графике показаны ежедневные вариации смещения внутренних фиксированных точек на примере пациента 2.

В этом исследовании были изучены ошибки позиционирования в лучевой терапии при раке легких, проводимой при свободном

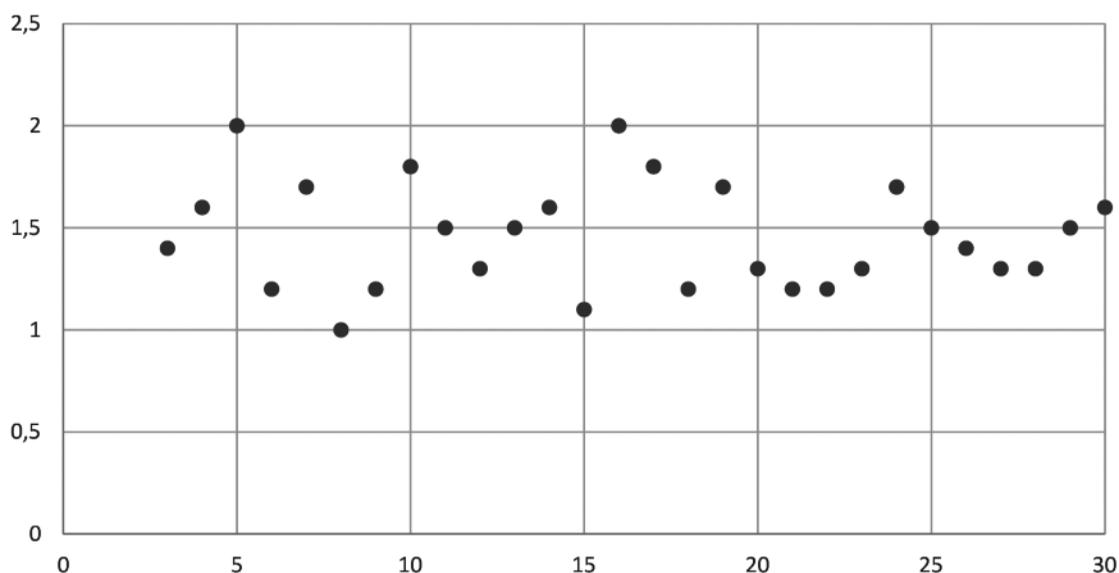


**Рисунок.** Выбор костных ориентиров на ортогональных рентгенограммах для совмещения с референсным изображением

Среднее смещение внутренних ориентиров

Ориентир	Систематическая ошибка		Случайная ошибка	
	ПЗ/Лат направление	ВН направление	ПЗ/Лат направление	ВН направление
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
Плечевой сустав	3,4	2,0	4,0	2,5
Бифуркация трахеи	1,2	1,3	1,8	1,6

Смещение MID\_V



**График.** Ежедневный контроль смещения костных ориентиров (мм). По оси абсцисс — дни лечения, по оси ординат — смещение

дыхательном цикле. Вследствие ежедневных укладок пациента, а также акта дыхания положение планируемого объема облучения изменяется. Было обнаружено, что необходимо определить оптимальное положение внутренних фиксированных точек для совмещения по методике получения ортогональных двухмерных изображений укладки. Также было оценено, насколько была уменьшена точность положения лечебного поля вследствие сопоставления изображений. Далее были определены края, добавляемые при формировании объема облучения для оптимального сопоставления, которое основывалось на костных ориентирах и бифуркации трахеи.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования было определено, что лучшим вариантом для снимков, сделанных в ортогональной проекции является наличие таких ориентиров, как позвоночный столб, грудина и бифуркация трахеи. Грудина и ребра необходимы для минимизации остаточной ошибки положения при методике получения тангенциальных изображений полей облучения, чтобы минимизировать края для укладки, необходимые для снижения лучевой нагрузки на органы риска. При таком сопоставлении корректировки в ПЗ, Лат и ВН направлениях базируются на среднем положении этих ориентиров.

Эффект сопоставления изображений больше всего наблюдался при корректировке в ВН направлении, в то время как для ПЗ и Лат направлений он был значительно ниже. Применение минимальных краев для уменьшения лучевой нагрузки на органы риска возможно, если систематические ошибки по центральному легочному расстоянию не превышают 4 мм во всех направлениях. Если этот лимит превышен (систематически в 3-4 фракциях), необходимо использовать корректировочные методы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Модернізація дистанційної променевої терапії в Україні — світовий досвід, проблеми та перспективи / В.П. Старенький, Л.О. Авер'янова. 2014.
2. Рак в Україні, 20013–2014. Захворюваність, смертність, показники діяльності онкологічної

служби / За ред. І.Б. Щепотіна // Бюл. Нац. канцер-реєстру України 2015.

3. Beckmann G.K., Kolbl O., Krieger T. et al. How can we further improve radiotherapy for stage-III non-small-cell lung cancer? // *Lung Cancer*. — 2004. — 45 (Suppl. 2). — с125–с132.
4. National Cancer Action Team (NCAT). *National radiotherapy implementation group report – image guided radiotherapy: guidance for implementation and use*. — London: NCAT, 2012.
5. Rube C., Phu Nguyen T., Fleckenstein J. et al. *Postoperative radiotherapy in localized non-small cell lung cancer* // *Lung Cancer*. — 2001. — 33 (Suppl. 1). — с29–с33.
6. Royal College of Radiologists (RCR). *On target: ensuring geometric accuracy in radiotherapy (BFCO (08)5)*. — London: Royal College of Radiologists, 2008. — с9-10.
7. van Herk et al. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*. — 2000. — 47. — с1121-с1135.

#### ВИЗНАЧЕННЯ ЩОДЕННОЇ ПОМИЛКИ УКЛАДАННЯ ПІД ПЕРЕДПРОМЕНЕВОЇ ПІДГОТОВКИ В ПАЦІЄНТІВ ІЗ ПУХЛИНАМИ ЛЕГЕНІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РЕНТГЕНОГРАФІЇ

Васильєв Л.Л.

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

**РЕЗЮМЕ.** У роботі було проведено дослідження помилок укладання під час зіставлення рентгенограм із референсними зображеннями за кістковими орієнтирами, такими як хребет, грудина, ребра і біфуркація трахеї. Також проведено пошук кращих орієнтирів для мінімізації помилок під час укладання пацієнта з метою зменшення променевого навантаження на критичні органи. У результаті проведеного дослідження було визначено, що найкращим варіантом для знімків, зроблених в ортогональній проекції, є наявність таких орієнтирів, як хребетний стовп, грудина і біфуркація трахеї. Грудина і ребра необхідні для мінімізації залишкової помилки положення за методики отримання тангенціальних зображень полів опромінення, щоб мінімізувати край для укладання, необхідні для зниження променевого навантаження на органи ризику.

**Ключові слова:** променева терапія, рак легенів, топометрична підготовка, кісткові орієнтири.

#### DEFINITION SETUP ERROR DURING RADIATION THERAPY PLANNING OF LUNG CANCER PATIENTS USING RADIOGRAPHY METHOD

Vasyliev L.

SI "Institute of Medical Radiology, S.P. Grigoriev  
National Academy of Medical Sciences of Ukraine"

**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. As a result of this study it was determined that the best option for the X-Ray pictures made in orthogonal projection is the presence of such landmarks as spine, sternum and the bifurcation of the trachea. The sternum and the ribs are necessary to minimize the residual error during positioning procedure when making tangential images of radiation fields in order to minimize margins needed to reduce radiation exposure to organs at risk.

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