

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИКСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

И.М. Лебеденко

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии
им. Н.Н. Блохина” Минздрава РФ, Москва

Рассмотрены принципы применения фиксирующих устройств (ФУ) для иммобилизации пациентов при лучевой терапии. На практике в определенных ситуациях не соблюдается одинаковость условий предлучевой подготовки и лучевого лечения. Используются разные подголовники, не воспроизводятся углы наклона элементов комплектов для позиционирования. Применение ФУ минимизирует погрешности, обусловленные движением органов пациента, но даже при наличии ФУ имеют место внутри- и межфракционные смещения мишени, которые регистрируются с помощью различных средств визуализации. В случае несоблюдения этих правил возникают выраженные деформации дозового распределения и погрешности в подведении дозы. Несмотря на высокую надежность ФУ, по истечении определенного срока эксплуатации и износа крепежей требуется их обновление.

Ключевые слова: *лучевая терапия, иммобилизация, фиксирующие устройства*

Введение

Несмотря на интенсификацию образовательных программ для всех категорий персонала лучевой терапии (врачей и технологов), в настоящее время по-прежнему при проведении лучевой терапии (ЛТ) не всегда соблюдается одинаковость условий предлучевой подготовки и лечения. Допускаются грубейшие ошибки при укладке больных и применении фиксирующих устройств (ФУ) на терапевтическом столе ускорителя. В связи с этим мы решили еще раз сконцентрировать внимание специалистов, работающих в области ЛТ, на необходимости абсолютной одинаковости “условий планирования и лечения” онкологических больных с использованием ФУ.

Одним из факторов, обеспечивающим точность дозирования, является неподвижность облучаемой области в процессе ЛТ, что достигается путем использования средств иммобилизации. ФУ обеспечивают неподвижность костных структур и мягких тканей, окру-

жающих патологический очаг, позволяют вывести из зоны облучения критические органы и обеспечить воспроизводимость укладок. Главной задачей использования устройств иммобилизации является ограничение движения пациента и уменьшение вероятности возникновения ошибок укладки в лечебное положение. Кроме того, эти устройства позволяют сократить время ежедневной укладки пациента, установить однозначное соответствие между внешними кожными метками и внутренними анатомическими структурами.

К основным требованиям, предъявляемым к ФУ и широко применяемым платформам для укладки больных во время сеанса ЛТ, можно отнести точность, жесткость и надежность. Для повышения точности отверстия направляющих втулок ФУ обычно имеют малоразмерный зазор в пределах 8–10 мкм. В отдельных случаях для направления фиксирующих элементов используют опоры качения и гидростатические опоры фиксирующего узла, что

уменьшает влияние сил трения на точность фиксации. Одним из распространенных способов повышения точности является использование двойной фиксации, при которой один из фиксаторов служит упором, а другой доводит фиксируемый узел до точного положения, определяемого первым упором. Но, несмотря на высокие требования к надежности ФУ, по истечении определенного срока эксплуатации и износа крепежей требуется обновление комплектации.

Условия предлучевой подготовки больного и лучевого лечения ФУ должны совпадать. Несовпадение условий приводит к грубейшим ошибкам и лучевым осложнениям. Так, в работах [1] показано, что при несоблюдении идентичности условий разметки и лечения больных с опухолями в области головы-шеи кожный ориентир точки дозирования смещается от 0,5 до 1,0 см и более. Это приводит к изменению поглощенной дозы на уровне мягкого неба в 1,5–2 раза при локальном облучении опухоли носоглотки, что является одной из причин невозможности реализации рассчитанного дозового плана. В более поздних детальных исследованиях показана необходимость оконтуривания и учета ФУ при подготовке и планировании облучения [2]. В случае несоблюдения этих правил можно наблюдать выраженную деформацию дозового распределения и ошибки в подведении дозы. Целесообразно отметить также, что одного только наличия ФУ и процедуры их оконтуривания недостаточно для абсолютно точного воспроизведения положения мишени. ФУ минимизирует погрешность, обусловленную движением органов пациента, но даже при наличии ФУ имеют место интра- и интерфракционные смещения мишени, которые регистрируются с помощью различных средств визуализации и могут быть скомпенсированы с использованием несложных математических вычислений [3, 4].

При подготовке больного к лучевой терапии и реализации плана облучения должны использоваться абсолютно одинаковые устройства с одинаковыми размерами и углами наклона. Это означает, что количество покупаемых комплектов фиксирующих приспособлений определяется не только количеством терапевтических аппаратов, ускорителей электронов и гамма-аппаратов. Точно такие же комплекты должны быть приобретены для симуляторов, рентгеновских КТ и МР-сканеров, используемых на этапе предлучевой подготовки

онкологических больных. Аппараты КТ и МРТ, которые используются для проведения предлучевой подготовки, должны иметь апертуру не менее 80 см для возможности размещения больного в любом положении на ФУ. Кроме того, на этапе подготовки больного к ЛТ все номера подголовников, размеры углов наклона платформ для укладки больных, фиксирующие маски должны быть идентифицированы с тем больным, для которого они обозначены, либо в истории болезни, либо в специальном протоколе, и должны сопровождать пациента в процессе всего курса лечения. Это необходимо для того, чтобы реализация плана облучения пациента осуществлялась в условиях, идентичных условиям визуализации и навигации.

Материал и методы

Первые подголовники для фиксации головы пациентов при проведении ЛТ в нашей клинике были изготовлены в 1992 г. по образцам (плоским профилям) компании Orfit Raycast (Бельгия) (рис. 1). Каждый из шести изготовленных комплектов включал шесть подголовников с различными геометрическими характеристиками и собственным физическим углом α (рис. 2), высотой подзатылочной его части, глубиной выемки для головы, изготовленных из рентгенопрозрачного материала (пенопласта) и закрепленных на деревянной подложке. Фиксация головы осуществлялась с помощью ленты Велькро, накладываемой на лоб и подбородок больного – крепление типа “уздечка” (рис. 1б).

На этапе внедрения первых ФУ совместно с врачом-рентгенологом В.Г. Сахаровской были проведены исследования зависимостей изменения углов наклона костных структур, а именно: угла наклона черепа, угла наклона нижней челюсти, угла изгиба позвоночника в зависимости от физических параметров подголовников по 130 боковым рентгеновским снимкам для 35 пациентов, для чего в процессе предлучевой подготовки каждый пациент укладывался на каждый из шести подголовников для получения соответствующего рентгеновского снимка (рис. 2а).

По рентгеновским изображениям на каждом ФУ определены углы наклона указанных костных структур для пациентов с опухолями носоглотки, ротоглотки, гортаноглотки, верхней челюсти и лимфоузлов шеи. Схема по-

строения углов наклона костных структур в положении больного на ФУ приведена на рис. 2. Введены следующие обозначения: β – угол наклона черепа – это угол наклона линии, проходящей через дно турецкого седла и центральную точку наружного слухового прохода, к уровню горизонтали; γ – угол наклона нижней челюсти – это угол между проекционной линией горизонтальной ветви нижней челюсти и той же горизонталью; δ – угол изгиба позвоночника – это угол наклона линии, проведенной через проекционные точки верхне-задних углов второго и четвертого шейных позвонков, к линии той же горизонтали; α – физический угол подголовника – это угол между горизонталью, на которой лежит подголовник, и прямой, продолжающей индивидуальный изгиб подголовника.

Результаты

На рис. 3 показаны зависимости углов наклона черепа и углов изгиба позвоночника от угла α для трех больных. Из представленного графика видно, что при расположении пациента на различных подголовниках углы изгиба позвоночника и углы наклона черепа (или углы разгибания головы) коррелируют с углом α .

Кроме того, графики хорошо иллюстрируют типичную ошибку укладки пациента с разными углами α на этапах предлучевой под-

готовки и лечения. Предположим, топометрическая подготовка к лечению осуществлялась на подголовнике № 1 с максимальным углом 38° , а лечение ошибочно проведено на подголовнике № 6 с минимальным углом 18° . При таком сценарии угол изгиба позвоночника больного Т. уменьшился от 190° до 178° , а угол разгибания головы изменился от 138° до 110° . Угол изгиба позвоночника больного Ф. уменьшился от 128° до 112° , а угол разгибания голо-

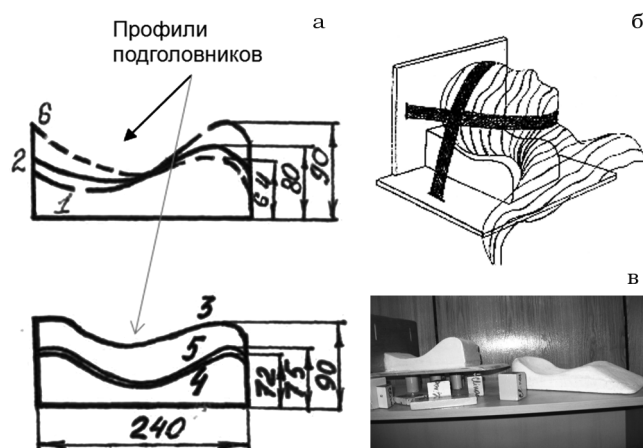
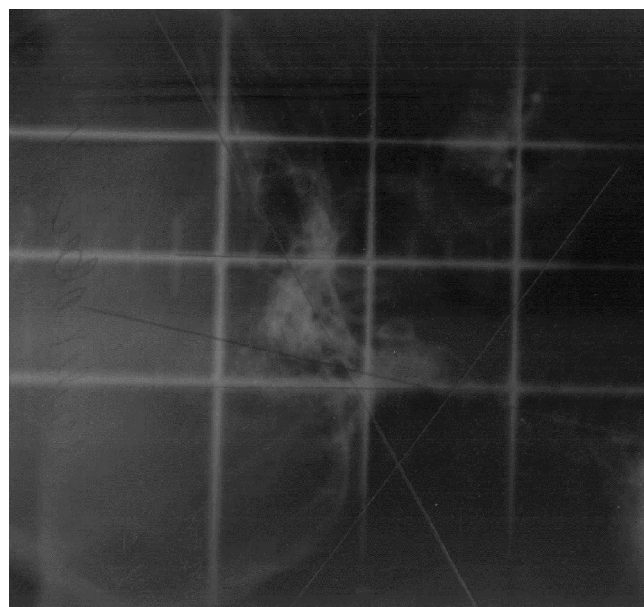


Рис. 1. Первые подголовники для фиксации головы пациентов при проведении ЛТ: а – профили подголовников, б – положение головы на подголовнике ФУ, в – общий вид ФУ

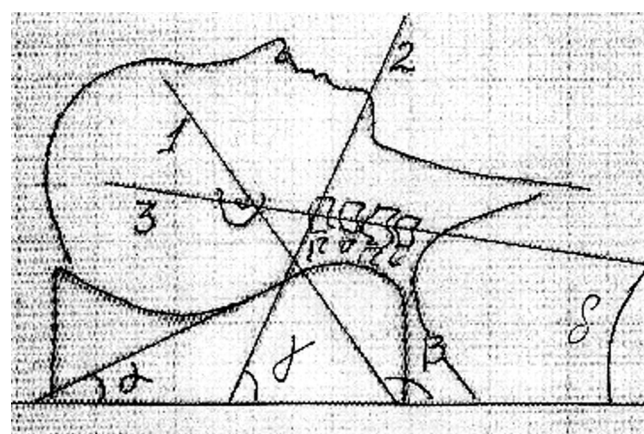


Рис. 2. Схема построения углов наклона костных структур головы в положении на подголовнике: а – на рентгеновском снимке, б – на рисунке, где α – физический угол подголовника, β – угол наклона черепа (прямая 1), γ – угол наклона нижней челюсти (прямая 2), δ – угол изгиба позвоночника (прямая 3) расположен за границами рисунка

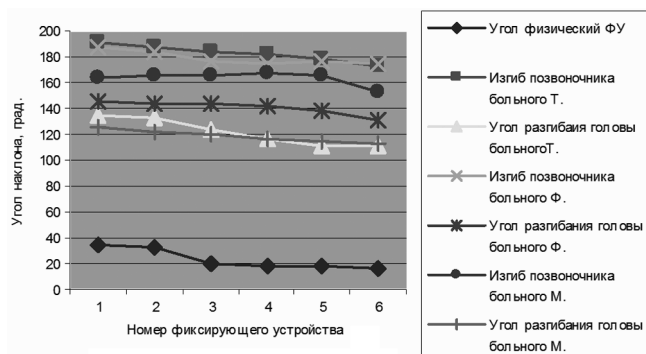


Рис. 3. Зависимость углов наклона черепа и углов изгиба позвоночника от угла подголовника α для трех больных. Угол ФУ α уменьшается по мере увеличения номера ФУ



Рис. 4. Устройство, служащее для укладки грудной клетки и молочной железы с наклонной декой Posiboard

вы – от 142° до 130° . Угол изгиба позвоночника больного М. уменьшился от 162° до 152° , а угол разгибания головы – от 125° до 115° . Из графика видно (рис. 3), что несовпадение условий подготовки и лечения приводит к уменьшению угла изгиба позвоночника от 22 до 10° , угла разгибания головы – от 18 до 10° . При несовпадении указанных углов каждый ориентир опухоли в области головы и шеи смещается до 1,5 см, а отклонение подводимой дозы к опухоли по отношению к запланированной дозе при высокоточных технологиях в такой ситуации может достигать до 20–30 % и более.

Представленные наблюдения подтверждают необходимость тщательного контроля со стороны персонала за соблюдением идентичности ФУ при подготовке и проведении ЛТ.

В настоящее время выбор фиксирующих устройств очень широк. Для иммобилизации пациентов, получающих облучение области головы, шеи или головного мозга, а также для фиксации таза и грудной клетки часто используют термопластические материалы, которые становятся мягкими в теплой воде и формируются по форме тела пациента. Используются вакуумные матрасы или фиксирующие пакеты в полуспушенном состоянии, заполненные полистироловыми шариками. После того, как моделируется лечебное положение пациента, воздух из пакета удаляется вакуумным компрессором, и форма пакета становится жесткой.

Закупки различных комплектов ФУ в период полного переоснащения радиологического отделения в нашей клинике в двухтысячные годы способствовали дальнейшему повышению точности укладок больных при проведении высокоточной ЛТ (технологии IMRT, RapidArc, облучение с синхронизацией по дыханию, стереотаксическое облучение). Были приобретены ФУ для грудной клетки и молочной железы Posiboard (рис. 4), подголовники, термопластичные маски, вакуумные матрасы и т.д.

Платформа Posiboard – это ФУ для грудной клетки и молочной железы с наклонной декой, на которую можно уложить больного под 8 разными углами к плоскости стола. Выполнено из легкого пенопласта, покрытого тонким слоем углеродсодержащего волокна, который практически не поглощает излучение и создает минимальный эффект накопления дозы. Разные ФУ для руки обеспечивают комфортность и воспроизводимость положения руки, несмотря на ограничение в ее изгибе. “Стопор деки” (bottom stop) не позволяет телу больного соскальзывать с наклонной панели при длительном лежании на столе. Для положения больного на платформе Posiboard дозиметрия *in vivo* с помощью полупроводниковых детекторов показала, что чем больше частей тела пациента поддерживается и фиксируется, а именно: голова, руки, спина, ноги, пятки и т.д., тем выше воспроизводимость укладок, тем выше точность подведения дозы.

Целесообразно напомнить, что ФУ является как поглотителем излучения, так и источником вторичного излучения. Это означает,

что кроме прямого терапевтического пучка верхние слои кожного покрова человека (глубина до 1 мм) подвержены воздействию “загрязняющих” вторичных электронов, которые образуются в конструктивных элементах головки ускорителя, в воздухе, в деке стола, непосредственно в ФУ, в котором располагается пациент. Поглощенная в кожном покрове доза при наличии ФУ увеличивается с увеличением размера поля, энергии излучения (при больших размерах полей), уменьшением зазора между устройством иммобилизации и кожей пациента, косом падении пучка и т.д. Все перечисленные факторы заставляют физиков возвращаться к оценкам доз, поглощенных в различных элементах фиксирующих устройств [2], что связано с необходимостью их учета при планировании облучения. Последнее достигается обязательным включением ФУ в структуру оконтуривания тела пациента при расчете на системе планирования. В случае несоблюдения этих правил можно получить выраженную деформацию дозового распределения и ошибки в подведении дозы.

Обсуждение

Как отмечено выше, только наличия ФУ и процедуры оконтуривания недостаточно для абсолютно точного воспроизведения положения мишени. ФУ позволяет снизить погрешность, обусловленную движением органов пациента, но даже при наличии ФУ имеют место интра- и интерфракционные смещения мишени. Они могут быть зарегистрированы с помощью различных устройств визуализации, которыми снабжаются ускорители двух ведущих компаний производителей Varian (США) и Elekta (Великобритания), и других устройств, если речь идет о специализированных ускорителях [3, 4].

Ряд работ посвящен исследованию точности позиционирования пациента при использовании различных систем иммобилизации, оценке интер- и интрафракционных смещений мишени [5–9]. В работе [5] средствами КТ с коническим пучком (СВСТ) исследованы интерфракционные смещения при использовании термопластичных масок MEDTEC S-типа для фиксации головы. Установлено, что смещения составили $0,5 \pm 1,5$, $-0,3 \pm 2,0$ и $0,3 \pm 1,7$ мм в боковом, продольном и передне-заднем направлении соответственно. Высокая стабильность

позиционирования мишени была получена в работе [6] для масок типа Raycast-HP фирмы Orfit: смещения составили $0,75 \pm 0,6$, $0,93 \pm 0,78$ и $0,74 \pm 0,53$ мм соответственно в указанных выше направлениях, а медианный и средний векторы смещения были равны 1,28 и 1,59 мм. В исследовании [7] трех типов масок Posifix с фиксацией только головы или головы и плеч было показано, что случайная и систематическая погрешности положения мишени близки между собой и составляют 1,8 мм в области головы и 2,8 мм в области плеч. В работе [8] при стереотаксическом облучении с фиксацией масками ScotchCast Plus было получено среднее смещение изоцентра 1,8 мм при среднеквадратичном отклонении 1,4 мм. Близкие значения получены и в работе [9] для масок типа ScotchCast: средние смещения были равны $0,35 \pm 0,41$, $1,22 \pm 0,25$ и $-0,74 \pm 0,32$ мм в боковом, передне-заднем и продольном направлении, а общая погрешность положения мишени была равна $1,80 \pm 0,60$ мм.

В работе [3] оценены межфракционные смещения мишени при проведении ЛТ с использованием масок Q-Fix на ускорителях TrueBeam и UNIQUE с визуализацией мишени с помощью СВСТ и пары мегавольтных портальных изображений соответственно. Исследованы 78 пациентов с локализацией мишени в голове и 62 пациента с опухолью предстательной железы. Систематическая и случайная компоненты погрешности позиционирования мишени составили $0,6 \pm 0,7$ и $0,7 \pm 0,9$ мм соответственно при облучении опухолей головы. При облучении предстательной железы они составили $1,5 \pm 2,6$, $4,2 \pm 4,4$, $3,4 \pm 5,5$ мм в данных выше направлениях соответственно. Смещения, полученные на рентгеновских снимках и изображениях в мегавольтном пучке непосредственно на терапевтическом столе ускорителя, авторы предлагают компенсировать с использованием математических вычислений и отступов при преобразовании СТВ в РТВ, которые составили 2,1–3,9 мм для головы и 5,6–13,6 мм для простаты.

Использование ФУ при стереотаксическом облучении – это малая доля тех мероприятий, которые применяются при реализации этой технологии для прецизионного облучения опухолей в области головы и шеи, что связано, прежде всего, с подведением за одну фракцию существенно больших доз к опухоли. На этапе подготовки больного к стереотаксическому облучению кроме внеплановых калибровок

ускорителя и специальных изоцентрических проверок ускорителя по методике Winston-Lutz, необходимых для точной укладки пациента, должны быть также проведены предтерапевтические проверки плана облучения с помощью матриц детекторов и точечных измерений [10].

Фиксирующие маски многослойны, кроме этого используется загубник, встроенный в стереотаксическую рамку. Маски в комплекте со стереотаксической рамкой являются необходимым, но не достаточным условием точной укладки больного. Во время процедуры облучения через равные промежутки осуществляется контроль положения опухоли рентгеновскими перекрестными системами наведения и коррекции положения пучка в режиме on line.

Заключение

Резюмируя все вышесказанное, можно сформулировать основные принципы использования фиксирующих устройств.

1. Фиксирующие устройства предназначены для минимизации ошибок подведения дозы, выведения критических органов из зоны облучения, повышения воспроизводимости укладок.
2. Комплектов ФУ должно быть столько, сколько используется единиц техники, начиная с этапа предлучевой подготовки. Аппараты КТ и МРТ, которые используются для проведения предлучевой подготовки, должны иметь апертуру не менее 80 см для возможности размещения больного на фиксирующем устройстве.
3. При подготовке больного к лучевой терапии и при реализации плана облучения должны использоваться абсолютно одинаковые устройства с одинаковыми параметрами, номерами и размерами углов. На этапе подготовки больного все номера подголовников, размеры углов наклона платформ для укладки больных, фиксирующие маски данного больного должны быть идентифицированы с тем больным, для которого они будут использованы либо в истории болезни, либо в специальном протоколе, и должны сопровождать пациента в процессе всего курса лечения.
5. На этапе предлучевой подготовки и планирования все устройства должны быть оговорены, что позволяет учитывать геометри-

ческие и плотностные характеристики ФУ при планировании облучения. В случае несоблюдения этих правил наблюдается выраженная деформация дозового распределения, что приводит к ошибкам в подведении дозы.

7. Использование фиксирующих устройств в условиях высокоточных технологий ЛТ является необходимым, но не достаточным условием точной реализации планов. Оно должно быть дополнено предтерапевтическим рентгеновским контролем положения больного на терапевтическом столе, либо получением изображений во время облучения. Такими устройствами снабжены ускорители ведущих компаний изготовителей Varian, Elekta.
8. Устройство «стереотаксическая рамка» при стереотаксическом облучении является необходимым, но не достаточным условием точной укладки больного. Контроль положения опухоли во время процедуры стереотаксического облучения обеспечивается специальными рентгеновскими перекрестными системами наведения и коррекции положения пучка в режиме on line.
9. Необходимо проведение собственных дозиметрических исследований комплектов используемых ФУ для оценок поглощения в них дозы.
10. По истечении определенного срока эксплуатации и износа крепежей ФУ требуется их обновление.

Список литературы

1. Лебеденко И.М. Проведение дозиметрического контроля при использовании средств иммобилизации // Мед. радиология. 1990. Т. 35. № 8. С. 2–14.
2. Изменение дозы, вызванное декой стола и фиксирующими устройствами. Доклад AAPM № 176 // Мед. физика. 2015. № 2(66), С.74–99. № 3(67). С. 88–101.
3. Смыслов А.Ю., Васильев В.Н., Дыкина А.В., Коконцев А.А. Оценка точности позиционирования мишени при ЛТ с использованием термопластиковых масок // Мед. физика. 2018. № 2(78). С. 53–61.
4. On Target: Ensuring Geometric Accuracy in Radiotherapy. – The Royal College of Radiologist. London. 2008.

5. Qi X.S., Hu A.Y., Lee S.P. et al. Assessment of interfraction patient setup for head-and-neck cancer intensity modulated radiation therapy using multiple computed tomography-based image guidance // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2013. Vol. 86. № 3. P. 432–439.
6. Fuss M., Salter B.J., Cheek D. et al. Repositioning accuracy of a commercially available thermoplastic mask system // *Radiother. Oncol.* 2004. Vol. 71. № 3. P. 339–345.
7. Gilbeau L., Octave-Prignot M., Loncol T. et al. Comparison of setup accuracy of three different thermoplastic masks for the treatment of brain and head and neck tumors // *Radiat. Oncol.* 2001. Vol. 58. № 2. P. 155–162.
8. Hamilton R.J., Kuchnir F.T., Pelizzari C.A. et al. Repositioning accuracy of a noninvasive head fixation system for stereotactic radiotherapy // *Med. Phys.* 1996. Vol. 23. № 11. P. 1909–1917.
9. Karger C.P., Jaekel O., Debus J. et al. Three-dimensional accuracy and interfractional reproducibility of patient fixation and positioning using a stereotactic head mask system // *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 2001. Vol. 49, № 5. P. 1493–1504.
10. Лебеденко И.М., Журов Ю.В., Медведев С.В. и соавт. Опыт применения линейного ускорителя электронов с комплектом принадлежностей для стереотаксического облучения // *Мед. физика.* 2016. № 4(72). С. 144–148.

IMMOBILIZATION DEVICES IN RADIOTHERAPY

I.M. Lebedenko

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Moscow, Russia

The article considers the basic principles of immobilization devices (ID) using in radiotherapy. Practically in some situations the same conditions of pre-radiation and radiation treatment is not observed. Different head restraints can be used, the angles of the positioning platforms are not reproduced. ID minimize the error caused by the movement of the patient's organs, but even in the presence of ID intra- and interfraction shifts of the target take place, which are registered with the help of various visualization means. In case of non-observance of these rules, it is possible to obtain a pronounced deformation of the dose distribution and errors in dose delivery. Despite of the high reliability of the ID, after certain period of operation and wear of the fasteners, updating of the equipment is required.

Key words: *radiotherapy, immobilization, fixation devices*

E-mail: imlebedenko@mai.ru