

УДК 616.24-006.+615.849 (048.8)

ЛЕОНИД ЛЕОНИДОВИЧ ВАСИЛЬЕВ, ВИКТОР ПЕТРОВИЧ СТАРЕНЬКИЙ

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

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ПРЕДЛУЧЕВОЙ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ КОНФОРМНОЙ РАДИОТЕРАПИИ БОЛЬНЫХ РАКОМ ЛЕГКОГО

Резюме. Для решения основной задачи лучевой терапии (ЛТ) — максимальной местной девитализации опухоли при минимальной лучевой нагрузке на критические органы и ткани — важное значение приобретает качественная предлучевая подготовка, определяющая результативность лучевого лечения. В представленном обзоре обобщены данные литературы об основных этапах и особенностях клинической топометрии при конформной дистанционной ЛТ больных раком легкого.

Ключевые слова: предлучевая топометрическая подготовка, рак легкого, конформная дистанционная лучевая терапия.

Во всех экономически развитых странах проблема рака легкого (РЛ) является одной из наиболее важных и сложных в современной онкологии. Последнее обусловлено трудностями своевременной диагностики и недостаточной эффективностью лечения.

Заболеваемость РЛ, который поражает активный и работоспособный контингент, носит характер эпидемии и является не только медицинской, но и социальной проблемой. По данным обновленной версии базы мировых данных по раку GLOBOCAN 2012, поддерживаемой Международным агентством онкологических исследований (IARC) Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) первое место как среди вновь диагностируемых злокачественных новообразований, так и среди причин смерти от онкологии занимает РЛ — 1,8 млн человек, что составляет 13 % от общего числа раков [1].

Среди трех основных методов лечения злокачественных новообразований — хирургического, лучевого и химиотерапии — радиотерапия занимает первое место по частоте и широте спектра применения. Особое значение лучевая терапия (ЛТ) приобретает в качестве основного метода лечения у 50–80 % больных РЛ, поскольку из общего числа пациентов с данной онкологической патологией только 20–25 % подвергаются оперативному вмешательству. Это связано на ранних стадиях заболевания с «функциональной» несостоятельностью пациента либо отказом его от операции, а на более поздних — с большими размерами опухоли, наличием регионарных и отдаленных метастазов [2–6].

На сегодня лучевая терапия — это высокоэффективный метод противоопухолевого лечения, вобравший в себя последние достижения экспериментальной и клинической радиобиологии, онкологии,

физики, реализация которого возможна только с помощью применения высокотехнологического радиотерапевтического оборудования.

В современной онкологии совершенствование лучевых методов лечения можно определить двумя основными направлениями — уменьшение объемов облучения за счет максимального исключения из его зоны нормальных тканей и увеличения различий в повреждении последних и опухоли.

Лучевая терапия рака легкого всегда сталкивалась с дилеммой между необходимостью подведения высоких суммарных очаговых доз к опухоли и риском развития тяжелых лучевых повреждений жизненно важных органов грудной клетки — легких, пищевода, сердца, грудной стенки, спинного мозга [8–12].

Согласно рекомендациям рабочей группы ВОЗ (2000), при ЛТ риск осложнений целесообразно оценивать в соответствии с современными радиобиологическими данными, которые позволяют сопоставить опухолевую дозу, необходимую для 90 %-ной вероятности местного излечения, и толерантную дозу для здоровых тканей, дающую не более 5 % вероятности лучевых повреждений в зависимости от гистологического строения опухолевой и нормальной тканей, объема облучения, планируемой суммарной дозы. Для плоскоклеточного рака и аденокарциномы в стадии $T_{2-3}N_1$ 90 %-ная вероятность местного излечения наступает при СОД 66 Гр за 6 недель, а в стадии T_4N_2 при объеме опухоли $<20 \text{ см}^3$ тот же эффект наблюдается при СОД 80 Гр за 8 недель. Толерантная доза, дающая 5 %-ную вероятность повреждения здоровой легочной ткани при объеме опухоли менее 100 см^3 , составляет 60 Гр за 6 недель [13].

Девяностые годы прошлого века стали переломными в области дозиметрического планирования и способах облучения в ЛТ, обусловленные

стремительным развитием радиотерапевтической аппаратуры, дозиметрического и программного обеспечения [14, 15]. Бурный прогресс в области медицинской диагностики и компьютерно-информационной техники привел к созданию нового направления — трехмерное компьютерное планирование и реализация этого плана облучения, позволяющего правильно сформировать дозное распределение [7, 16–18].

Разновидностями конформной лучевой терапии являются 3-мерная (объемная) конформная лучевая терапия (КЛТ) (3D-CRT), интенсивно-модулированная радиотерапия (IMRT — модуляция интенсивности пучка), лучевая терапия с визуальным контролем смещаемых объектов (IGRT), различные варианты стереотаксического облучения (SRT), в том числе экстракраниальные [19–23]. Благодаря этому стало реальным подводить к опухоли существенно более высокую поглощенную дозу, повышать конформность дозного распределения, укрупнять фракционирование за счет использования различных нестандартных схем вплоть до однократного облучения (неинвазивная радиохирургия) [24–29].

С позиций лучевых терапевтов внедрение новых технологий трехмерного конформного и интенсивно-модулированного облучения является важным методом лечения у больных немелкоклеточным раком легкого (НМРЛ) при местно-распространенном или функционально-неоперабельном процессе и локализованных формах мелкоклеточного рака легкого (МРЛ) [6, 17, 23, 30–33].

Для обеспечения оптимального лучевого воздействия на опухолевый очаг и максимально возможной защиты близлежащих критических органов и здоровых тканей необходима высокоточная топометрия с последующим расчетом на основе полученных топографо-анатомических данных поглощенных доз в очаге, путях метастазирования и в здоровых тканях [34–36].

Предлучевая подготовка с использованием объемного планирования КЛТ злокачественных новообразований, в частности РЛ, включает в себя получение анатомотопографической информации об опухоли и прилежащих структурах; введение анатомотопографического изображения в планирующую систему; выбор источника и условий облучения; создание программ объемного планирования для виртуальной симуляции, заменяющей традиционную технологию моделирования на основе рентгеновского симулятора; практическую реализацию выбранной методики ЛТ и условий облучения; контроль качества выполнения предлучевой подготовки [37].

При этом виртуальная симуляция предназначена для точного определения координат изоцентра полей облучения, маркировки изоцентра мишени на поверхности тела, а также опорных точек, геометрии пучка, позиций линейного ускорителя и многолепесткового коллиматора и, в целом, построения 3D модели опухоли и прилежащих органов и структур [38].

В процессе подготовки к проведению конформной лучевой терапии РЛ большое значение имеет

максимально точное определение распространенности опухолевого процесса — локализация, размеры и конфигурация опухолевых очагов, являющихся мишенью радиотерапевтического воздействия, а также находящиеся рядом с критическими органами. При этом обязательным является использование всей доступной информации, получаемой при использовании современных диагностических — рентгенологических, ультразвуковых, радиоизотопных методов исследования, неотъемлемой частью которых являются компьютерная томография — спиральная и многосрезовая (КТ), магнитно-резонансная (МРТ) и позитрон-эмиссионная (ПЭТ) [39–43].

Диагностическая визуализация играет важную роль в планировании ЛТ, заключающуюся в правильном разграничении целевых объемов органов риска.

Компьютерная томография внесла важный вклад в установление локализации первичных опухолей. КТ-изображения идеально подходят для целей планирования ЛТ, поскольку они формируются в поперечных сечениях и обеспечивают детальную визуализацию опухоли и прилегающих к ней органов, а также оконтуривают тело пациента, что необходимо для расчета изодозного распределения [44, 45]. Кроме того, КТ-изображения, получаемые в процессе КЛТ, могут быть использованы для оценки ответа опухоли на облучение [46].

Компьютернотомографические исследования проводятся в условиях, тождественных тем, при которых должна проводиться 3D-конформная ЛТ, что необходимо для точной репродукции последующих лечебных процедур. С помощью современных компьютерных планирующих систем (Varian Eclipse, Cadplan, Pinnacle, Panther 3D, PLATO, PLAN W2000, Theraplan PLUS и др.) производится трехмерная реконструкция полученных КТ-сканов, на которые наносятся контуры объемов мишени и критических структур [47]. Новые медицинские технологии позволили КТ отстоять ведущие позиции среди прочих современных методов визуализации как метода выбора в любых клинических ситуациях.

Многослойная техника сканирования преобразовала КТ, превратив ее из метода получения аксиальных срезов в метод создания трехмерных изображений [48]. При этом не всегда удается получить отчетливую визуализацию контура опухоли легкого на каждом КТ-изображении; недостатком КТ является низкая чувствительность при выявлении внутригрудных лимфатических узлов. Кроме того, ряд заболеваний — хроническая обструктивная болезнь легких, кавитация, плевральный выпот, ателектаз могут скрыть точные границы опухоли в определении ее объема и/или размера [49, 50].

Наиболее частой причиной, затрудняющей визуализацию опухоли на КТ-изображениях, является ателектаз легкого (доли, сегмента), который наиболее часто встречается при центральном раке — в 42–53 % случаев и осложняет планирование ЛТ [51], поскольку опухоль и ателектаз имеют близкие денситометрические показатели. Поэтому границу между опухолью

и ателектазом можно дифференцировать только в 20–25 % случаев [39].

Использование при КТ внутривенного контрастного усиления (ВКУ) позволяет улучшить визуализацию опухоли на фоне ателектаза. В работе [49] использование болюсного ВКУ в модификации авторов (введение неионных рентгеноконтрастных веществ в достаточном объеме с высокой скоростью в оптимальном временном режиме начала сканирования, соответствующего пику контрастного усиления на аорте) позволило получить удовлетворительную визуализацию контура на фоне ателектаза в $90,0 \pm 6,9$ % случаев. Это дало возможность провести у больных РЛ адекватное планирование 3D-КЛТ и предотвратить переоблучение в дозах выше толерантных непораженной легочной ткани, а также уменьшить лучевые нагрузки на другие критические органы.

Согласно результатам проведенных исследований, использование ПЭТ/КТ сканирования позволяет получить более точное разграничение между опухолью и ателектазом у больных НМРЛ по сравнению с КТ [52].

Использование КТ совместно с МРТ или позитронно-эмиссионной томографией (ПЭТ) представляет полноценное 3-мерное изображение органа и локализации опухолевого очага внутри него [41, 53].

Основной задачей составления адекватного плана лечения является наиболее точное определение и оконтуривание объема мишени. Внедрение в клиническую практику программного обеспечения для автосегментирования на основе атласов привело к уменьшению варибельности при создании контуров для 3D-планирования, сокращению временных затрат на оконтуривание мишени [54].

В работе [55] с использованием программы ABAS (Elekta Ltd, Великобритания) на основе «эталонного» изображения пациента, полученного при помощи многосрезовой спиральной компьютерной томографии (МСКТ), проводили определение объемных контуров анатомических структур, необходимых для расчета качественного плана лучевого лечения больных раком легкого. Используя алгоритмы деформаций референсных структур анатомического атласа, ABAS создает новые наборы контуров, соответствующие анатомии конкретного пациента. Оконтуривание органов риска грудной клетки в системе оконтуривания у опытного радиотерапевта требует не менее 60 мин. Выделение этих объемов атласами автосегментирования занимает около 3 мин на системе ABAS. Объемы легких, сердца, аорты, трахеи и спинного мозга, полученные при использовании системы ABAS, соответствовали объемам, выделенным экспертом. Авторы считают, что клиническое использование атласов автоматического сегментирования позволяет существенно сократить затраты времени на оконтуривание.

Атлас сегментирования ABAS позволяет получить контуры легких, сердца, аорты, трахеи спинного мозга, сравнимые с оконтуриванием в ручном режиме. Тем не менее, несмотря на высокое качество

автоматической 3D-реконструкции анатомических структур пациента, требуется контроль и коррекция контуров со стороны врача-радиолога непосредственно перед дозиметрическим планированием ЛТ больных раком легкого [56].

При лучевом лечении опухолей грудной клетки следует использовать методы учета дыхательных движений [57].

Еще 10–15 лет назад при использовании CRT и IMRT было замечено, что при некоторых локализациях, в том числе при РЛ, расположение опухоли может заметно изменяться даже при надежной фиксации пациента, что серьезно усложняет задачу радиационного онколога. Причина этому — движения тела пациента, связанные с дыханием. Подвижность может достигать 2–3 см в зависимости от локализации опухоли легкого, меньше — при центральном раке, больше — при периферическом раке нижней доли легкого. Обычно подвижность мишени оценивается рентгеноскопически, но опухоль плохо визуализируется, можно оценить только ее подвижность вверх–вниз, медиально–латерально, поэтому нельзя напрямую переносить эти данные в планируемую систему [58].

При использовании стандартных методик конформного облучения радиационный онколог должен расширять радиационное поле для исключения выхода за его пределы, существенно увеличивая риск радиационного повреждения здоровых тканей [59, 60].

При раке легкого предложены различные решения этой проблемы, в частности, интегрированные в линейный ускоритель устройства оперативного получения облучаемых участков, приборы для активного контроля за дыханием (real-time Position Management — RPM respiratory gating), задержка дыхания (Active Breathing Coordinator), расширения мишени с целью создания внутреннего объема мишени (ITV) и/или планирование и доставка облучения под контролем, что позволяет уменьшить смещение органов и тканей до 3–5 мм [57, 61–63]. Это направление дистанционной ЛТ получило название лучевая терапия под визуальным контролем (IGRT) — 4-мерная конформная лучевая терапия [64, 65].

Лучевая терапия, корректируемая по изображениям, предусматривает получение лучевых изображений опухоли, окружающих здоровые ткани непосредственно перед сеансом ЛТ и во время его. Эти изображения используются для определения перемещения опухоли здоровых тканей и коррекции направления терапевтического пучка излучения в соответствии с вышеуказанными перемещениями. Соответственно системе дыхательного «затвора», которая включает и отключает терапевтический пучок излучения синхронно с дыханием, можно ограничить лечение частью дыхательного цикла, когда опухоль находится в поле облучения, тем самым ограничить планируемый объем облучения, что даст возможность увеличить поглощенную дозу в опухоли и уменьшить дозу, приходящуюся на окружающие ее здоровые ткани. Однако около 40 % пациентов не могут длительно задерживать дыхание [18].

В процессе облучения больных РЛ сдвиг опухоли за счет дыхательных движений может быть уменьшен посредством стереотаксической рамки с брюшной компрессией, добровольной задержкой дыхания или системой ABC (Active Breathing Control) [61]. Кроме того, эффект движения подвижной мишени (опухоль) может быть уменьшен, если облучение проводится на части дыхательного цикла, когда известна траектория движения опухоли или опухоль визуализируется с помощью компьютерной томографии, связанной с контролем дыхания (4DCT), когда максимальная доза доставляется в изоцентр опухоли. Визуализация, включающая Cone Beam CT вместо традиционной КТ, выполняемое перед каждой фракцией трехмерное контролирование (IGRT) улучшают точность лечения, увеличивают воспроизводимость укладки пациента и позволяют верифицировать положение опухоли [62]. Данная стратегия предпочтительна тем, что при достоверной эскалации дозы и высоком локальном контроле не развиваются радиотоксические эффекты.

В литературе обсуждается вопрос о снижении частоты побочных эффектов ЛТ при использовании системы ABC и снижении лучевой нагрузки на ткань легкого за счет задержки дыхания на умеренном глубоком вдохе [66, 67]. Использование данного метода показало значительное уменьшение среднего значения дозы для сердца, правого или левого легкого и спинного мозга по сравнению со свободным дыханием [67]. По данным авторов, только за счет обоснованного уменьшения планируемого объема удается снизить лучевую нагрузку на легкое на 38 %, спинной мозг — 44 %.

В другом исследовании показано, что проведение стереотаксической конформной лучевой терапии с использованием системы активного контроля дыхания (ABC) позволило достоверно увеличить на 10–12 % суммарную поглощенную дозу при сокращении планируемого объема опухоли (PTV), снизить среднюю токсическую дозу на легкое и критические органы с уменьшением частоты лучевых осложнений [61].

Дыхательные движения — сложный переменный процесс (базовые сдвиги, изменения амплитуды и/или частоты дыхания), который нельзя характеризовать одним циклом. Поэтому от цикла к циклу вариации колебания дыхательных движений нельзя учесть полностью при использовании 4DCT, что может привести к геометрическим и дозиметрическим ошибкам [68]. В последнее время появились данные по использованию 4D MRT-системы визуального контроля, что позволяет выполнять мониторинг в течение нескольких дыхательных циклов в режиме реального времени [69].

Таким образом, современные технологии с использованием конформной радиотерапии на основе трехмерного планирования, модуляции интенсивности пучка излучения, синхронизации облучения с фазами дыхания, стереотаксиса позволяют подводить к опухоли легкого более высокие дозы ЛТ, существенно повышая эффективность лечения РЛ. Однако дыхательные движения при РЛ вызывают затруднение в определении границ опухоли и в расчете дозы облучения. Кроме того, смещение центра опухоли во время дыхательного цикла слабо коррелирует с движениями отдельных точек на ее границе. Это является существенной проблемой для точности моделирования полей облучения и определения границ на краях и в центре облучаемой мишени.

При проведении высокотехнологической конформной лучевой терапии РЛ необходимо использовать все возможности современных методов диагностики — КТ, МРТ, ПЭТ в сочетании с совершенствованием компьютерных программ объемного дозового планирования для более точного определения границ однородных областей опухоли и провести разграничения целевых объемов и органов риска.

Таким образом, оптимизация методов клинической топометрии на этапе предлучевой подготовки больных раком легкого является одним из приоритетных направлений современной онкорadiологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *CLOBOCAN 2012*. Estimated cancer incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012.
2. *Use of palliative radiotherapy among patients with metastatic non-small cell lung cancer* / J. A. Hayman, P. H. Abrachams, I. Lakhani et al. // *Int. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* — 2007. — Vol. 69, N 4. — P. 104–107.
3. *Чиссов В. И.* Онкология : Нац. рук-во / В. И. Чиссов. — М. : ГЭОТАР-Мед., 2008. — С. 128–168.
4. *Inoperable early stage non-small cell lung cancer: comorbidity, patterns of care and survival* / S. L. Smith, D. Palma, T. Parhar et al. // *Lung. Cancer.* — 2011. — Vol. 72. — P. 39–44.
5. *Serdgio S. L.* Role of radiotherapy in Metastatic non-small cell lung cancer // *Front. Oncol.* — Режим доступа: <http://dx.doi.org/10.3389/fonc.2014.00229> (13.09.2014).
6. *Use of thoracic radiotherapy for extensive stage small-cell lung cancer: a phase 3 randomised controlled trial* / B. J. Slotman, H. van Tinteren, J. O. Praag, J. L. Kneijens et al. // *The Lancet.* — 2015. — Vol. 385, N 9962. — P. 36–4210.
7. *Минайло И. И.* Современная высокотехнологичная лучевая терапия / И. И. Минайло, Н. А. Артемова // *Укр. радіол. журн.* — 2013. — Т. XXI, вип. 2. — С. 212–216.
8. *Курсова Л. В.* Лучевые повреждения органов грудной клетки у больных раком легкого / Л. В. Курсова // *Рос. онкол. журн.* — 2010. — № 6. — С. 51–55.
9. *Пасов В. В.* Поздние лучевые повреждения органов грудной клетки / В. В. Пасов, Р. Д. Зубова, Е. М. Иволгин, А. К. Курпешева // *Сиб. онкол. журн.* — 2009. — № 6. — С. 58–61.
10. *Гайсенюк Л. О.* Кардіальні ризики у хворих на рак легень у динаміці проведення променевого лікування на лінійному прискорювачі / Л. О. Гайсенюк, Г. В. Кулініч, А. С. Савченко // *Укр. радіол. журн.* — 2014. — Т. XXII, вип. 3. — С. 21–26.
11. *Werner-Wasik M.* Radiation dose-volume effects in the esophagus / M. Werner-Wasik, E. Yorke, J. Deasy, L. B. Marks // *Int. J. Radiat. Biol. Phys.* — 2010. — Vol. 76, N 3. — P. 586–593.

12. *Radiation induced Lung injury: prediction, assessment and managements* / P. Girighar, S. Mallic, GK Rath et al. // *Asian Pac. J. Cancer Prev.* — 2015. — Vol. 16, N 7. — P. 2613–2617.
13. *Лучевая терапия в лечении рака* : практ. рук-во / под ред. Рабочей группы ВОЗ. — М., 2000. — С. 101–114.
14. *Бойко А. В.* Эволюция идеологии лучевой терапии на основе ее коренного технического перевооружения / А. В. Бойко // *Мед. радиология и радиац. безопасность.* — 2006. — Т. 51, № 1. — С. 46–53.
15. *Трофимова О. П.* Прошлое и настоящее лучевой терапии в онкологии / О. П. Трофимова, С. И. Ткачев, Т. В. Юрьева // *Клин. онкогематология. Фундам. исследования и клин. практика.* — 2013. — Т. 6, № 4. — С. 355–364.
16. *Gerald J. Kutcher: Computer-Controlled 3D Conformal Radiation Therapy* / Gerald J. Kutcher, Radhe Mohan, C. Clifton Ling, Steven A. Leibel, Zvi Fuks // *Radiation Therapy Physics.* — Berlin : Springer : Heidelberg, 1995. — Chapter 9. — P. 175–191.
17. *3-D-conformal radiotherapy for inoperable non-small cell lung cancer. A single centre experience.* / S. From, A. Rottenfusser, D. Berger et al. // *Rad Oncol.* — 2007. — Vol. 41, N 3. — P. 133–143.
18. *Овчинников В. А.* Современные методы лучевого лечения онкологических больных / В. А. Овчинников, К. Н. Угляница, В. Н. Волков // *Журн. Гроднен. гос. мед. ун-та.* — 2010. — Т. 29, вып. 1. — С. 93–97.
19. *Ball D.* Stereotactic radiotherapy for non-small cell lung cancer / D. Ball // *Curr. Opin. Pulm. Med.* — 2008. — Vol. 14, N 4. — P. 297–302.
20. *Cox J. D.* Image-Guided Radiotherapy of Lung Cancer / J. D. Cox, J. Y. Chang, R. Komaki. — Informa Healthcare : USA, 2008. — 173 p.
21. *Sura S.* Intensity-modulated radiation therapy (IMRT) for inoperable non-small cell lung cancer: the Memorial Sloan-Kettering Cancer Center (MSKCC) experience / S. Sura, V.Gupta, E. Yorke, A. Jackson et al. // *Radiother. Oncol.* — 2008. — Vol. 87, N 1. — P. 17–23.
22. *Extracranial stereotactic radiotherapy for lung metastases: Phase I/II st of the RTOG trial* / D. Brian et al. // *J. Clin. Oncol.* — 2009. — N 10. — P. 201–206.
23. *Stereotactic body radiotherapy for early-stage non-small cell lung cancer: clinical outcomes from a National Patient Registry* / J. N. Davis., C. Medbery III, S. Sharma, D. Perry et al. // *J. Radiat. Oncol.* — 2015. — Vol. 4, Suppl. 1. — P. 55–63.
24. *Results of a phase I dose escalation study using three-dimensional conformal radiotherapy in the treatment of inoperable non-small lung carcinoma* / K. E. Rosenzweig, J. L. Fox, E. Yorce, H. Amols et al. // *Cancer.* — 2005. — Vol. 103, N 10. — P. 2118–2127.
25. *Артемова Н. А.* Зависимость результатов лечения больных раком легкого от дозы лучевой терапии / Н. А. Артемова // *Мед. новости.* — 2008. — № 12. — С. 13–16.
26. *Результаты применения режима ускоренного гиперфракционирования в лечении немелкоклеточного рака легкого* / Ю. С. Мардынский, И. А. Гулидов, И. Н. Иванова и др. // *Сиб. онкол. журн.* — 2010. — № 2. — С. 11–14.
27. *Ткачев С. И.* Современные возможности лучевой терапии злокачественных новообразований / С. И. Ткачев, М. И. Нечушкин, Т. В. Юрьева // *Вестн. РАМН.* — 2011. — № 12. — С. 34–40.
28. *Аникеева О. Ю.* Методика высокодозной гипофракционной стереотаксической лучевой терапии для злокачественных опухолей легкого / О. Ю. Аникеева, Е. А. Самойлов, П. В. Филатов, О. А. Рашковская // *Патология кровообращения и кардиохирургия.* — 2012. — № 3. — С. 61–66.
29. *Accelerated hypofractionated radiotherapy for early stage non-small cell lung cancer: from result* / H. Soliman, P. Cheug, L. Yeung et al. // *Int. J. Rad. Oncol. Biol. Phys.* — 2011. — Vol. 79. — P. 459–465.
30. *Phase I study of accelerated conformal radiotherapy for stage I non-small cell lung cancer in patients with pulmonary dysfunction: CALGB 39904* / J. A. Bogart, L. Hodysen, S. L. Seargen et al. // *J. Clin. Oncol.* — 2010. — Vol. 28. — P. 202–206.
31. *Лучевая терапия при мелкоклеточном раке легкого: эволюция, современное состояние, перспективы* / Ю.В. Скрипчак, Г.В. Кононова, С.М. Асахин, М.Л. Левит и др. // *Сиб. онкол. журн.* — 2011. — № 6. — С. 74–82.
32. *Аникеева О. Ю.* Стереотаксическая конформная лучевая терапия злокачественных опухолей легкого у больных с сердечно-сосудистой патологией / О. Ю. Аникеева, Е. С. Половников, И. В. Бедный, П. В. Филатов // *Онкохирургия.* — 2012. — Т. 4, № 3. — С. 21–28.
33. *Stereotactic body radiation therapy for early non-small cell lung cancer* / F. Zimmerman, J. Wulf, I. Lax, Y. Nagata et al. // *Front. Radiat. Ther. Oncol.* — 2010. — Vol. 42. — P. 94–114.
34. *Підходи до планування та лікування онкологічних хворих на сучасних високоенергетичних апаратах* / В. С. Іванкова, Т. В. Хруленко, Г. М. Шевченко, Т. В. Скоморохова та ін. // *Променева діагностика, променева терапія.* — 2012. — № 4. — С. 54–56.
35. *Мечев Д. С.* Значення сучасної передпроменевої підготовки для проведення конформної радіотерапії / Д. С. Мечев, Ю. М. Гаркуша, В. П. Івчук // *Сучас. мед. технології.* — 2011. — № 1. — С. 88–93.
36. *Паньшин Г. А.* Основные этапы развития методов лучевой терапии и современная подготовка онкологических больных к проведению конформного облучения / Г. А. Паньшин // *Вестн. Рос. науч. центра рентгенрадиологии Минздрава России.* — 2012. — Т. 4, № 12. — С. 45–50.
37. *Артемова Н. А.* Предлучевая подготовка с использованием объемного планирования. / Н. А. Артемова, И. И. Минайло, А. Г. Страх // *Контроль качества лучевой терапии и лучевой диагностики.* — Минск, 2009. — С. 261–270.
38. *Ратнер Т. Г.* Методы симуляции в лучевой терапии злокачественных опухолей. Ч. 5 : Рентгеновский симулятор с функцией компьютерного томографа / Т. Г. Ратнер, В. Г. Сахаровская // *Мед. физика.* — 2010. — № 2. — С. 140.
39. *Тюрин И. Е.* Компьютерная томография органов грудной клетки. — СПб. : Элби, 2003. — 371 с.
40. *Macapinlac H.* Clinical application for positron emission tomography computed treatment planning / H. Macapinlac // *Semin. Nucl. Med.* — 2008. — Vol. 38. — P. 137–140.

41. Use of PET and PET/CT for radiation therapy planning: IAEA expert report 2006–2007 / J. McManus, U. Nestle, KE. Rosenzweig et al. // *Radiother. Oncol.* — 2008. — Vol. 91, N 1. — P. 85–94.
42. *Ruysscher D. D.* PET scans in radiotherapy planning of lung cancer / D. D. Ruysscher, U. Nestle, M. Mac Manus // *Lung. Cancer.* — 2012. — Vol. 75, Issue 2. — P. 141–146.
43. *Modeling of Non-Small Cell Lung Cancer Volume Changes during CT-Based Image Guided Radiotherapy: Patterns Observed and Clinical Implications* / H. A. Gay, Q. Q. Taylor, F. Kiriya et al. // *Comp. Mathem. Meth. Med.* — 2013, Article ID 637181, 13p. — <http://dx.doi.org/10.1155/2013/637181>.
44. *Хоружик С. А.* Основы КТ-визуализации. Ч. II : Постпроцессинговая обработка изображений / С. А. Хоружик, А. Н. Михайлов // *Радиология — практика.* — 2011. — № 4. — С. 52–65.
45. *Konert T.* PET/CT imaging for target volume delineation in curative intent radiotherapy of non-small cell lung cancer: IAEA consensus report 2014. DOI. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.radonc.2015.03.014>.
46. *A model for predicting lung cancer response to therapy* / R. M. Seibert, C. R. Ramsey, J. W. Iunes, P. A. Kupelian et al. // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* — 2007. — Vol. 67. — P. 601–609.
47. *Абакумов В. Г.* Базовые методы обработки биомедицинских изображений / В. Г. Абакумов, С. Г. Антошук, В. Н. Крылов // *Электроника и связь.* — 2008. — Темат. вып. «Проблемы электроники», ч. 2. — С. 53–56.
48. *Хоффер М.* Компьютерная томография. Базовое руководство / М. Хоффер. — М. : Мед. лит., 2008. — 208 с.
49. *Особенности планирования лучевой терапии у больных раком легкого с ателектазом* / Н. Ф. Артемова, С. А. Хоружик, И. И. Минайло и др. // *Мед. панорама.* — 2007. — № 5. — С. 28–31.
50. *Investigating the Feasibility of Rapid MRI for Image-Guided Motion Management in Lung Cancer Radiotherapy* / A. Savant, P. Keall, K. B. Pauly, M. Alley et al. // *Bio. Med. Res. Int.* — 2014, Article ID 485067, 6pp. — <http://dx.doi.org/10.1155/2014/485067>.
51. *Computer-Aided Diagnosis Systems for Lung Cancer: Challenges and Methodologies* / A. El-Baz, GM. Beache, G. Gimel farbs, K. Suzuki et al. // *Int. J. Biomed. Imag.* — 2013. Article ID 94 23 53, 46 pp.
52. *Utilization of PET-CT in target volume delineation for three-dimensional conformal radiotherapy in patients with non-small cell lung cancer and atelectasis* / L-J Vin, X-B Yu, Y-G Ren et al. // *Multidisciplinary Respiratory Med.* — 2013. — Vol. 8, N 1. — P. 21–27.
53. *Filippi AR.* Innovative technologies in thoracic radiation therapy for lung cancer / AR. Filippi, C. Mantovani, U. Ricardi // *Transl. Lung. Cancer. Res.* — 2012. — Vol. 1, N 4. — P. 263–268.
54. *Rolfing T.* Quo Vedis, Atlas-Based Segmentation / T. Rolfing // *Handbook of Biomedical Image Analysis. Vol. III.* — Springer US, 2005. — P. 435–486.
55. *Опыт клинического использования системы автосегментирования для оконтуривания органов грудной клетки* / О. Ю. Аникеева, П. В. Филатов, И. В. Бедный и др. // *Медицина и образование в Сибири (сетевое науч. издание).* — 2013. — № 6.
56. *Roy A. E. F.* Volume definition in radiotherapy planning for lung cancer: how the radiologist can help / A. E. F. Roy, P. Wells // *Cancer. Imaging.* — 2006. — Vol. 6, N 1. — P. 116–123.
57. *Evaluation of active breathing control-moderate dup inspiration breath-hold in definitive non-small cell lung cancer radiotherapy* / O. Sagu, M. Blyzadeoglu, F. Dincoglan et al. // *Neoplasma.* — 2012. — Vol. 59, N 3. — P. 333–340.
58. *Артемова Н. А.* Объемное планирование лучевой терапии / Н. А. Артемова, И. И. Минайло, А. Г. Страх, Е. Ф. Фидарова, Е. А. Казак // *Мед. новости.* — 2005. — № 11. — С. 5–10.
59. *Change in Lung Perfusion Distribution Due to Radiation in Lung Cancer Patients Treated with 3D Conformal Radiation Therapy and Stereotactic Body Radiation* / L. Yin, M. Liu, J. Wu et al. // *World Congress on Medical Physics and Biochemical Engineering, May 26–31, 2012, Beijing.* — China IFMBE Proceedings. 2013.— Vol. 39. — P. 45–47.
60. *Huang K.* Follow-Up of Patients after Stereotactic Radiation for Lung Cancer. A Primer for the Nonradiation Oncologist / K. Huang, D. A. Palma // *J. Thoracic. Oncol.* — 2015. — Vol. 10, N 3. — P. 412–419.
61. *Аникеева О. Ю.* Стереотаксическая конформная лучевая терапия с использованием активного контроля дыхания при лечении немелкоклеточного рака легкого / О.Ю. Аникеева // *Сиб. онкол. журн.* — 2012. — Т. 53, № 5. — С. 48–51.
62. *Hypofractionated radiotherapy tumors with enline cone beam CT quidance and active breating control* / V. Shen, H. Zhang, J. Wang et al. // *Radiat Oncology.* — 2010. — Vol. 19, N 5.
63. *Lung tumor reproducibility with active breath control (ABC) in image-guided radiotherapy based on cone-beam computed tomography with two registration methods* / X. Wang, R. Zhong, S. Bai et al. // *Radiat. and Oncol.* — 2011. — Vol. 99, Issue 2. — P. 148–154.
64. *Peguret N.* Breating adapted radiotherapy: a 4D gating software for lung cancer / N. Peguret, J. Vock, V. Vinh-Hung, P. Fenoglietto // *Radiat. Oncol.* — 2011. — Vol. 67. — P. 78.
65. *Shirato H.* Real-time 4-D radiotherapy for lung cancer / H. Shirato, R. Onimaru, M. Ishikawa // *Cancer Sci.* — 2012. — Vol. 103, N 1. — P. 1–6.
66. *Quantification of an External Motion Surrogate for Quality Assurance in Lung Cancer Radiation Therapy* / J. Wölfelschneider, T. Brandt, S. Letmaller et al. // *Bio. Med. Res. Int.* — 2014, Article ID 595430, 8 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/595430>.
67. *Muralidnar K. R.* Advantage of using deep inspiration breath — hold with active breathing control and image-guided radiation therapy for patients treated with lung cancer / K. R. Muralidnar, R. L. Sha, B. K. Rout, P. N. Murthy // *Int. J. Cancer. Ther. Oncol.* — 2015. — Vol. 3, N 2. — P. 1–7.
68. *Deviations in delineated GTV caused by artefacts in 4DCT* / G. F. Persson, D. E. Nygaard, C. Brink et al. // *Rad Oncol.* 2010. — Vol. 96, N. 1. — P. 61–66.

69. *Investigating the Feasibility of Rapid MRI for Image-Guided Motion Management in Lung Cancer Radiotherapy* / A. Savant, P. Keall, K. B. Pauly, M. All ey et al. // *Bio. Med. Res. Int.* — 2014, Article ID 485067, 6pp. — <http://dx.doi.org/10.1155/2014/485067>.

Статья поступила в редакцию 31.05.2016.

Л. Л. ВАСИЛЬЄВ, В. П. СТАРЕНЬКИЙ

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

СУЧАСНІ АСПЕКТИ ПЕРЕДПРОМЕНЕВОЇ ПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ КОНФОРМНОЇ РАДІОТЕРАПІЇ ХВОРИХ НА РАК ЛЕГЕНІ

Резюме. Для вирішення основного завдання променевої терапії (ПТ) — максимальної місцевої девіталізації пухлини при мінімальному променевому навантаженні на критичні органи і тканини — важливого значення набуває якісна передпроменевої підготовка, яка визначає результативність променевого лікування. У представленому огляді узагальнені дані літератури про основні етапи і особливості клінічної топометрії при конформній дистанційній ПТ хворих на рак легені.

Ключові слова: передпроменева топометрична підготовка, рак легені, конформна дистанційна променева терапія.

L.VASILYEV, V. STARENKIY

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

MODERN ASPECTS OF PRE RADIATION THERAPY PREPARATIONS OF PATIENTS WITH LUNG CANCER UNDERGOING CONFORMAL RADIATION THERAPY

Summary. In order to solve the main task of radiation therapy (RT) — maximum local detailed elaboration of tumor with minimal exposure to critical organs and tissues, the qualitative pre radiation therapy preparation which determines the effectiveness of radiation therapy treatment is very essential. The data from literature about main stages and features of clinical topometry during conformal external beam radiation therapy of patients with lung cancer is summarized in the present review.

Keywords: pre radiotherapy topometry planning, lung cancer, conformal external beam radiation therapy.

Контактная информация:

Васильев Леонид Леонидович

руководитель группы клинической топометрии ГУ ИМР НАМН Украины

ул. Пушкинская, 82, г. Харьков, 61024, Украина

тел.: +38 (057) 725-50-30

e-mail: imr@ukr.net