

[Перейти в содержание Вестника РНЦРР МЗ РФ N12](#)

Текущий раздел: **Лучевая терапия**

## **Основные этапы развития методов лучевой терапии и современная подготовка онкологических больных к проведению конформного облучения**

*Паньшин Г.А.*

*ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздравсоцразвития РФ, г.Москва.*

Адрес документа для ссылки: [http://vestnik.ncrr.ru/vestnik/v12/papers/pansh\\_v12.htm](http://vestnik.ncrr.ru/vestnik/v12/papers/pansh_v12.htm)

Статья опубликована: 25 октября 2012 года

### **Контактная информация:**

**Рабочий адрес:** 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, д. 86, ФГБУ «РНЦРР».

Паньшин Георгий Александрович, профессор, руководитель отдела лучевой терапии и комбинированных методов лечения ФГБУ «РНЦРР» Минздравсоцразвития РФ. Тел.: +7 (495) 333-93-41, +7 (915)114-7141. [g.a.panshin@mail.ru](mailto:g.a.panshin@mail.ru)

### **Резюме**

В статье кратко показана современная основополагающая роль лучевой терапии в лечении злокачественных новообразований и применяющиеся на сегодняшний день в клинической практике основные структурные этапы подготовки онкологических больных к реализации конформной лучевой терапии.

***Ключевые слова:** злокачественные новообразования, конформная лучевая терапия, подготовка больных к облучению.*

## **The main stages of the development of methods of radiation therapy, and modern preparation of cancer patients for the conformal irradiation**

*G.A. Panshin*

Federal State Budget Establishment Russian Scientific Center of Roentgenoradiology (RSCRR) of Ministry of Health and Social Development of Russian Federation, Moscow

### **Summary**

The paper briefly illustrates the fundamental role of modern radiotherapy in the treatment of malignant neoplasms and, the main structural stages of the preparation of cancer patients to the implementation of conformal radiotherapy applied to date in clinical practice

*Key words: malignant neoplasms, conformal radiotherapy, the preparation of patients to radiation.*

**Оглавление:**

**Введение**

**Основная часть**

**Выводы**

**Список литературы**

### **Введение**

Общеизвестно, что злокачественные новообразования являются одной из острейших медицинских проблем современности. В настоящее время всё большее количество населения Земли подвергается риску заболеть раком [5, 12]. В условиях резкого ухудшения экологической обстановки и постоянного роста стрессовых воздействий иммунная система человека ослабевает, что приводит к тому, что онкологическими заболеваниями поражаются люди трудоспособного и репродуктивного возраста, а также дети [4].

В последние десятилетия в мире, в том числе и в России, наблюдается медленный (0,5-1,0% в год), но неуклонный рост заболеваемости раком. Онкологические заболевания продолжают занимать первые строки в списке причин преждевременной смерти, причём, как в экономически развитых, так и в отсталых странах [3, 6, 10, 11].

По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) каждый пятый из умирающих на планете погибает именно от рака. При этом если в 1990 г. смертность от рака в мире составила около 6 миллионов человек, то в 2000 г. от рака умерли уже 8 миллионов человек. По прогнозам ВОЗ смертность от злокачественных новообразований имеет угрожающую тенденцию к увеличению и в 2020 г. может составить уже более 12 миллионов человек, превысив, суммарную смертность от туберкулёза, малярии и ВИЧ-инфекции [2, 12, 13, 14].

Более чем вековая история клинического использования ионизирующего излучения в онкологии убедительно доказывает необходимость этого метода в лечении злокачественных новообразований. При этом лучевая терапия при определенных локализациях и стадиях заболевания может являться альтернативой хирургическому лечению [1, 6].

На сегодняшний день развитие технологий применения радиотерапии в онкологии выходит на качественно новый уровень, что позволяет в значительной мере расширить показания, в частности, к органосохраняющим операциям под «защитой» лучевой терапии.

В настоящее время лучевая терапия в наиболее развитых экономических странах применяется у 70-80% всех онкологических больных, как в самостоятельном виде, так и в сочетании с хирургическим и лекарственным лечением в различных вариантах и комбинациях [1, 7].

В историческом плане, затрагивая вопрос о применении ионизирующего излучения в медицине, необходимо отметить, что основные открытия, на которых зиждется современная диагностическая и лечебная радиотерапия, произошли в конце XIX века. Открытия, сделанные в ноябре 1895 г. в Германии Вольфгангом Рентгеном, и последующие работы Анри Беккереля, Марии Складовской-Кюри и Жолио Кюри в марте 1896 и декабре 1898 г.г. служат до сих пор той платформой, на которой выросли такие отрасли медицины, как рентгенодиагностика, компьютерная томография, радиоизотопная диагностика и лучевая терапия. В год открытия X-лучей началось их применение у больных с неонкологическими заболеваниями, а уже через год X-лучи применялись в качестве лечебной процедуры, в частности, у больных раком молочной железы.

За более чем вековую историю применения различных источников ионизирующих излучений в качестве лечебной процедуры возникла и параллельно с ней развивалась и новая отрасль науки – радиобиология. Именно радиобиология помогла внести ясность в те проблемы, которые появились у первых исследователей в виде лучевых дерматитов и язв, оволосения у женщин и других побочных эффектов. С тех пор произошли качественные скачки в радиобиологии, которая на сегодняшний день может объяснить действие ионизирующего излучения не только на целостный организм, его систему или отдельный орган, но и на молекулярном уровне [5].

Благодаря знанию основных радиобиологических законов и положений, появилась возможность прогнозировать вероятность резорбции опухоли после воздействия ионизирующего излучения, возникновения поздних лучевых осложнений, оценить биологическую эффективность дозы излучения с помощью различных математических моделей. Наряду с выдающимися научными достижениями XIX-XX веков параллельно развивалась и инженерная мысль, что сказалось на создании новых поколений медицинской техники, причем, не только для самого лечебного процесса, но и для обеспечения всей технологической цепочки проведения лучевой терапии, включая, как предлучевую подготовку, так и непосредственно сам процесс облучения. На смену

рентгенотерапевтической технике с начала 60-х годов пришли дистанционные гамматерапевтические аппараты. В последующем, начали применяться в медицинских целях электронные, нейтронные, протонные ускорители и генераторы тяжёлых ионов. Были созданы рентгеновские и компьютерно-томографические симуляторы, компьютерные планирующие системы дозного распределения пучка, дозиметрическое оборудование для определения качества лечебного пучка, фиксирующие приспособления. Современная радиология – это сверхсложные, дорогостоящие ядерно-физические комплексы медицинского назначения. Это – ускорительные комплексы с многолепестковыми коллиматорами, на которых возможно проведение облучения с модуляцией интенсивности пучка излучения и визуальным контролем точности проведения каждого сеанса лучевой терапии в режиме реального времени с прецизионной топометрией, дозиметрическим планированием и клинической дозиметрией, гарантирующие качество и конформность облучения; радиационные скальпели («Гамма-нож», «Икс-нож» и «Кибер-нож»); оборудование для рентгеновской, магнитнорезонансной, однофотонной эмиссионной и позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ-центры); центры и отделения ядерной медицины (радионуклидная диагностика и радионуклидная терапия), протонной и ионной терапии, нейтрон-соударной и нейтрон-захватной терапии; органотропные и туморотропные диагностические и терапевтические радиофармпрепараты и т.д. [9].

Появились также качественно новые компьютеризированные аппараты для брахитерапии с низкой и высокой мощностями дозы (источник излучения: йод-125, палладий-103, иридий-192) с наличием аппликаторов для всех основных видов контактной внутрисполостной и внутритканевой лучевой терапии, а также аппараты для рентгенотерапии, оснащенные специальными системами дозиметрического планирования.

Перечисленные технические средства при соответствующем выполнении программы гарантий качества лучевой терапии дали возможность резко повысить ее эффективность, в том числе и за счёт расширения границ показаний к её проведению у онкологических больных с различными формами злокачественных новообразований. В целом, лучевая терапия значительно продвинулась в плане решения основной задачи ее применения – подведения максимума дозы ионизирующего излучения в опухолевый очаг при условии минимального повреждения здоровых тканей.

В настоящее время на этой основе развивается новое направление в лучевой терапии – конформная лучевая терапия (conformal radiotherapy – CRT), которая подразумевает возможность формирования поля облучения, подстраиваемого под точные размеры и

конфигурацию имеющегося опухолевого процесса, именно на который и приходится при ее реализации основная дозовая нагрузка на фоне значительного снижения лучевого воздействия на окружающие органы и ткани.

Дальнейшим развитием конформной лучевой терапии стала лучевая терапия с модулированным по интенсивности пучком излучения (Intensity-Modulated Radiation Therapy - IMRT терапия). Она отличается от конформной лучевой терапии только более усложненным процессом реализации сеанса облучения, при котором, проводя облучение с разных углов, интенсивности пучков ионизирующего излучения могут меняться, благодаря изменению формы многолепесткового коллиматора. При этом с одной стороны расширяются возможности по формированию дозового поля максимально приближенного по форме и конфигурации к запланированному объему облучаемых тканей, но, при этом, с другой стороны значительно усложняются компьютерные расчеты. Последние годы активно развивается новое направление дистанционной конформной лучевой терапии, так называемая 4-х мерная конформная лучевая терапия (4D CRT), или как еще ее называют, лучевая терапия под визуальным контролем (image guided radiotherapy - IGRT). Особенностью ее применения является возможность оперативного получения изображения облучаемых объемов тканей больного при непосредственном проведении сеанса лучевой терапии в реальном временном интервале. При этом фиксируются изменения их конфигурации и локализации, связанные с движением тела больного при дыхании, естественных неконтролируемых процессах в кишечнике и системе мочеиспускания даже при надежной его внешней фиксации. Также при фракционном облучении тучные больные в течение серии облучений могут худеть и, таким образом, способствовать изменению расположения всех органов относительно обозначенных на теле больного реперных точек. Поэтому на современном этапе на медицинских ускорителях активно внедряются устройства оперативного получения изображения облучаемых объемов тканей больного. В качестве устройств изображения могут выступать дополнительные рентгеновские аппараты, трубка которых находится с одной стороны пациента на гэнтри, а устройство получения электронного изображения находится с противоположной стороны, или же различные типы полупроводниковых рентгеночувствительных матриц [1].

Таким образом, несомненным является тот факт, что в настоящее время с развитием технологий и компьютерной техники стало возможным выполнение на линейных ускорителях не только радиотерапевтических процедур, но и стереотаксических методик лучевой терапии, которые могут расцениваться как разновидность неинвазивной хирургии.

[Перейти в оглавление статьи >>>](#)

### **Основная часть**

Основными в развитии лучевой терапии в онкологии в последние нескольких десятилетий являются следующие направления:

1. Широкое использование различных вариантов облучения в комбинации с хирургическим лечением с целью улучшения результатов и расширением возможности выполнения радикальных органосохраняющих, функционально щадящих операций.
2. Ее применение в самостоятельном варианте или в сочетании с противоопухолевыми химиотерапевтическими препаратами в качестве эффективного консервативного радикального или паллиативного лечения злокачественных опухолей.
3. Совершенствование техники и технологии на всех этапах лучевой терапии – предлучевой топометрии, компьютерного планирования и управления процессом облучения, что позволяет осуществить прецизионное облучение мишени и избегать развития серьезных осложнений.

В настоящее время в развитых странах лучевая терапия на всех ее этапах обеспечена современной компьютерной техникой. Наличие при проведении предлучевой топометрии рентгеновского симулятора, компьютерного томографа, возможность использования магнитно-резонансного и позитронного томографов позволяют весьма точно определить границы мишени, подлежащей облучению.

Для выбора оптимальной программы облучения имеются современные компьютерные системы трехмерного дозного планирования. Сам процесс облучения осуществляется с помощью более эффективных и экологически чистых медицинских ускорителей с многолепестковыми коллиматорами, системами компьютерного сопровождения облучения и визуального наблюдения с приспособлениями для стереотаксического и интраоперационного облучения. При этом у них имеется полная совместимость с универсальной системой планирования для расчета сочетанных планов и возможность передачи алфавитно-цифровой, визуальной и дозиметрической информации в общую информационно-управляющую систему всего радиотерапевтического отделения.

Таким образом, современная лучевая терапия представляет собой совокупность высоких технологий, относящихся к наиболее сложным в медицине, позволяющих обеспечить эффективное лечение больных практически со всеми локализациями опухолевого процесса. Такая универсальность лучевых методов лечения достигается путем

использования целого ряда видов, методик и технологий облучения больных. При этом общая технологическая схема проведения лучевой терапии содержит ряд последовательно и параллельно выполняемых процедур.

Первоначально, с использованием клинических, инструментальных (главным образом лучевых) и гистоморфологических методов диагностики устанавливается наличие онкологического заболевания и определяется локализация и распространенность опухолевого процесса, а также оценивается общее состояние, как самого больного, так и его органов и систем. Затем, на основе полученной диагностической информации коллегиально (хирург, радиотерапевт и химиотерапевт) вырабатывается оптимальный для данного больного план лечения.

При принятии решения о проведении лучевой терапии в том или ином виде (самостоятельно или в комбинации с другими видами лечения) разрабатывается подробный план проведения непосредственно лучевой терапии с определением соответствующей клинической цели (радикальная, пред- или послеоперационная, паллиативная, симптоматическая), объема облучаемых тканей, режима фракционирования, курсовой дозы облучения, оптимальной энергии излучения, необходимости и режима использования радиомодификаторов.

При этом предлучевая подготовка состоит из следующих этапов:

- подготовка анатоми-топометрической информации;
- выбор источника и условий облучения;
- практическая реализация выбранной методики лучевой терапии и моделирование процесса облучения; - контроль качества выполнения предлучевой подготовки.

Одним из необходимых условий предлучевой подготовки является фиксация больного для исключения возможности смещения отдельных частей тела или органов при ее выполнении и реализации сеансов лучевой терапии. С этой целью используются различные фиксирующие приспособления: специальные маски из быстротвердеющих веществ при облучении головы и шеи, подголовники, специальные подушки и матрацы, изготавливаемые индивидуально и позволяющие фиксировать тело больного в нужном положении для точного воспроизведения укладки при каждом сеансе облучения. Также при этом является необходимость ее проведения именно в том положении больного, в котором будет, в последующем, осуществляться лучевое лечение. Чаще всего — это положение больного лежа на спине. Во всех других случаях его положение должно быть четко описано при составлении схемы предлучевой подготовки.

С целью дальнейшего улучшения лечебного процесса в настоящее время используются установки, представляющие собой комбинацию линейного ускорителя и компьютерного

томографа с исследованием единого терапевтического поля. Данная конструкция позволяет перед каждым сеансом лучевой терапии обследовать объект облучения на компьютерном томографе с целью уточнения локализации и размера опухоли. В результате ускоряется лечебный процесс и достигается наивысший радиотерапевтический эффект при условии максимальной точности облучения опухоли и минимизации лучевой нагрузки для окружающих опухоль тканей.

Для успешного выполнения программы лучевой терапии необходимым условием является тщательное планирование процесса облучения, составляемое в сотрудничестве врача-радиотерапевта, врача предлучевой подготовки и медицинского физика. При этом эффективное использование современных методов лучевой терапии в онкологии невозможно без применения соответствующего алгоритма ее технологического обеспечения, который включает в себя следующие этапы:

1. Получение полной информации о степени распространения опухолевого процесса для определения необходимого объема лучевого воздействия, которое требует на этапе предлучевой подготовки использование рентгеновского симулятора, данных ультразвукового, компьютерного, магнитно-резонансного, позитронно-эмиссионного и других видов клинических исследований. Вся информация анализируется медицинским физиком вместе с врачом-радиотерапевтом и вводится в ЭВМ. На основании полученных расчетов составляется план лучевого лечения, в котором указываются:
  - линейные размеры, площади и объемы опухоли, органов и анатомических структур;
  - обозначение их в количественных терминах;
  - взаимное расположение опухоли и смежных структур в зоне интереса.
2. Применение системы трехмерного компьютерного дозиметрического планирования сеансов облучения с выбором вида, энергии излучения, способов подведения дозы и созданием программ объемного планирования вместе с рабочей станцией для виртуальной симуляции, заменяющей традиционную технологию моделирования на основе рентгеновского симулятора и по своим возможностям значительно ее превосходящую. При этом на компьютерных томографах получают 3D изображение областей, в которых локализуется опухолевый процесс. Врач обозначает объем облучаемых тканей и критических неповрежденных областей и определяет запланированный оптимальный диапазон доз ионизирующего излучения, который они должны (могут) получить во время

реализации курса лучевой терапии. Далее с помощью мощных компьютерных программ проводится планирование доз (прямое или инверсное), которые получит больной при облучении. При прямом методе планирования задается интенсивность и форма падающих пучков, а полученные дозы симулируются с помощью численных алгоритмов. Путем последовательного перебора и приближения подбирают вручную или полуавтоматически такие характеристики пучков, при которых распределение дозовых полей будет максимально приближаться к заданному плану проведения лучевой терапии. При инверсном планировании врачом задается желаемое распределение доз, а программный алгоритм самостоятельно (или с ограниченной помощью врача) находит решение с определением оптимальных характеристик пучков. Инверсное планирование более удобно и эффективно, но сложнее с точки зрения математической реализации, потому такие методы стали появляться несколько позже, после достижения современными компьютерами достаточной мощности. После этого проводится симуляционное планирование с определением изоцентра опухоли, а также опорных точек, геометрии пучка, позиций линейного ускорителя и многолепесткового коллиматора и, в целом, осуществляется построение 3D модели опухоли и прилежащих органов и структур. Завершающим этапом является изготовление топометрических карт и с помощью виртуальной симуляции сеанса запланированного курса лучевой терапии на поверхности тела больного обозначаются ориентиры (реперные точки), необходимые для совмещения системы координат томографических изображений и линейного ускорителя. Такое совмещение облегчается тем, что и в современных специализированных томографах и на линейных ускорителях используют высокоточные системы лазерного и механического позиционирования, которые обеспечивают точность ежедневной укладки больного, не превышающей 1,5-2 мм.

3. Многократная верификация зоны облучения до начала и в процессе лучевого лечения в прямом пучке, позволяющая совмещать изображение с данными диагностических исследований и постоянно корректировать его в зависимости от клинической ситуации. В целом, тщательное выполнение всех этапов предлучевой подготовки больного и многоступенчатый контроль ее качества во многом определяют эффективность лучевой терапии.
4. Использование современных линейных ускорителей электронов с различной энергией электронного и фотонного пучков излучения (4-25 МэВ) с наличием многолепесткового коллиматора, позволяющего выполнять программы

конформного облучения с модуляцией интенсивности, а также современных аппаратов контактной лучевой терапии.

5. Применение высокоточного однократного неинвазивного радиохирургического или гиподифракционного метода лучевого воздействия (Гамма-нож, Кибер-нож, X-нож).
6. Использование перспективных источников адронной лучевой терапии (протоны, нейтроны, пи-мезоны), позволяющих эффективно лечить, как злокачественные, так и доброкачественные новообразования малых и сверхмалых размеров, проводить облучение опухолей, расположенных в непосредственной близости к критическим органам и структурам, и успешно воздействовать на их радиорезистентные формы.
7. Использование фиксирующих приспособлений и устройств для точного соблюдения ежедневной индивидуальной воспроизводимости укладок пациентов в процессе проведения курса лучевой терапии.
8. Использование комплекта приспособлений для отливки индивидуальных защитных электронных и фотонных блоков, получаемых с помощью необходимых аппаратных средств.
9. Использование компьютерной радиологической сети, позволяющей передавать информацию последовательно по этапам подготовки к облучению до его осуществления, исключая ошибки, связанные с человеческим фактором. Данная компьютерная система с необходимым количеством серверов, рабочих станций и прочего сетевого оборудования, объединяющая всю радиотерапевтическую аппаратуру и аппаратуру для предлучевой подготовки, обеспечивает ввод, просмотр, обработку и хранение данных о всех больных, проходящих лечение в отделении лучевой терапии и позволяет в кратчайший срок представить:
  - административные данные;
  - диагностические и клинические данные, в том числе визуальные;
  - исходные топометрические и разметочные данные;
  - дозиметрические данные о выбранном плане лечения (изодозное распределение и т.п.);
  - установочные данные для радиотерапевтической аппаратуры с указанием размеров всех полей и всех сеансов облучения (с возможностью автоматической настройки аппаратов).

При этом, вся перечисленная информация должна быть доступна в процедурных ускорителях, симуляторах, на системе дозиметрического планирования, а также на рабочих

станциях, установленных в кабинетах врачей и медицинских физиков. В целом, эта система обеспечивает лучевую терапию как единый технологический процесс. Современный анализ работы радиологических центров показывает, что на сегодняшний день фактический рост эффективности лучевой терапии намного меньше потенциально возможного. Одна из причин этого заключается в том, что существующие в этой области научно-технические возможности используются не полностью из-за множества погрешностей, объективных и субъективных ошибок. В связи с этим, все острее встает вопрос о гарантии качества лучевого лечения. По определению ВОЗ, гарантия качества в лучевой терапии должна обеспечивать подведение запланированной дозы к объему мишени при минимальном облучении здоровых тканей, мониторинг дозы определения окончания процедуры и минимальное облучение персонала [11, 12, 13, 14].

[Перейти в оглавление статьи >>>>](#)

### **Выводы**

В целом, лучевая терапия в настоящее время, несомненно, является перспективной и динамично развивающейся отраслью клинической медицины, занимающейся как комбинированным и комплексным, так и радикальным и паллиативным лечением одной из наиболее сложных категорий больных, страдающих злокачественными новообразованиями. При этом для реального исполнения запланированного плана оптимального варианта конформной лучевой терапии чрезмерно важным фактором является реализация в полном объеме всех необходимых компонентов слаженной технологической цепочки, каждый элемент которой не может быть изъят без существенной потери при этом, в конечном итоге, качества проведенного облучения и снижения, в целом, эффективности лечения.

[Перейти в оглавление статьи >>>>](#)

### **Список литературы:**

1. Всесторонние аудиты практики лучевой терапии: средство для повышения качества. Группа аудита обеспечения качества в радиационной онкологии (КВАТРО). Международное агентство по атомной энергии. Вена. 2008 г.
2. Всемирная организация здравоохранения. Прогноз, заболеваемость, смертность заболеваний. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/ru/index.html> (Дата обращения 21.08.2012)

3. Заболеваемость, распространение и смертность при раке.// URL:  
<http://mnogoboleznei.ru/index.php/opuholia/zabrasprostirak> (Дата обращения 10.08.2012)
4. Злокачественные новообразования в России в 2010 году (заболеваемость и смертность) под редакцией В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой, Москва 2012
5. *Лебедеенко И. М.* Клинико-дозиметрическое обеспечение гарантии качества лучевой терапии онкологических больных: Дисс. докт. биол. наук. Москва. 2005. 257 с.
6. *Мардынский Ю.С., Гулидов И.А.* Лучевая терапия сегодня и завтра // URL:  
<http://www.netoncology.ru/view.php?id=1040>. (Дата обращения 03.05.2012)
7. Материалы Европейской Федерации Организаций по Медицинской Физике (программные документы). Гарантия качества в лучевой терапии: важность количества специалистов по медицинской физике. // Медицинская физика, №3, 1996г., С. 16-20.
8. Мировая статистика здравоохранения 2010 года. // URL:[http://www.who.int/whosis/whostat/RU\\_WHS10\\_Full.pdf](http://www.who.int/whosis/whostat/RU_WHS10_Full.pdf) (Дата обращения 10.08.2012)
9. *Москвина Н.А.* Оптимизация режимов облучения при лучевой терапии. Дисс. канд. физ. мат. наук. / Иркутск. 2004. 149 с.
10. Статистика заболеваемости онкологическими заболеваниями // The Lancet, 01.06.2012, doi:10.1016/S1470-2045(12)70211-5
11. *Харченко В. П.* Проблемы и перспективы развития лучевой терапии в Российской Федерации.// Итоговая коллегия министерства Здравоохранения России. Москва, 17 марта 2003 г.
12. GLOBOCAN 2008 (IARC) Section of Cancer Information (29/8/2012).
13. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data // Atlas of health in Europe/2nd edition 2008.
14. World Health Organization and International Union Against Cancer, 2005. Global Action Against Cancer - Updated version.

[Перейти в оглавление статьи >>>](#)

ISSN 1999-7264

© [Вестник РНЦПР Минздрава России](#)

© [Российский научный центр рентгенодиагностики Минздрава России](#)