

Радиохирургия совмещает принципы стереотаксии (или 3-мерной локализации цели) с генерацией источником радиации многочисленных перекрестных лучей, направляющих точно сфокусированный поток радиации на объект-мишень внутри тела. Стереотаксическая радиохирургия используется свыше 30 лет для лечения доброкачественных и злокачественных опухолей, сосудистых мальформаций и других заболеваний мозга. К настоящему моменту более 400000 пациентов по всему миру подверглись подобной терапии. Показаниями к стереотаксическому облучению являются: артериовенозные мальформации, доброкачественные и злокачественные опухоли.

Обязательным условием проведения стереотаксической ЛТ является использование специальных фиксирующих устройств, таких как инвазивная стереотаксическая рамка либо неинвазивная стереотаксическая маска.

Особенностью стереотаксических методов ЛТ является высочайшая точность (с отклонением менее 0,5 мм) позиционирования мишени и уникальное распределение дозы ионизирующего излучения, при котором поглощение основной части подводимой энергии происходит в объеме облучаемого патологического очага и прилежащего непосредственно к нему весьма ограниченного объема нормальной ткани (рисунок 2). Обычно стереотаксическая радиохирургия используется при лечении небольших (до 3 см) патологических образований, а при использовании стереотаксической ЛТ возможно облучение патологических очагов большего размера практически в любой точке тела человека. Преимуществом метода стереотаксической радиохирургии является возможность лечения патологических очагов в хирургически недоступных областях мозга, минимальная инвазивность и отсутствие необходимости общей анестезии, возможность лечения в амбулаторном режиме в течение 1 дня и, как следствие, высокая экономическая эффективность метода. Кроме этого, следует отметить эффективность стереотаксической радиохирургии в отношении даже радиорезистентных опухолей (например, вестибулярные шванномы, метастазы меланомы или рака почки).

Методики стереотаксического облучения в определенной степени составляют конкуренцию инвазивным вмешательствам и, в ряде случаев, являются единственным возможным вариантом лечения для данного пациента. Развитие этого направления свидетельствует о высоком научно-техническом и клиническом потенциале лечебно-образовательного учреждения.

Одной из наиболее сложных задач радиационной онкологии является применение высокотехнологичной ЛТ для лечения подвижных опухолей. Максимальной подвижностью при респираторных движениях обладают опухоли легких, грудных желез, предстательной железы, печени, пищевода. При этом смещение новообразований в зависимости от фазы дыхательного цикла (вдоха или выдоха) может достигать от 1 до 6 см. Четырехмерная конформная ЛТ — методика, при использовании которой, помимо геометрических параметров опухоли в трех измерениях, учитывается «четвертое измерение», т.е. смещение опухоли во время физиологического акта дыхания. Данная методика обеспечивает более точное подведение лечебной дозы к подвижным опухолям, позволяет значительно снижать лучевую нагрузку на здоровые органы и ткани за счет уменьшения отступа, добавляемого к клиническому объему мишени, а также делает возможным проведение эскалации дозы на опухоль (рисунок 3).

Точность воспроизведения плана лечения от сеанса к сеансу облучения обеспечивается ЛТ, управляемой по изображению в режиме реального времени (IGRT). IGRT

технология использует КТ-изображения, полученные в позиции облучения непосредственно на линейном ускорителе электронов для коррекции положения пациента.

В настоящее время перспективной является методика модулированной по интенсивности арк-терапии (VMAT). Данная методика позволяет получить более конформное дозовое распределение, уменьшить лучевую нагрузку на здоровые ткани и критические органы. Сеансы ЛТ сопровождаются меньшим количеством мониторинговых единиц, что способствует сокращению времени нахождения пациента на лечебном столе линейного ускорителя электронов.

Создание высокоэффективных отделений лучевой терапии, укомплектованных современным радиотерапевтическим оборудованием, квалифицированным медицинским и инженерно-техническим персоналом, применяющим самые современные методы радиотерапии, позволит повысить результаты лечения рака. Реализация всех направлений расширит возможности применения лучевой терапии и позволит обеспечить потребность онкологических пациентов в средствах лучевого лечения.

<sup>1</sup>Д.В. Окунцев, <sup>2</sup>Н.И. Крутилина,

<sup>2</sup>Аль-Аква Абдуль Маждид, <sup>2</sup>Л.Б. Пархоменко

<sup>1</sup>УЗ «Гомельский областной клинический онкологический диспансер»,

<sup>2</sup>ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования»

## Методика трехмерного (3D) планирования послеоперационной лучевой терапии рака грудной железы T1-2N0M0

### The technique of three-dimensional (3D) planning of postoperative radiotherapy for T1-2N0M0 breast cancer

**Summary.** The present study was performed with the purpose to work out a technique of conformal three-dimensional (3D) radiotherapy planning of postoperative radiotherapy for patients with stage I-II breast cancer using up-to-date diagnostic and radiotherapeutic equipment of Republican Medical Center for Oncology and Medical Radiology named after N.N. Aleksandrov. The characteristic of 65 patients with stage I-II breast cancer is given, the technique of pre-radiation preparation and irradiation is described in detail.

**Key words:** breast cancer, radiotherapy planning, conformal three-dimensional radiation therapy.

**Резюме.** Метою дослідження була розробка методології передпроменевої підготовки і післяопераційної конформної 3D променевої терапії хворих на рак грудної залози (РГЗ) I–II стадій з використанням сучасного діагностичного і радіотерапевтичного устаткування ДУ «Республіканський медичний центр онкології і медичної радіології ім. М.М. Александрова». У статті поряд з характеристикою 65 пацієнтів із РГЗ I–II стадій докладно викладається методика передпроменевої підготовки й опромінення.

**Ключові слова:** рак грудної залози, передпроменева підготовка, конформна 3D променева терапія.

**Ключевые слова:** рак грудной железы, предлучевая подготовка, конформная 3D лучевая терапия.

Рак грудной железы (РГЖ) занимает третье место в структуре общей онкологической заболеваемости в мире и первое место среди женщин в развитых странах [1, 2].

В Беларуси в 2011 г. частота злокачественных новообразований грудной железы (ГЖ) составила 17,3% в структуре всех злокачественных новообразований среди женского населения; 23,7% — среди женщин трудоспособного возраста. Грубый интенсивный показатель заболеваемости РГЖ (на 100 000 женского населения) за 10 лет (2002–2011 годы) увеличился с 57,5 до 76,7. Высокой остается смертность от злокачественных новообразований грудной железы — 23,7 на 100 000 женщин в 2011 году [3, 4]. Поскольку среди заболевших женщин РГЖ I–II стадий составляет 77,7% и за последние пять лет (2006–2011 гг.) число их увеличилось на 6,5% (с 71,2 до 77,7%) особую актуальность приобретает дальнейшая разработка органосохраняющих методов лечения этой категории пациенток [3, 7].

Органосохраняющее лечение РГЖ I–II стадии предполагает выполнение резекции, квадрантэктомии или лампэктомии с подмышечной лимфодиссекцией и проведение адьювантной полихимиотерапии и послеоперационной лучевой терапии, которое позволяет получить результаты, сопоставимые с таковыми при мастэктомии, но с менее выраженными побочными эффектами. Послеоперационное облучение ГЖ, выполняемое после органосохраняющих операций, проводилось, как правило, дистанционным методом в режиме обычного фракционирования дозы с использованием двухмерного (2D) планирования [8, 10].

Переход от двух- к трехмерному планированию стал возможным благодаря внедрению в клиническую практику современного радиотерапевтического оборудования с компьютерными томографами, симуляторами и аппаратами для облучения. Между тем в литературе встречается небольшое количество работ, посвященных изложению методических аспектов 3D лучевой терапии пациенток с РГЖ [9, 11].

Целью исследования стала разработка методологии предлучевой подготовки и послеоперационной конформной 3D лучевой терапии пациенток с РГЖ I–II стадий с использованием современного диагностического и радиотерапевтического оборудования РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова.

Материалом исследования послужили 65 пациенток с морфологически подтвержденным диагнозом РГЖ I–II стадий (T1–2N0M0), получивших комбинированное органосохраняющее лечение с использованием конформной 3D лучевой терапии в ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова» в 2010–2012 гг. Возраст пациенток колебался от 29 до 70 лет, средний —  $50,0 \pm 7,9$  года. Преобладающее число пациенток (84,6%) имели возраст 41–60 лет. У 38 (58,5%) пациенток опухоль локализовалась в левой ГЖ. Морфологически опухоль была представлена двумя разновидностями рака — инвазивным протоковым (70,8%) и инвазивным дольковым (29,2%). Большинство пациенток (64,6%) имели среднюю степень дифференцировки РГЖ (степень 2). Высокодифференцированные (степень 1) и низкодифференцированные опухоли (степень 3) обнаружены у 35,4% пациенток. Размер первичной опухоли соответствующий категории pT1a, констатирован только у 1 (1,5%) пациентки, pT1b — у 7 (10,8%), pT1c — у 36 (55,4%) женщин. Почти каждая третья (32,3%) пациентка имела новообразование в ГЖ, классифицируемое как pT2. Средний размер первичной опухоли при I стадии (pT1) равен  $1,40 \pm 0,45$  см, при II стадии (pT2) —  $3,10 \pm 0,72$  см.

Рецепторный статус опухоли определялся иммуногистохимическим методом и оценен с помощью 8-бальной шкалы [5, 9] (таблица 1). Ни у одной пациентки иммуногистохимическим методом не выявлена экспрессия HER-2/neu.

Таблица 1

Распределение больных раком грудной железы I–IIA стадий в зависимости от рецепторного статуса опухоли (ER + и PR +)

Шкала баллов (Score)	Рецепторы ER +		Рецепторы PR +	
	абс. число	%	абс. число	%
0–2	15	23,1	19	29,2
3–4	20	30,8	19	29,2
5–6	6	9,2	14	21,6
7–8	24	36,9	13	20
Всего	65	100	65	100

Процедура предлучевой подготовки включала планировочную компьютерную томографию зоны интереса, выделение объемов облучения и органов риска, дозиметрическое планирование облучения, процедуру симуляции и непосредственно сеанс облучения.

Процедура планировочной компьютерной томографии выполнялась на жесткой плоской деке стола компьютерного томографа в положении облучения: лежа на спине с рукой на стороне поражения, поднятой за голову и плечом, опирающимся на специальную поддержку стандартной фиксирующей подставки для облучения ГЖ (Medtec, США). Для устранения влияния кривизны на дозное распределение выбиралось положение пациентки на наклонной доске с углом  $15^\circ$ . В случаях, когда грудная железа не сохраняла свою форму в положении лежа, использовались индивидуальные углепластиковые маски на грудные железы. Процедура планировочной КТ выполнялась в положении фиксации с фиксирующей маской на мультиспиральном КТ LightSpeed (США) с апертурой гентри 85 см (рисунок 1).

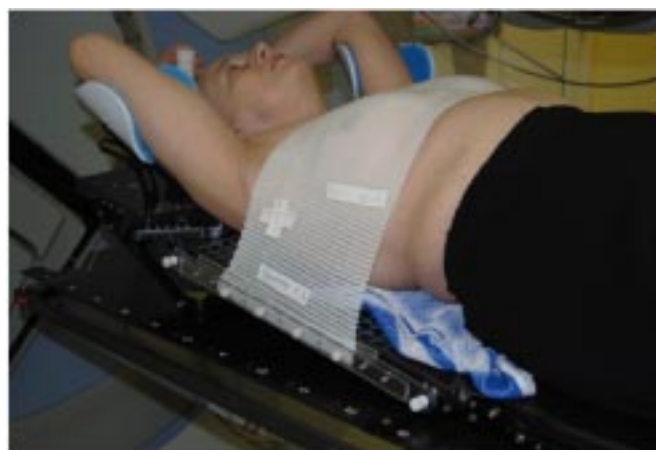


Рисунок 1. Пациентка с фиксирующей маской при выполнении планировочной компьютерной томографии, симуляции и облучения

Границы зоны сканирования включали оставшуюся ткань грудной железы и дополнительно по 5 см краниально и каудально. Шаг сканирования 5 мм, толщина скана 5 мм.

Объемы облучения и органы риска определялись на каждом КТ-скане.

Клинический объем облучения 1 (CTV1) включал оставшуюся ткань грудной железы (рисунок 2).

Клинический объем облучения 2 (boost-CTV2) — ложе опухоли, маркированное рентгенконтрастными хирургическими клипсами (рисунок 3).

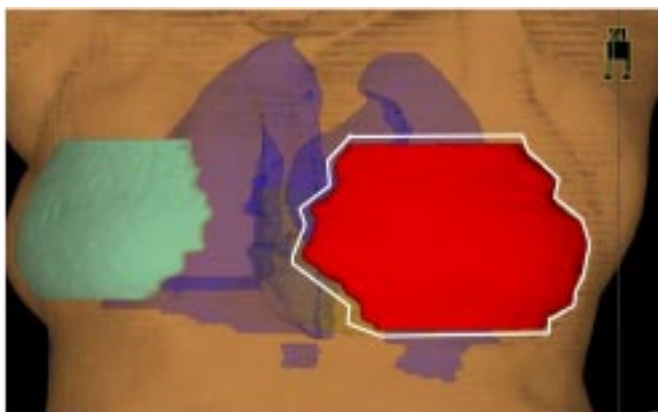


Рисунок 2. Клинический объем облучения (CTV1) в двух проекциях у больной раком грудной железы I–II А стадий



Рисунок 3. Клинический объем облучения (boost — CTV2) в двух проекциях у больной раком грудной железы I–II А стадий

Планируемый объем облучения 1 (PTV1) — клинический объем облучения (CTV1) с краем отступа 5 мм.

Планируемый объем облучения 2 (PTV2) — ложе опухоли (CTV2) с краем отступа 5 мм.

Органы риска — сердце и легкие.

Применялась методика 3D дозиметрического планирования облучения с объемной реконструкцией зоны интереса на основе полученных данных планировочной компьютерной томографии. Дозиметрическое планирование курса ЛТ выполнялось на компьютерной планирующей системе Eclipse (США).

Использовался статический способ облучения тангенциальными полями. Размер, количество и расположение полей облучения определялось формой и локали-

зацией объемов облучения. Доза предписывалась на изоцентр. При оптимизации дозиметрического плана использовались следующие критерии: однородность дозы в PTV1 и PTV2 — 95 % объема PTV должно быть покрыто 95 % изодозой; максимальная доза в PTV не более 110 % от предписанной. Максимальная доза в сердце и спинном мозге не более 40 Гр, в легком на стороне опухоли — не более 50 Гр (рисунок 4 а, б, в).

О направлении пучков излучения можно судить из рисунка 5.

Анализ и выбор оптимального плана облучения проводился по гистограммам «доза/объем (DVH)» (рисунок 6).

На представленных рисунках демонстрируется возможность достижения оптимального распределения дозы послеоперационного облучения левой ГЖ с использованием тангенциальных полей. Весь объем левой ГЖ (CTV1) получил среднюю поглощенную дозу ( $D_{mean}$ ) 49,6 Гр, максимальную ( $D_{max}$ ) — 52,9 Гр. Пятьдесят процентов объема левого легкого получили поглощенную дозу 2 Гр при минимальной дозе ( $D_{min}$ ) — 0,1 Гр, максимальной ( $D_{max}$ ) — 48 Гр. Лучевая нагрузка на сердце составила 2 Гр в 40% его объема, средняя доза ( $D_{mean}$ ) — 6,4 Гр, максимальная ( $D_{max}$ ) — 46,3 Гр. Лучевая нагрузка на противоположную грудную железу составила:  $D_{min}$  — 0,2 Гр,  $D_{max}$  — 5,9 Гр.

Перед началом курса лучевой терапии (ЛТ) выполнялась симуляция плана ЛТ с определением положения и последующей маркировкой проекции изоцентра на фиксирующей маске. Симуляция проводилась на аппарате Acuity.

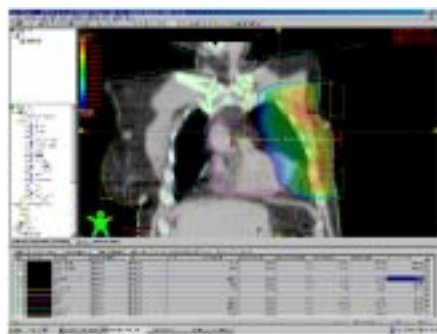
Облучение выполнялось на линейном ускорителе Clinac 2300 C/D (США) фотонами энергией 6,0 MeV ежедневно, последовательно со всех расчетных полей. Контроль положения пациентки на лечебном столе производился по осевым и ортогональным лазерам линейного ускорителя.

На первом этапе облучался PTV1: РОД = 2 Гр, один раз в день, пять дней в неделю, за 25 фракций (5 недель) СОД = 50 Гр.

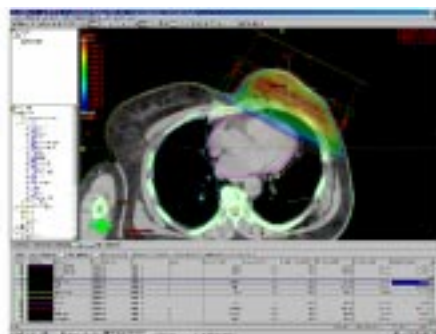
На втором этапе (без перерыва) облучался PTV2: РОД = 2 Гр, один раз в день, пять дней в неделю, за 5–8 фракций (1–1,5 недели) СОД = 10–16 Гр.

Общее время курса ЛТ 6,5 недель в два этапа без перерыва. СОД за весь курс в PTV1 = 50 Гр, в PTV2 = 60–66 Гр.

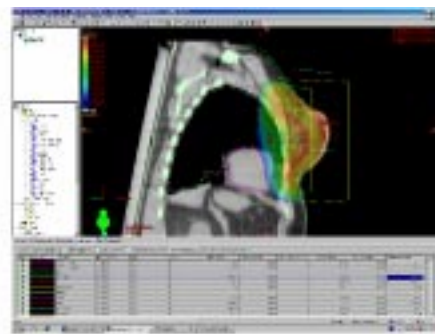
Таким образом, использование в последние годы современного радиотерапевтического оборудования, развитие диагностических и лечебных технологий, широкое внедрение рентгеновских компьютерных томографов в практику дозиметрического планирования позволяют создать условия для реализации конформной послеоперационной 3D лучевой терапии с концентрацией дозы излучения в мише-



а



б



в

Рисунок 4. Дозное распределение в объеме мишени и органах риска в различных проекциях: а — фронтальной; б — трансверсальной; в — сагиттальной

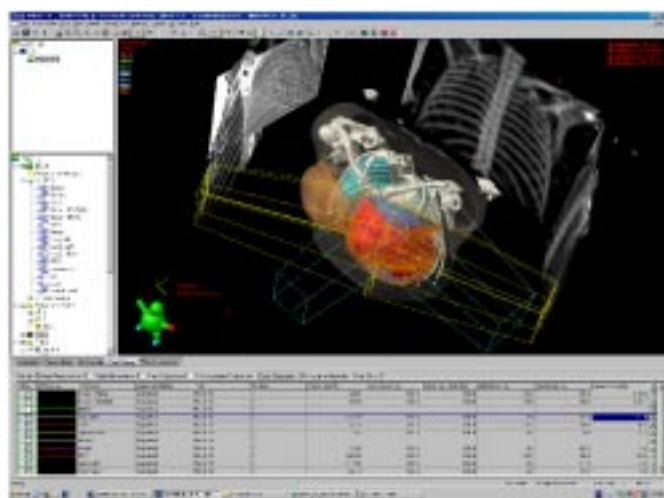


Рисунок 5. Направление пучков излучения при облучении всей грудной железы и ложа опухоли

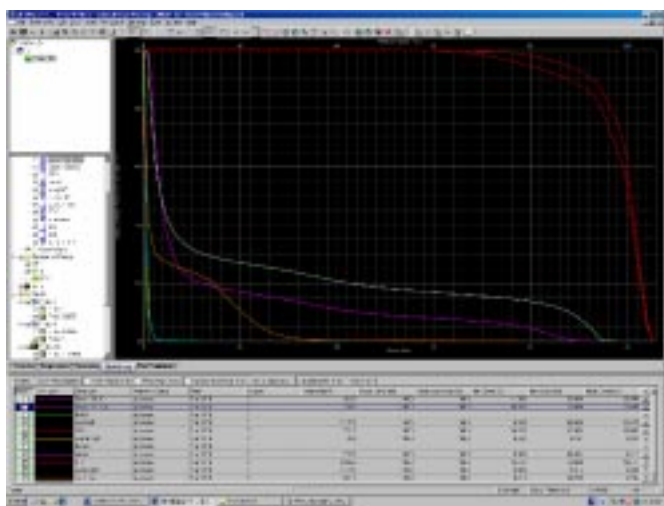


Рисунок 6. Графики зависимости поглощенной дозы и объема облучения (гистограмма «доза/объем» — DVH)

ни без существенной лучевой нагрузки на органы риска у больных раком грудной железы I–IIA стадий.

### Литература

1. Путьрский Ю.Л. // *Вопр. организации и информатизации здравоохранения*. – Минск, 2002. – № 4 – С. 12–14.
2. Залуцкий И.В. и др. // *Вопр. онкол.* – 2007. – № 3. – С. 274–281.
3. *Белорусский канцер-регистр. Статистика онкологических заболеваний*. – Минск, 2012.
4. Леягин В.П. Злокачественные образования молочной железы у женщин и мужчин // *Энцикл. клин. онкол.* «РЛС-ПАТЕНТ». – 2004. – 374–389 с.
5. Allred O. C. et al. // *Mod. Pathol.* – 1998. – № 11. – P. 155–68.
6. Clark R.M. et al. // *Ontario Clin. Oncol. Group. J. Natl. Cancer Inst.* – 1996. – P. 169–174.
7. Jemal A. et al. // *CA Cancer J. Clin.* – 2011. – Vol. 61. – P. 69–90.
8. *Early Breast Cancer Trialists' Collaborat. Group.* // *Lancet.* – 2000. – P. 1757–70.
9. Harvey J.M. et al. // *J. Clin. Oncol.* – 1999. – № 17. – P. 1474–81.
10. Roychoudhuri R. et al. // *BMC Cancer.* – 2007. – P. 247–259.
11. Harris E.E., Correa C., Hwang W.T. et al. // *J. Clin. Oncol.* – 2006. – P. 410–416.

М.Н. Петкевич, Е.В. Титович, И.Г. Тарутин, А.В. Парчайкина

ГУ «РНЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова», Минск, Беларусь

### Внедрение методики RapidArc в клиническую практику ГУ «РНЦ ОМР им. Н.Н. Александрова». Аспекты планирования

### Introduction of RapidArc technique into clinical practice of SI "RSP Centre of Oncology and Medical Radiology named after N.N. Alexandrov". Aspects of planning

**Summary.** Theoretical aspects of treatment planning using RapidArc are featured. Comparative analysis of planning methods, such as RapidArc, IMRT and 3DCRT was done. Several clinical examples with the use of RapidArc planning technology are given.

**Key words:** radiotherapy, treatment planning, RapidArc, contouring, multileaf collimator.

**Резюме.** Розглянуто теоретичні аспекти планування за технологією RapidArc, проведено порівняльний аналіз методик планування при використанні технологій RapidArc, IMRT і 3DCRT. Наведено кілька клінічних прикладів з використанням методики RapidArc.

**Ключові слова:** променева терапія, планування, RapidArc, контурування, багатопелюсткова діафрагма.

**Ключевые слова:** лучевая терапия, планирование, RapidArc, контурирование, многопелестковая диафрагма.

#### Теоретические аспекты планирования

При создании плана облучения по методике RapidArc секторное поле облучения разбивается на сегменты. Каждому сегменту облучения соответствует контрольная нормировочная точка, для которой рассчитываются следующие параметры:

- позиция каждого из лепестков многолепестковой диафрагмы (МЛД) в контрольных точках расчета плана облучения;
- фракция от общей дозы, доставляемая в каждую из контрольных точек расчета;
- скорость вращения штатива ускорителя;
- мощность дозы облучения.

Возможность одновременного изменения целого ряда параметров радиационного пучка и механических параметров ускорителя в соответствии с планом облучения позволяет создавать распределение дозы любой комплексной формы. При этом очаг облучения получает предписанную дозу, а здоровые ткани получают меньшее облучение [1]. Время облучения пациента сокращается до 80% по сравнению с другими методами (3DCRT — трехмерная конформная лучевая терапия и IMRT — лучевая терапия (ЛТ) с модулированной интенсивностью дозы).

Рассмотрим основные отличия методики RapidArc (ротационная ЛТ с объемной модулированной интенсивностью) от методик IMRT и 3DCRT на этапе планирования.

При создании плана по методике RapidArc необходимо вносить дополнительные структуры, как и при методике IMRT, для возможности подведения разных доз к различ-