

**Переход  
от 2D брахитерапии  
к 3D брахитерапии  
с высокой  
мощностью дозы**



**IAEA**

Международное агентство по атомной энергии

## ПУБЛИКАЦИИ СЕРИИ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Мандат программы МАГАТЭ в области здоровья человека вытекает из статьи II его Устава, которая гласит, что «Агентство стремится к достижению более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире». Основная задача программы в области здоровья человека — расширение возможностей государств — членов МАГАТЭ для решения вопросов профилактики, диагностики и лечения заболеваний посредством разработки и применения ядерных методов на основе обеспечения качества.

В публикациях Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека содержится информация из следующих областей: радиационная медицина, включая лучевую диагностику, диагностическую и терапевтическую ядерную медицину и лучевую терапию, дозиметрия и медицинская радиационная физика и методы стабильных изотопов и другие ядерные применения в питании. Публикации имеют широкую читательскую аудиторию и рассчитаны на практикующих врачей, исследователей и других специалистов. В подготовке и рецензировании этих публикаций Секретариату МАГАТЭ оказывают помощь международные эксперты. Некоторые публикации этой серии могут также получать одобрение международных организаций и профессиональных обществ, работающих в соответствующих областях, или подготавливаться в соавторстве с ними.

В этой серии выделяются две категории публикаций:

### СЕРИЯ ИЗДАНИЙ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

В публикациях этой категории представлен анализ или приводится информация рекомендательного характера, например руководящие принципы, нормы и стандарты практики; в нее также входят пособия по обеспечению качества. В этой серии также издаются монографии и образовательные материалы высокого уровня, например для программ послевузовской подготовки.

### ДОКЛАДЫ МАГАТЭ ПО ЗДОРОВЬЮ ЧЕЛОВЕКА

Доклады по здоровью человека дополняют информацию, публикуемую в Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека, в таких областях, как радиационная медицина, дозиметрия и медицинская радиационная физика, а также питание. Эти публикации включают в себя отчеты технических совещаний, результаты проектов координированных исследований МАГАТЭ, промежуточные доклады о реализации проектов МАГАТЭ и образовательные материалы, подготавливаемые для учебных курсов МАГАТЭ по тематике здоровья человека. В некоторых случаях в этих докладах может содержаться дополнительный материал к публикациям, выходящим в Серии изданий МАГАТЭ по здоровью человека.

Все эти публикации можно бесплатно загрузить с веб-сайта МАГАТЭ:

<http://www.iaea.org/Publications/index.html>

За дополнительной информацией просьба обращаться в:

Marketing and Sales Unit  
International Atomic Energy Agency  
Vienna International Centre  
PO Box 100  
1400 Vienna, Austria

Читателям предлагается делиться своими впечатлениями от этих публикаций. Информацию можно направлять через веб-сайт МАГАТЭ, по почте на указанный выше адрес либо по электронной почте:

[Official.Mail@iaea.org](mailto:Official.Mail@iaea.org).

Переход от 2D брахитерапии  
к 3D брахитерапии  
с высокой мощностью дозы

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ИСПАНИЯ	ПЕРУ
АВСТРИЯ	ИТАЛИЯ	ПОЛЬША
АЗЕРБАЙДЖАН	ЙЕМЕН	ПОРТУГАЛИЯ
АЛБАНИЯ	КАЗАХСТАН	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АЛЖИР	КАМБОДЖА	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АНГОЛА	КАМЕРУН	РУАНДА
АНТИГУА И БАРБУДА	КАНАДА	РУМЫНИЯ
АРГЕНТИНА	КАТАР	САЛЬВАДОР
АРМЕНИЯ	КЕНИЯ	САМОА
АФГАНИСТАН	КИПР	САН-МАРИНО
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КИТАЙ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАНГЛАДЕШ	КОЛУМБИЯ	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БАРБАДОС	КОМОРСКИЕ ОСТРОВА	СЕВЕРНАЯ МАКЕДОНИЯ
БАХРЕЙН	КОНГО	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БЕЛАРУСЬ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СЕНЕГАЛ
БЕЛИЗ	КОСТА-РИКА	СЕНТ-ВИНСЕНТ И ГРЕНАДИНЫ
БЕЛЬГИЯ	КОТ-Д'ИВУАР	СЕНТ-ЛЮСИЯ
БЕНИН	КУБА	СЕРБИЯ
БОЛГАРИЯ	КУВЕЙТ	СИНГАПУР
БОЛИВИЯ,	КЫРГЫЗСТАН	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ
МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ	ЛАТВИЯ	РЕСПУБЛИКА
ГОСУДАРСТВО	ЛАОССКАЯ НАРОДНО-	СЛОВАКИЯ
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ	СЛОВЕНИЯ
БОТСВАНА	РЕСПУБЛИКА	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО
БРАЗИЛИЯ	ЛЕСОТО	ВЕЛИКОБРИТАНИИ И
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИБЕРИЯ	СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВАН	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ
БУРУНДИ	ЛИВИЯ	АМЕРИКИ
ВАНУАТУ	ЛИТВА	СУДАН
ВЕНГРИЯ	ЛИХТЕНШТЕЙН	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
ВЕНЕСУЭЛА,	ЛЮКСЕМБУРГ	ТАДЖИКИСТАН
БОЛИВАРИАНСКАЯ	МАВРИКИЙ	ТАИЛАНД
РЕСПУБЛИКА	МАВРИТАНИЯ	ТОГО
ВЬЕТНАМ	МАДАГАСКАР	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ГАБОН	МАЛАВИ	ТУНИС
ГАИТИ	МАЛАЙЗИЯ	ТУРКМЕНИСТАН
ГАЙАНА	МАЛИ	ТУРЦИЯ
ГАНА	МАЛЬТА	УГАНДА
ГВАТЕМАЛА	МАРОККО	УЗБЕКИСТАН
ГЕРМАНИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	УКРАИНА
ГОНДУРАС	МЕКСИКА	УРУГВАЙ
ГРЕНАДА	МОЗАМБИК	ФИДЖИ
ГРЕЦИЯ	МОНАКО	ФИЛИППИНЫ
ГРУЗИЯ	МОНГОЛИЯ	ФИНЛЯНДИЯ
ДАНИЯ	МЬЯНМА	ФРАНЦИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ	НАМИБИЯ	ХОРВАТИЯ
РЕСПУБЛИКА КОНГО	НЕПАЛ	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ
ДЖИБУТИ	НИГЕР	РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКА	НИГЕРИЯ	ЧАД
ДОМИНИКАНСКАЯ	НИДЕРЛАНДЫ	ЧЕРНОГОРИЯ
РЕСПУБЛИКА	НИКАРАГУА	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЕГИПЕТ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЧИЛИ
ЗАМБИЯ	НОРВЕГИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ЗИМБАБВЕ	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА	ШВЕЦИЯ
ИЗРАИЛЬ	ТАНЗАНИЯ	ШРИ-ЛАНКА
ИНДИЯ	ОБЪЕДИНЕННЫЕ	ЭКВАДОР
ИНДОНЕЗИЯ	АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЭРИТРЕЯ
ИОРДАНИЯ	ОМАН	ЭСВАТИНИ
ИРАК	ПАКИСТАН	ЭСТОНИЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ	ПАЛАУ	ЭФИОПИЯ
РЕСПУБЛИКА	ПАНАМА	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИРЛАНДИЯ	ПАРАГВАЙ	ЯМАЙКА
ИСЛАНДИЯ	ПАПУА — НОВАЯ ГВИНЕЯ	ЯПОНИЯ

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральных учреждениях Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение «более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире».

Переход от 2D брахитерапии  
к 3D брахитерапии  
с высокой мощностью дозы

## УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены положениями Всемирной конвенции об авторском праве, принятой в 1952 году (Берн) и пересмотренной в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно оформляется соглашениями типа роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом случае в отдельности. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа маркетинга и сбыта (Marketing and Sales Unit)  
Издательская секция  
Международное агентство по атомной энергии  
Венский международный центр,  
а/я 100,  
А1400 Вена, Австрия  
Факс: +43 1 26007 22529  
Тел.: +43 1 2600 22417  
Эл. почта: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)  
Веб-сайт: <https://www.iaea.org/publications>

© МАГАТЭ, 2021

Отпечатано МАГАТЭ в Австрии

Июнь 2021 года

STI/PUB/1681

ПЕРЕХОД ОТ 2D БРАХИТЕРАПИИ  
К 3D БРАХИТЕРАПИИ  
С ВЫСОКОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ  
МАГАТЭ, июнь 2021 года  
STI/PUB/1681

ISBN 978-92-0-422421-4 (paperback : alk. paper)

ISBN 978-92-0-422521-1 (pdf)

ISSN 2788-8444

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Рак является одной из основных причин смерти во всем мире, а лучевая терапия является важным компонентом лечения онкологических больных, применяемым либо индивидуально, либо в сочетании с хирургией или химиотерапией как для лечения, так и в качестве метода паллиативной терапии. В настоящее время признается, что для предоставления безопасных и эффективных услуг лучевой терапии необходимы не только значительные капиталовложения в оборудование для лучевой терапии и специально разработанные установки, но и постоянные инвестиции в техническое обслуживание и модернизацию оборудования с учетом технического прогресса, а также в обучение персонала.

Прогресс в области компьютерных технологий и диагностической визуализации позволил перейти от базового двухмерного (2D) планирования и проведения терапии (2D лучевой терапии) к более сложному индивидуализированному подходу: 3D (трехмерной) лучевой терапии. В то время как 2D лучевая терапия может применяться с более простым оборудованием и обслуживанием, переход к 3D лучевой терапии требует более значительных ресурсов в сферах технологии, оборудования, персонала и обучения. Это справедливо как для дистанционной лучевой терапии, так и для брахитерапии.

В связи с возросшей заинтересованностью государств-членов в применении современных видов лучевой терапии МАГАТЭ получило от радиотерапевтических отделений, которые хотели бы с помощью программы технического сотрудничества обновить свои установки таким образом, чтобы можно было оказывать услуги в области 3D брахитерапии, ряд просьб о предоставлении соответствующих руководящих материалов. Ожидается, что в будущем число этих просьб возрастет. Кроме того, в Региональном соглашении о сотрудничестве при проведении исследований, разработок и при подготовке кадров в связанных с ядерной наукой и техникой областях признается растущий спрос на передовые подходы к брахитерапии, о чем свидетельствует начало осуществления регионального проекта по поддержке услуг 3D брахитерапии с визуальным контролем. Поскольку эти методы лечения являются более сложными, существует настоятельная необходимость информировать учреждения и государства о соответствующих подготовительных условиях и требуемых ресурсах. Кроме того, при планировании инвестиций в технологию необходимо учитывать современную доказательную базу, подтверждающую использование 3D брахитерапии с точки зрения результатов лечения пациентов.

В целях удовлетворения потребностей государств-членов в разработке руководящих принципов перехода от 2D брахитерапии к 3D брахитерапии с высокой мощностью дозы было создано совещание консультантов для обсуждения необходимых шагов и основных этапов перехода. Настоящая публикация содержит дополнительные руководящие материалы к документу «Разработка программы лучевой терапии: аспекты клинической практики, медицинской физики, радиационной защиты и безопасности», опубликованному МАГАТЭ в 2015 году. В обеих публикациях представлен полный обзор дополнительной инфраструктуры и процессов лучевой терапии.

Настоящая публикация адресована специалистам и администраторам, участвующим в разработке, реализации и управлении программами по радиационной онкологии, которые стремятся дополнить или заменить традиционный подход индивидуальным подходом путем перехода от более простых к более сложным методам лучевой терапии. В ней изложены руководящие принципы и освещаются основные этапы, которых должны придерживаться учреждения лучевой терапии при переходе от 2D к 3D брахитерапии, и приведена информация об усилиях, предпринимаемых с целью обеспечения доступа к безопасной и эффективной терапии постоянно растущего числа больных раком в государствах-членах.

МАГАТЭ хотело бы выразить свою признательность Д. Бергеру (Австрия) за его крупный вклад в эту публикацию. Выражается также благодарность координаторам регионального проекта за рассмотрение данной публикации. Сотрудниками МАГАТЭ, ответственными за настоящую публикацию, являлись Д. ван дер Мерве, Б. Хили и Е. Фидарова из Отдела здоровья человека.

### *РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ*

*Настоящая публикация была отредактирована редакционным персоналом МАГАТЭ в той степени, в какой это было сочтено необходимым для удобства читателей. В ней не затрагиваются вопросы ответственности — юридической или иного рода — за действия или бездействие со стороны какого-либо лица.*

*Данные здесь руководящие указания с описанием надлежащей практики отражают мнение экспертов и не являются рекомендациями, сформулированными на основе консенсуса государствами-членами.*

*Хотя для обеспечения точности информации, содержащейся в настоящей публикации, были приложены большие усилия, ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не несут ответственности за последствия, которые могут возникнуть в результате ее использования.*

*Упоминание названий конкретных компаний или продуктов (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные) не означает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно рассматриваться как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.*



# CONTENTS

1.	ВВЕДЕНИЕ .....	1
2.	3D БРАХИТЕРАПИЯ С ВМД .....	1
3.	КЛИНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ВМД. . .	4
4.	КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ ДЛЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ВМД .....	6
5.	РЕСУРСЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ВМД. ....	7
5.1.	Оборудование .....	8
5.1.1.	Визуализация .....	8
5.1.2.	Аппликаторы .....	8
5.1.3.	Система планирования лечения .....	8
5.1.4.	Аппарат для афтерлодинга .....	8
5.1.5.	Подключение к сетям .....	9
5.2.	Укомплектование персоналом и подготовка кадров. ....	9
6.	КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ВМД .....	10
6.1.	Клинический процесс .....	10
6.2.	Клиническая оценка .....	10
6.3.	Принятие решения относительно терапии .....	12
6.4.	Подготовка пациента .....	12
6.5.	Размещение аппликатора .....	12
6.6.	Визуализация: Определение объема облучения и объема критических органов . . .	12
6.6.1.	Методология визуализации. ....	13
6.6.2.	Определение объема критических органов и объема облучения .....	15
6.7.	Планирование лечения .....	16
6.7.1.	Реконструкция аппликатора .....	16
6.7.2.	Оптимизация и оценка плана .....	16
6.7.3.	Предписание дозы и отчетность .....	17
6.7.4.	Проверка и утверждение плана .....	17
6.8.	Перенос плана в аппарат для афтерлодинга .....	17
6.9.	Контроль качества перед подведением дозы .....	17
6.10.	Доставка лечения. ....	18
6.11.	Извлечение аппликаторов и источников .....	18
6.12.	Последующая оценка .....	18
7.	НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ БРАХИТЕРАПИИ. ....	18
8.	ТРЕБОВАНИЯ К ОБУЧЕНИЮ И ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ .....	19
9.	ТРЕБОВАНИЯ К КАДРОВЫМ РЕСУРСАМ .....	19
10.	ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И АУДИТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ. ....	20

10.1. Оборудование для визуализации . . . . .	21
10.2. Аппликаторы . . . . .	21
10.3. Система планирования лучевой терапии . . . . .	22
10.3.1. Геометрические функции . . . . .	22
10.3.2. Модели расчета дозы. . . . .	22
10.4. Аппараты для афтерлодинга. . . . .	23
10.5. Обеспечение качества процесса перехода. . . . .	23
10.5.1. Этап 1: Исследования с использованием фантома для оценки предусмотренных методов реконструкции для конкретной локализации . . . . .	23
10.5.2. Этап 2: Клиническая параллельная визуализация и реконструкция . . . . .	23
10.5.3. Этап 3: Внедрение процедур объемной визуализации. . . . .	23
10.5.4. Этап 4: Объемная оптимизация на основе объемов критических органов . . . . .	24
10.5.5. Этап 5: Оптимизация, оценка и предписание уровня 3 . . . . .	25
10.6. Внутренний и внешний аудит . . . . .	25
 ДОБАВЛЕНИЕ I:    ВОПРОСНИК ДЛЯ САМООЦЕНКИ . . . . .	 27
 ДОБАВЛЕНИЕ II:   ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ РАСХОДЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ . . . . .	 31
 ДОБАВЛЕНИЕ III:  ПРИМЕР КОНТРОЛЬНОГО СПИСКА ПЛАНА ТЕРАПИИ. . . . .	 32
 СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ . . . . .	 33
СОКРАЩЕНИЯ . . . . .	37
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ. . . . .	39

# 1. ВВЕДЕНИЕ

В данной публикации рассматриваются аспекты перехода к основанной на объемной визуализации трехмерной (3D) брахитерапии с высокой мощностью дозы (ВМД), включая клинические данные, ресурсы, контрольные точки, описание клинических процессов, требования к обучению, подготовке кадров и кадровым ресурсам, а также руководящие принципы обеспечения качества. В добавлении I содержится вопросник для проведения самооценки с целью определения состояния готовности учреждения к переходу на 3D брахитерапию с ВМД. В добавлении II приводятся ориентировочные расходы на необходимое оборудование, а в добавлении III приведен пример контрольного списка при проверке планирования лечения.

Данная публикация предназначена для государств-членов, которые используют методы 2D брахитерапии, проводимой по методу «афтерлодинга», и основное внимание в ней уделено переходу от 2D к 3D брахитерапии с ВМД при лечении гинекологического рака. Однако приведенные в ней сведения могут быть также применены при других локализациях, таких как молочная железа, голова и шея, а также при эндолуминальном воздействии на опухоли. Сведения в публикации не применимы в отношении постоянных имплантатов или офтальмологических блешек. Сведения в данной публикации также не применимы при лечении предстательной железы методами брахитерапии, которое всегда производится с использованием высокоспециализированных 3D методов. В данной публикации не рассматриваются графики лечения или ресурсосберегающие режимы фракционирования при терапии с ВМД. Кроме того, использование при планировании брахитерапии биологической оптимизации, основанной на вероятностях осложнений в нормальных тканях и контроля опухоли, все еще является значительной степени экспериментальным и в настоящей публикации далее не рассматривается.

Представленные здесь руководящие материалы, описывающие надлежащую практику, отражают мнения экспертов, однако не являются рекомендациями, сформулированными на основе консенсуса государств-членов.

## 2. 3D БРАХИТЕРАПИЯ с ВМД

В данной публикации описаны преимущества 3D брахитерапии с ВМД, а также технические, логистические и кадровые требования, необходимые для безопасного и точного проведения брахитерапии, включая руководящие принципы создания терапевтических установок. Эта публикация была подготовлена в качестве дополнения к другим публикациям МАГАТЭ [1, 2], в том числе к недавно выпущенной публикации МАГАТЭ «Учреждения лучевой терапии: рекомендации по разработке генерального плана и концептуального проекта», с которой следует ознакомиться в связи с данной публикацией, и особенно с разделами, описывающими требования к разработке программы по брахитерапии. Данная публикация также основана на предыдущей публикации МАГАТЭ о реализации брахитерапии с ВМД [3] и она более полно развивает концепции и практику 3D брахитерапии на основе последних данных справочной литературы.

В трехмерной брахитерапии с ВМД описываются разработка и реализация планов лучевой терапии на основе как минимум одного набора данных трехмерного изображения. Процедура предусматривает автоматически контролируемые кратковременные остановки высокодозного источника излучения в различных положениях с целью облучения только ткани мишени. В данной публикации для описания сложности процедуры брахитерапии предлагается многоуровневая система. Сведения об уровнях 1–3 представлены в таблице 1. Первый уровень брахитерапии (уровень 1) может быть реализован в любом отделении лучевой терапии с основными возможностями, описанными в [2]. Уровень 1 включает в себя выбор основанных на библиотеке

планов терапии для фиксированных конфигураций аппликаторов и не требует визуализации для планирования терапии. Брахитерапия уровня 2 частично индивидуализирована таким образом, что достигается некоторая оптимизация дозы облучения, но разработка процедуры лечения основана на небольшом количестве точек, определенных из двухмерных планарных изображений тканей пациента. Брахитерапия уровня 3 требует полного набора трехмерных данных пациента, обычно представляющих собой изображения, полученные методами компьютерной томографии (КТ) или магнитно-резонансной томографии (МРТ), в которых объем опухоли и критические органы (КО) определяются в соответствии с концепциями Доклада 50 Международной комиссии по радиационным единицам и измерениям (МКРЕ) [4]. Уровень 3 может включать использование средств автоматической оптимизации (инверсного планирования). В таблице 1 приводятся краткие общие сведения по методологии и инструментальным средствам, связанных с каждым уровнем, однако нет необходимости использовать все перечисленные методы в рамках каждого конкретного лечения.

ТАБЛИЦА 1. УРОВНИ БРАХИТЕРАПИИ СОГЛАСНО МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ СРЕДСТВАМ, СВЯЗАННЫМ С КАЖДЫМ ЭТАПОМ ПРОЦЕДУРЫ

	Уровень 1 на базе библиотеки	Уровень 2 2D, на основе планарных изображений	Уровень 3 3D, на основе объемных изображений
1. Размещение аппликатора			
Тип аппликатора	Рентгеноконтрастный	Рентгеноконтрастный	Совместимый с КТ/МРТ <sup>а</sup>
Фиксация аппликатора	Требуется	Требуется	Требуется
2. Визуализация и определение критических органов и мишени			
Методология визуализации	Планарные изображения (или без них)	Планарные изображения с контрастными веществами или без них	Томографическая визуализация (КТ, МРТ и УЗИ) с контрастными веществами или без них
Цель визуализации	Регистрация	Реконструкция аппликатора и определение точек исследования	Реконструкция аппликатора и определение объемов исследования
Определение КО	д/о <sup>б</sup>	На основе точек	На основе объема
Определение мишени	д/о <sup>б</sup>	Клинически оцененный КОО на основе точечных или объемных данных	ООО, КОМ определенный на основе объема

ТАБЛИЦА 1. УРОВНИ БРАХИТЕРАПИИ СОГЛАСНО МЕТОДОЛОГИИ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМ СРЕДСТВАМ, СВЯЗАННЫМ С КАЖДЫМ ЭТАПОМ ПРОЦЕДУРЫ (продолжение)

	Уровень 1 на базе библиотеки	Уровень 2 2D, на основе планарных изображений	Уровень 3 3D, на основе объемных изображений
3. Планирование лечения			
Реконструкция аппликатора	Библиотека	На основе рентгеноскопии катетера или аппликатора; геометрия	Косвенная визуализация аппликатора с помощью мультипланарной реконструкции
Оптимизация плана	д/о <sup>b</sup>	Основана на точке А/ точках мишени и КО	Основана на объемах КОО и КО
Оценка плана	д/о <sup>b</sup>	Изодозы и ограничения дозы	Изодозы, ГДО и ограничения дозы
Конечное предписание дозы	д/о <sup>b</sup>	Может корректироваться в соответствии с ограничениями дозы	Может корректироваться в соответствии с ограничениями дозы
Представление информации о дозах	Справочные данные библиотеки	МКРЕ	МКРЕ и/или ЕГБ-ЕОТРО
Проверка и утверждение плана	Выбираются из библиотеки	Контрольный список	Контрольный список
4. Перенос плана в аппарат для афтерлодинга по сети			
	Желателен	Необходим	Необходим
5. Контроль качества перед подведением дозы			
	Обычная практика	Обычная практика	Обычная практика
6. Доставка лечения			
Измерения дозы in vivo	Желательны	Желательны	Желательны
Регистрация доз	СОВК и распределение дозы во времени	Минимальная по МКРЕ или ЕГБ-ЕОТРО	Улучшенная по МКРЕ или ЕГБ-ЕОТРО
7. Извлечение аппликаторов (и источников)			
	Обычная практика	Обычная практика	Обычная практика
8. Последующая оценка			
	Необходима	Необходима	Необходима

**Примечание:** КТ — компьютерная томография; КОО — клинический объем облучения; ГДО — гистограмма «доза-объем»; ЕГБ-ЕОТРО — Европейская группа брахитерапии — Европейское общество терапевтической радиологии и онкологии; ООО — определяемый объем опухоли; МКРЕ — Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям; МРТ — магнитно-резонансная томография; КО — критические органы; СОВК — суммарная опорная воздушная керма; УЗИ — ультразвуковое исследование.

<sup>a</sup> при планировании на основе КТ-исследования желательно, но не обязательно использовать совместимые с КТ аппликаторы.

<sup>b</sup> д.о.: данные отсутствуют.

Для разработки и осуществления программы 3D брахитерапии с ВМД требуется набор процедур, которые должны быть все реализованы с целью обеспечения безопасности и эффективности лечения. Поэтому необходимо, чтобы все процедуры были разработаны и протестированы до начала лечения пациента. Такими процедурами являются:

- a) использование высококачественных медицинских устройств 3D визуализации для точной реконструкции аппликатора и установления определяемого объема опухоли (ООО), клинического объема облучения (КОО) и объемов КО;
- b) использование систем 3D планирования лечения (СПЛ) для оптимизации времен и позиций облучения;
- c) расчет 3D дозы в объемах ООО, КОО и КО;
- d) оценка плана подведения дозы с помощью гистограмм «доза-объем» (ГДО) и инструментальных средств 3D визуализации доз;
- e) правильная передача данных плана на аппарат для брахитерапии;
- f) измерение результатов лечения.

В разделе 4 приведен список контрольных точек, которые должны быть достигнуты в рамках проекта по созданию программы 3D брахитерапии с ВМД уровня 3, основанной на объемных изображениях.

### **3. КЛИНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ с ВМД**

Разработка 3D планирования для дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) стала крупным достижением, обеспечившим более индивидуализированное лечение пациентов, улучшение клинических результатов и снижение токсичности. Однако брахитерапия все еще основана главным образом на 2D планировании, за исключением лечения рака простаты, для которого 3D планирование уже хорошо разработано и рассматривается в качестве стандарта лечения. Логическим развитием является переход к 3D планированию при других наиболее распространенных показаниях к проведению брахитерапии, таких как злокачественные опухоли женских половых органов.

Исторически дозиметрические системы, такие как манчестерская, парижская системы, система Квимби и стокгольмская система, сформировались на основе богатого клинического опыта, который использовался для достаточно точного подведения определенной дозы к опухоли в отсутствие компьютеризированных систем планирования лечения (СПЛ). Благодаря разработке новых аппликаторов и различных заменителей радия, таких, как  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{192}\text{Ir}$ , стали очевидны потенциальные возможности других методов брахитерапии. Системы дистанционного афтерлодинга с ВМД в сочетании с усовершенствованными СПЛ обеспечивают возможность более безопасного проведения процедур и улучшения методов анализа доз при брахитерапии. Однако метод визуализации, используемый при брахитерапии, в значительной степени ограничивался планарными рентгенограммами, полученными с помощью симуляторов для лучевой терапии или систем визуализации с штативом типа С-дуга. Основное ограничение традиционной 2D брахитерапии заключается в том, что она основана на аппликаторе и точке, и, следовательно, отсутствует пространственная информация об объемах опухоли и объемах КО. При проведении брахитерапии для лечения рака женских половых органов точечные дозы обычно рассчитываются для прямой кишки и мочевого пузыря в соответствии с рекомендациями доклада 38 МКРЕ [5].

Эти точечные дозы не всегда представляют дозу, получаемую всем объемом органа, и в результате дозы, получаемые в объемах КО, часто известны не точно [6, 7]. Таким образом, не существует существенной корреляции между точечными дозами и частотой возникновения токсических явлений в таких органах, как мочевого пузыря [8–11]. Кроме того, неспособность объемной визуализации распространения опухоли приводила к субоптимальному планированию метода применения с недостаточным дозовым охватом в случае крупных опухолей. Вследствие этого ухудшался локальный контроль объемных опухолей [12].

После 1990-х годов значительные технологические достижения привели к использованию методов визуализации для сбора трехмерных данных, внедрению инструментальных средств оконтуривания как объемов мишени, так и объемов КО, новых алгоритмов планирования и оптимизированного по объему планирования лечения для применений как дистанционной лучевой терапии, так и брахитерапии, наряду с новыми конструкциями аппликаторов и аппаратов для афтерлодинга при брахитерапии.

Исследованы различные методы 3D визуализации, такие как ультразвуковой, КТ, МРТ и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Среди всех методов визуализации наиболее часто используется КТ, так как она часто применяется в учреждениях, где проводится 3D конформная дистанционная лучевая терапия [13–16].

3D брахитерапия на основе объемных изображений в основном применяется лишь в нескольких учреждениях. Однако по сравнению с надежными данными о результатах, полученными с помощью методов уровня 1 и 2, она все еще развивается. Европейская группа брахитерапии Европейского общества терапевтической радиологии и онкологии (ЕГБ-ЕОТРО) опубликовала рекомендации по практике и отчетности по 3D брахитерапии на основе объемных изображений при раке шейки матки, которые обеспечивают унифицированный подход к пользователям [17, 18]. Была введена концепция мишени, основанная на МРТ-визуализации, и были даны определения ОО, высокорискового КО (ВР-КО) и среднерискового КО (СР-КО). Группа также рекомендует начать со стандартного метода предписания дозы, как описано в докладе 38 МКРЕ [5], используя либо точку А, либо опорный объем для 60 Гр, а затем скорректировать схему загрузки и времена облучения для обеспечения охвата мишени в областях недостаточной дозы. Поэтому параметры, традиционно используемые в 2D практике, по-прежнему считаются полезными для перехода к 3D практике.

Не имеется рандомизированных исследований фазы III, в которых сравниваются результаты 2D и 3D брахитерапии с точки зрения результативности лечения. Тем не менее, одна из самых больших серий исследований, опубликованных до сих пор, — это работа Петтера и др. [19], которые сообщают о клинических результатах 156 больных раком шейки матки, прошедших адаптивную брахитерапию с визуальным контролем в сочетании с 3D конформной дистанционной лучевой терапией, с химиотерапией или без нее. Результаты 3D методов многообещающие, с превосходными уровнями локального контроля 95–100% через 3 года у пациентов с опухолями менее 5 см и 85–90% у пациентов с большими опухолями (>5 см) с приемлемым уровнем заболеваемости, связанной с лечением. По сравнению с рядом предшествующих 2D методов отмечено относительное уменьшение рецидивирования в тазовой области на 65–70% и снижение серьезной заболеваемости. Другие данные о результативности лечения в одном учреждении подтверждают эти выводы [20–25]. В настоящее время они проверяются в рамках текущего многоцентрового исследования с участием нескольких учреждений в Азии, Европе и Соединенных Штатах Америки [26].

Был также изучен потенциал ультразвукового исследования в качестве альтернативного метода визуализации при проведении внутрисполостной брахитерапии при раке шейки матки [27–29]. Преимущества всеобщей доступности ультразвукового исследования, его экономической эффективности, достижения в сферах 3D ультразвуковой визуализации и ультразвуковой визуализации в реальном времени, а также небольшой объем необходимого обучения делают его областью для клинических исследований с возможностью повышения

доступности брахитерапии, основанной на объемной визуализации. Аналогичным образом, в ряде небольших дозиметрических исследований КТ сравнивалась с МРТ, однако полученные результаты необходимо подтвердить в рамках более крупных клинических исследований [30–32].

Наряду с этими достижениями в области гинекологической брахитерапии в настоящее время проводится ряд других внутритканевых процедур брахитерапии с использованием визуального контроля и 3D планирования, таких как использование имплантатов при раке молочной железы или головы и шеи. Эти процедуры требуют более сложной инфраструктуры из-за необходимости анестезии и во многих случаях сотрудничества с хирургами. Обычно соблюдаются основные принципы 2D подхода, но технически они усовершенствованы, что обеспечивает улучшенное определение анатомической области мишени и нормальной ткани с использованием изображений [33–38].

Потенциальное преимущество применения 3D брахитерапии с ВМД должно быть сбалансировано с более высокой стоимостью и более длительным характером визуализации и процесса 3D планирования лечения (для обработки каждой фракции для типичной пациентки с цервикальным раком требуется около 4 часов). Необходимые исследования при визуализации являются более дорогими, а лечение методом 3D брахитерапии может дополнительно усложнить работу уже загруженного отделения лучевой терапии. Необходимо учитывать доступ к оборудованию для визуализации и другие ограничения ресурсов в отделении лучевой терапии.

Однако стоимость замены двухмерных методик трехмерными может быть компенсирована улучшением результатов лечения [19], что приведет к снижению общих расходов на лечение.

## **4. КОНТРОЛЬНЫЕ ТОЧКИ ДЛЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ с ВМД**

Программу брахитерапии с ВМД уровня 3 следует разрабатывать на прочной основе опыта в рамках программы 2D брахитерапии уровня 2 с использованием планарных изображений и не следует приступать к ее осуществлению до тех пор, пока не будут достигнуты определенные контрольные точки. В вопроснике, который содержится в добавлении I, содержится контрольный список этапов этого процесса. Ниже кратко изложены контрольные точки при разработке программы 3D брахитерапии с ВМД.

Контрольные точки, которых необходимо достигнуть до того, как будут выделены ресурсы на организацию 3D брахитерапии с ВМД с использованием объемных изображений, таковы:

- a) имеются технические средства для проведения брахитерапии уровня 2 на основе планарных изображений;
- b) имеются технические средства для проведения дистанционной лучевой терапии (ДЛТ), предпочтительно трехмерной конформной лучевой терапии (3D КЛТ);
- c) для постановки диагноза и определения стадии заболевания имеются надлежащие средства диагностической визуализации;
- d) для планирования брахитерапии имеется достаточный дополнительный доступ к КТ, ультразвуковым или МРТ-исследованиям;
- e) проведение аудиторской проверки на соответствие методикам и инструментальным средствам брахитерапии уровня 2, приведенным в таблице 1 раздела 2.



Контрольные точки процесса перехода таковы:

- a) назначение достаточного числа сотрудников, с тем чтобы не была поставлена под угрозу существующая программа лучевой терапии;
- b) обучение персонала, который будет отвечать за осуществление программы, включая практическую подготовку;
- c) определение и приобретение всего необходимого дополнительного оборудования и лицензий;
- d) подготовка персонала по вопросам применения;
- e) ввод в эксплуатацию и проверка оборудования и программного обеспечения для 3D брахитерапии;
- f) проверка каждого этапа перехода с уровня 2 на уровень 3 с использованием параллельного процесса, как описано в разделе 10.5;
- g) расширение комплексной программы обеспечения качества медицинского учреждения с целью включения в нее 3D брахитерапии;
- h) разработка в учреждении клинических, а также связанных с визуализацией, дозиметрией и лечением руководящих принципов наряду с процедурами контроля качества и политикой аудита для 3D брахитерапии.

## **5. РЕСУРСЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ВМД**

Организация программы 3D брахитерапии требует значительного объема планирования. Между уровнями 1 и 2 брахитерапии имеются по сравнению с брахитерапией уровня 3 значительные различия с точки зрения оборудования, визуализации, планирования лечения и регистрации дозы (см. таблицу 1 в разделе 2). Материально-технические мероприятия, необходимые для организации программы 3D брахитерапии в учреждении, таковы:

- a) определить сферу охвата программы;
- b) определить необходимые помещения и оборудование;
- c) определить возможное влияние на количество принимаемых пациентов;
- d) разработать бюджет программы, подготовить помещения и закупить оборудование;
- e) определить кадровые потребности программы и принять на работу новых сотрудников;
- f) предусмотреть разумную временную шкалу для проведения приемочных испытаний и ввода в эксплуатацию;
- g) провести обучение всего персонала, задействованного в программе;
- h) разработать необходимые руководящие принципы, политику и процедуры;
- i) разработать и внедрить комплексную программу обеспечения качества для 3D брахитерапии.

Важно предусмотреть достаточное время для обучения до прибытия оборудования, с тем чтобы прошедшие подготовку медицинские физики могли провести приемочные испытания и ввод в эксплуатацию. Ресурсы, необходимые для организации такой программы, изложены в настоящем разделе.

## 5.1. ОБОРУДОВАНИЕ

### 5.1.1. Визуализация

В идеале каждое учреждение будет иметь доступ к компьютерному томографу. Другими методами визуализации, которые полезны при оконтуривании объема мишени, являются магнитно-резонансная визуализация (МРВ), ультразвуковые и различные функциональные методы визуализации, такие как ПЭТ, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, функциональная МРВ, магнитно-резонансная (МР) спектроскопическая визуализация и молекулярная визуализация. Смысл использования информации о трехмерных изображениях заключается в точном определении объемов облучения и объемов КО, которые необходимо оберегать. В отличие от трехмерной КЛТ, планирование лечения традиционно не зависит от информации об относительной электронной плотности для расчета дозы [39].

### 5.1.2. Аппликаторы

Для обеспечения безопасности в магнитных полях при проведении МРВ крайне важно использование МРТ-совместимых аппликаторов и фиксирующих устройств (неферромагнитных). Для минимизации артефактов визуализации при КТ-планировании желателен использовать аппликаторы, совместимые с КТ/МРТ. Следует рассчитывать количество наборов аппликаторов, необходимое для ускорения рабочего процесса, с тем чтобы выбор аппликаторов, доступных для размещения у пациентов, которые готовятся к лечению, не зависел от пациента, лечение которого проводится. Для предотвращения повреждения аппликаторов и задержки их возврата к использованию в будущем для пациентов также необходима надлежащая стерилизация аппликаторов.

Кроме того, для надлежащего охвата мишени и обеспечения защиты нормальных тканей следует учитывать необходимость использования различных типов аппликаторов (например, комбинированных внутритканевых-внутриполостных аппликаторов). Для каждого типа процедуры необходимы трубки для перемещения источника, причем некоторые из них кодированы для обеспечения размещения каждого компонента аппликатора в канале с определенным номером, и поэтому могут потребоваться дополнительные наборы. Для процесса ввода в эксплуатацию необходимы рентгеноконтрастные катетеры, а линейные маркеры МРТ могут быть полезны для визуализации траектории источника при МРТ.

### 5.1.3. Система планирования лечения

Следует иметь в наличии программное обеспечение СПЛ в поддержку 3D брахитерапии на основе объемных изображений с использованием методик, указанных в таблице 1 раздела 2. СПЛ включает функции, относящиеся к сбору данных, расчету дозы и отображению информации, а также возможности передачи изображений и планов через сеть. Руководящие материалы по конкретным аспектам планирования лечения при брахитерапии приведены в разделе 6 (дополнительная информация приведена в [40]).

### 5.1.4. Аппарат для афтерлодинга

Количество необходимых каналов зависит от типа используемых аппликаторов и предполагаемой рабочей нагрузки при использовании многоканальных методов.

### 5.1.5. Подключение к сетям

Необходимо обеспечение возможности подключения СПЛ к устройствам визуализации с использованием стандарта цифровой связи — Цифровые изображения и связь в медицине (DICOM). Поэтому на обоих интерфейсах требуется наличие лицензий на аппаратное и программное обеспечение. Скорость и доступность данных должны гарантировать бесперебойность рабочего процесса брахитерапии, особенно с учетом того, что процедура планирования и лечения обычно выполняется в течение менее чем половины рабочего дня. Для обеспечения полноты данных рекомендуется подключение аппарата для афтерлодинга и соответствующей СПЛ к системе регистрации и подтверждения, используемой для ведения электронной регистрации данных при ДЛТ.

## 5.2. УКОМПЛЕКТОВАНИЕ ПЕРСОНАЛОМ И ПОДГОТОВКА КАДРОВ

В случае недостаточной подготовки лечащих врачей в области осуществления процесса 3D брахитерапии существует значительный риск субоптимального лечения пациентов. Поэтому крайне важно, чтобы лечащие врачи обладали хорошей подготовкой в области томографической визуализации и ее применения в процессе планирования лечения методом 3D брахитерапии. Кроме того, этим врачам необходимо хорошо понимать неопределенности и ограничения, связанные с такими методами. Сведения о зданиях, оборудовании и штатном обеспечении, необходимых для создания базовой службы лучевой терапии, изложены в таблице 2. Эта служба может предоставлять услуги брахитерапии приблизительно 200 пациентам в год (обычно 600–800 процедур при высокой нагрузке, связанной с гинекологическими раковыми заболеваниями) и предполагает наличие практики уровня 2. При этом предполагается, что предоставлением услуг брахитерапии специально занимаются по крайней мере один работающий полный рабочий день радиационный онколог, медицинский физик и медсестра онкологического отделения. Это рекомендуемый базовый уровень, исходя из которого можно ожидать предоставления дополнительных ресурсов при переходе на практику уровня 3 (см. раздел 9).

ТАБЛИЦА 2. ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ШТАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ БАЗОВОЙ КЛИНИКИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Здания	Бункер для мегавольтной установки (желательно зарезервировать пространство для еще одного бункера) Бункер для рентгенотерапевтической ортовольтной установки Помещение симулятора Темная комната (для обработки пленок) Кабинет планирования дозиметрии/кабинет физика (и для хранения оборудования в случае необходимости) Бункер для КЛТ с ВМД (или помещение для КЛТ с НМД) <sup>a</sup> Муляжная мастерская Достаточное пространство для клиники (помещения для осмотра пациентов, проведения консультаций, раздевалки и приемные)
Оборудование дистанционной лучевой терапии	Установка с одной энергией для фотонной дистанционной лучевой терапии Рентгенотерапевтическая установка для ортовольтной лучевой терапии Аппаратура для измерения пучка и оборудование ОК + РЗ <sup>b</sup> Рентгеновский симулятор, предпочтительно симулятор с компьютерной томографией (КТ) (иначе желательно иметь доступ к КТ) Компьютеризированная СПЛ Оборудование для обработки пленок Устройства фиксации пациента и оборудование муляжной мастерской

**ТАБЛИЦА 2. ОБЯЗАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ШТАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ БАЗОВОЙ КЛИНИКИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ (продолжение)**

Оборудование для брахитерапии с ВМД или НМД <sup>a</sup>	Аппарат для брахитерапии, проводимой по методу «афтерлодинг» <sup>a</sup> (если система с НМД, то два устройства или больше) Рентгеновский аппарат типа С-дуга Компьютеризированная СПЛ (для планирования КЛТ с НМД она может быть объединена с СПЛ для дистанционной лучевой терапии) Полная линейка аппликаторов Физическое оборудование для измерений по программе обеспечения качества
Персонал	Четыре или пять радиационных онкологов <sup>c</sup> Три или четыре специалиста по медицинской физике <sup>d</sup> Семь техников-радиологов Три онкологических медсестры <sup>c</sup> Один специалист по техобслуживанию/инженер

**Примечание:** КТ — компьютерная томография; ВМД — высокая мощность дозы; НМД — низкая мощность дозы; СПЛ — система планирования лечения.

**Источник:** Таблица 1 в [2].

<sup>a</sup> Что выбрать: ВМД или НМД. На аппарате для брахитерапии с НМД можно лечить лишь около 100 пациентов в год. Для территорий с большим числом случаев рака шейки матки необходима брахитерапия с ВМД.

<sup>b</sup> ОК + РЗ: обеспечение качества и радиационная защита.

<sup>c</sup> Если сотрудники также отвечают за химиотерапию, потребуется увеличение численности персонала на 50%. В этом случае необходимо иметь блок химиотерапии.

<sup>d</sup> Для этого требуется по крайней мере один, а предпочтительно два старших медицинских физика клинической квалификации. Другие необходимые специалисты-физики должны включать медицинских физиков клинической квалификации в области лучевой терапии, физиков-стажеров или дозиметристов.

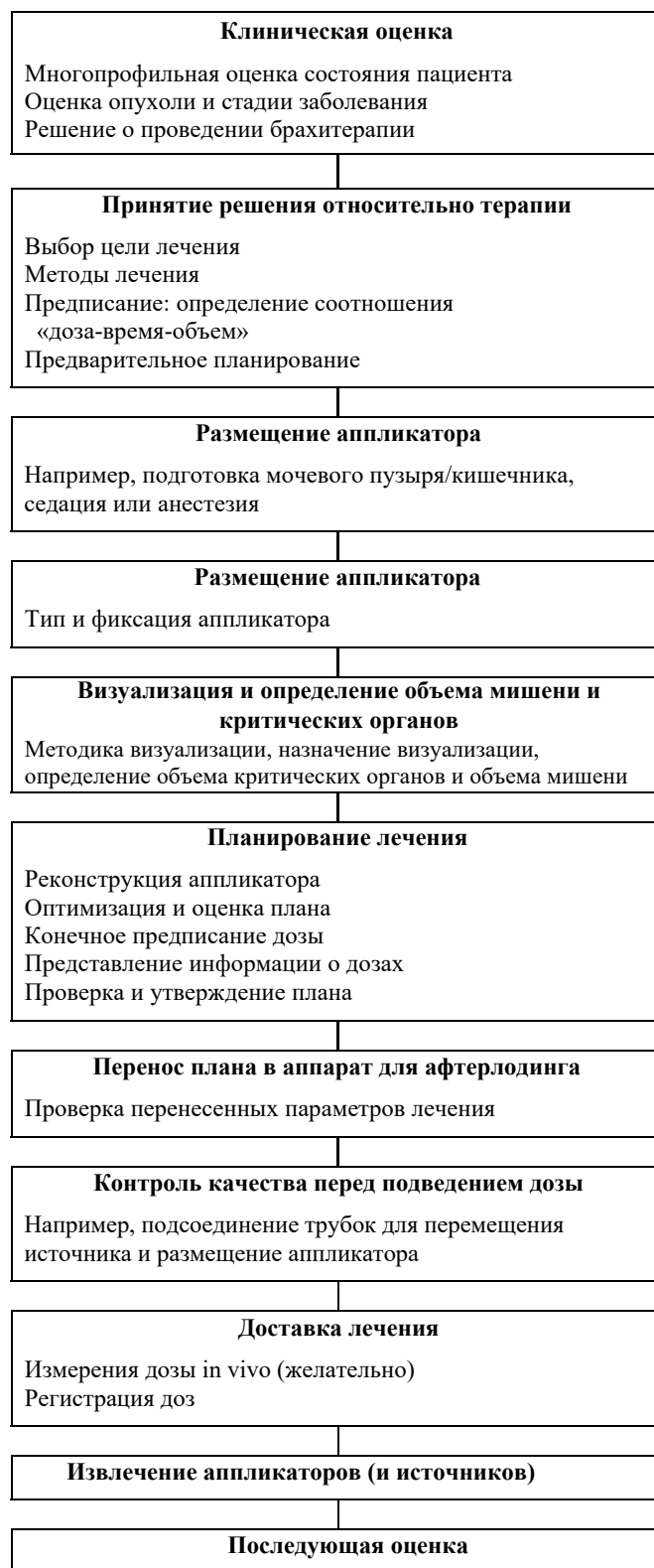
## **6. КЛИНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ 3D БРАХИТЕРАПИИ с ВМД**

### **6.1. КЛИНИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС**

Весь клинический процесс при 3D брахитерапии изложен на рис. 1 и включает десять этапов от клинической оценки до последующего наблюдения, которые описаны в следующих подразделах.

### **6.2. КЛИНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**

Для каждого лечения желательно провести многопрофильную оценку состояния пациента. Для принятия решения о проведении 3D брахитерапии требуются оценка анатомии опухоли и правильное определения стадии заболевания путем проведения медицинского осмотра, патологического исследования и визуализации. Поскольку брахитерапия с ВМД является фракционированной и часто проводится в сочетании с ДЛТ, также требуется оценка анатомии опухоли и реакции при каждом проведении процедуры.



**Примечание:** Специалисты, задействованные на каждом этапе процесса, скорее всего, будут такими же, как и при проведении брахитерапии уровня 2. Однако общая клиническая ответственность лежит на радиационном онкологе, в то время как медицинский физик несет ответственность за физические, технические и дозиметрические аспекты.

*РИС. 1. Типичная процедура 3D брахитерапии.*

### 6.3. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ТЕРАПИИ

При определении цели лечения исходят главным образом из стадии заболевания и объема опухоли, которые определяют характер принятия решения о методике: лечебной или паллиативной. Методика лечения с использованием различных типов аппликаторов и принадлежностей выполняется в соответствии с клиническими правилами учреждения и доступностью оборудования. На этом этапе также определяется цель планирования, включая предписание дозы, которая должна быть подведена, и ограничений дозы для объемов КО. Также рассматриваются соотношения «доза-время» и «доза-объем», такие как интервал между фракциями, возможность уменьшения размеров опухоли во время интервалов и переносимость пациентом лечения. Необходимо также рассмотреть возможность комбинированного лечения методом дистанционной лучевой терапии (временные рамки и дозу).

При переходе к 3D брахитерапии с ВМД необходимо изменить предписание дозы для каждой локализации опухоли, с тем чтобы обеспечить рентгенобиологическую эквивалентность со схемами, основанными на низкой мощности дозы (НМД). Поэтому физическая доза за фракцию в режиме ВМД должна быть пересчитана с помощью радиобиологических моделей [41]. Кроме того, график подведения дозы в режиме ВМД может быть основан на имеющихся клинических данных.

### 6.4. ПОДГОТОВКА ПАЦИЕНТА

Пациентов следует информировать о характере и целях 3D терапии. Между 2D и 3D методами нет существенных различий в отношении подготовки пациента, за исключением случаев, когда этого требуют метод визуализации или другие аппликаторы. Для удобства пациента следует рассмотреть вопрос о применении седации или анестезии. В случае внутритканевых процедур следует обеспечить надлежащую анестезию.

### 6.5. РАЗМЕЩЕНИЕ АППЛИКАТОРА

Размещение аппликатора основано на руководящих принципах 2D методики и производится в соответствии с текущей практикой учреждения. Для обеспечения точного размещения аппликаторов полезно использовать визуальный контроль (например, ультразвуковой контроль для позиционирования внутриматочного тандема).

### 6.6. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА МИШЕНИ И ОБЪЕМА КРИТИЧЕСКИХ ОРГАНОВ

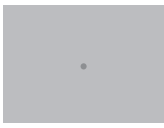


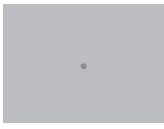
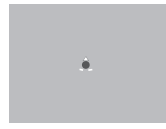
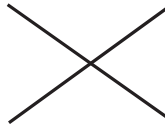



Трехмерная брахитерапия косвенно требует использования методов томографической визуализации. Для определения объемов КОО и КО, а также геометрии аппликатора в основном используются методы КТ, МРТ или УЗИ. В протоколе расчета дозы, предложенном целевой группой 43 Американской ассоциации физиков в медицине (ААФМ) [42], поправки на неоднородность не применяются. Поэтому предпочтительный метод визуализации должен в идеале основываться на получении наилучшего контраста изображения при визуализации мишени и реконструкции аппликатора.

### 6.6.1. Методология визуализации

Процедуры визуализации в учреждении следует разрабатывать, исходя из толщины среза (обычно 2–5 мм) для каждого метода с учетом требований к разрешению, точности расчета параметра «доза-объем» и внутренней геометрической погрешности, равной половине толщины среза [43]. Следует также уделять внимание подготовке пациента (например, заполнению мочевого пузыря и кишечника) и ориентации изображения относительно аппликатора или имплантата, с тем чтобы можно было получить наиболее точную реконструкцию аппликатора. Необходимо разработать местные правила и процедуры, чтобы обеспечить оптимизацию параметров сканирования изображений с точки зрения качества изображения, позволяющего идентифицировать опухолевые/целевые объемы и КО.

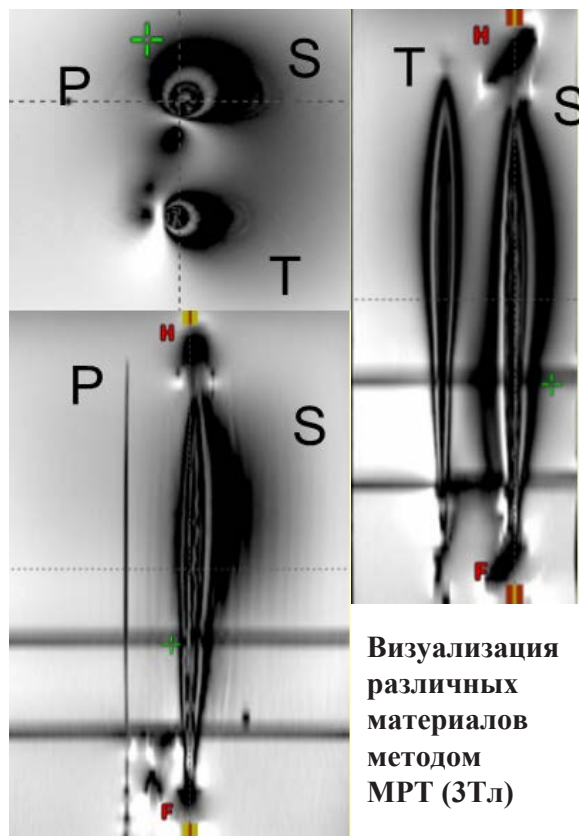
Другие важные факторы, которые следует учитывать, могут включать:

- порядок действий, когда имеется доступ только к КТ [44];
- работу без аппликаторов, совместимых с КТ/МРТ;
- противопоказания к применению контрастного вещества;
- свойства материалов всех принадлежностей в отношении их совместимости с используемой методикой визуализации (см. рис. 2);
- сравнение методов визуализации: по практическим причинам методы визуализации, используемые для диагностики, планирования брахитерапии и межфракционной проверки до подведения дозы, могут различаться (например МРТ для диагностики, КТ для планирования и рентгенограммы для проверки позиционирования аппликатора) [45];
- искажения и артефакты при МРТ могут влиять на воспроизведение геометрии как аппликатора, так и опухоли/органа и их внешнего вида (см. рис. 3 и 4) [46, 47].

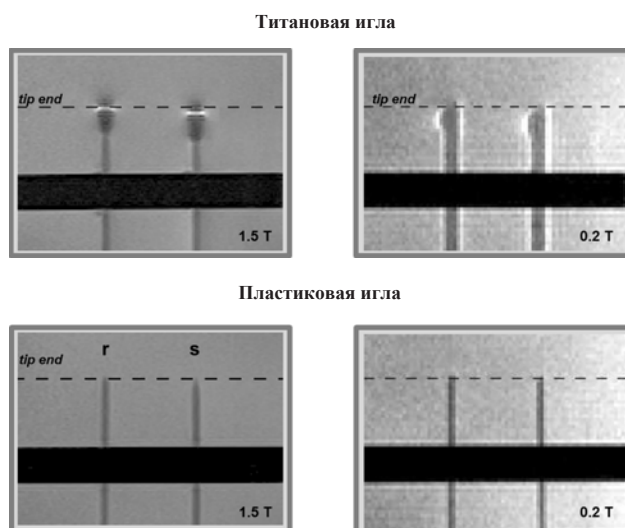
Материал		Пластик	Титан	Сталь
Характеристика		Гибкий	Жесткий	Жесткая
Метод визуализации	КТ			
	МРВ			
	УЗИ			

**Примечание:** при всех методах в случае наличия стали и титана могут появляться значительные артефакты. Запрещается выполнять визуализацию стали с использованием МРТ. КТ — компьютерная томография; МРТ — магнитно-резонансная томография; УЗИ — ультразвуковое исследование.

РИС. 2. Иллюстрация пригодности различных материалов при 3D визуализации для целей брахитерапии.



*РИС. 3. Пример артефактов на изображениях пластиковых (P), стальных (S) и титановых (T) аппликаторов, полученных методом МРТ с высокой индукцией магнитного поля (3 Тл) ( предоставлено К. Тандеруп, Орхусская университетская больница, Дания).*



**Примечание:** Пунктирная линия обозначает реальный край кончика иглы как в случае закругленного края кончика (r), так и в случае острого края кончика (s). В случае титановых игл артефакты, наблюдаемые на верхних изображениях, зависят от напряженности поля и типа МР-томографа, в то время на пластиковых иглах эти артефакты не наблюдаются.

*РИС. 4. Пример проверки качества игл путем сканирования на МР-томографах с низкой (0,2 Тл) и стандартной (1,5 Тл) индукцией магнитного поля (предоставлено С. Менхарт, Венский медицинский университет).*



### 6.6.2. Определение объема критических органов и объема облучения

Концепции, используемые в ДЛТ, следует применять в отношении определения объема и ограничений параметра «доза-объем». Процедура 3D брахитерапии с ВМД планируется с использованием метода моделирования на основе визуализации с целью точного оконтуривания объемов опухоли и КО для конкретного пациента. Эти объемы воссоздаются на основе томографических данных, полученных методами КТ, МРТ или УЗИ. Объемы опухоли и КО оконтуриваются вручную, хотя современные СПЛ могут сегментировать различные структуры автоматически. Радиационный онколог должен убедиться в точности воссозданных объемов мишени. Это требует уделения радиационным онкологом внимания прежде всего более точному определению мишеней, а медицинским физиком — разработке процедур точной визуализации, реконструкции аппликатора и верификации доставки лечения. Ниже приведены руководящие принципы оконтуривания объемов мишени и объемов КО.

Определение объема является необходимым условием для эффективного планирования 3D брахитерапии и точного представления информации о дозах облучения. В докладе 38 МКРЕ [5] описывается процесс точечной 2D гинекологической брахитерапии. В обновлении этой публикации будут представлены новые руководящие принципы проведения 3D брахитерапии (доклад 88 МКРЕ находится на стадии подготовки). Параметры «доза-объем» для практики и представления информации при 3D МРТ-визуализации для брахитерапии рака шейки матки определены в рекомендациях ЕГБ-ЕОТРО [17, 18], и они широко признаны, так что среди практикующих врачей формируется унифицированный подход. Эти рекомендации предназначены для оконтуривания ООО, определяемого как «макроскопическое расширение опухоли во время БТ [брахитерапии], обнаруженное в ходе клинического исследования и визуализированного с помощью МРТ-сканера» [18]; КОМ с высоким риском (ВР-КОМ) с «основным риском местных рецидивов из-за остаточной макроскопической болезни» [18] и КОМ с промежуточным риском (ПР-КОМ) с:

«значительным риском локального рецидива в областях, которые соответствуют начальной макроскопической степени заболевания с остаточным, в большинстве случаев, микроскопическим заболеванием во время БТ. ... Процесс оконтуривания основан на клиническом исследовании при диагностике и при БТ и на наборе изображений срезов (предпочтительно МРТ T2-взвешенных), полученных при диагностике и при БТ с установленным аппликатором» [18].

ВР-КОМ включает ООО (при наличии), всю шейку матки и предполагаемое экстрацервикальное расширение опухоли во время брахитерапии.

Для оконтуривания объема мишени при проведении 3D брахитерапии в случае других локализаций заболевания (например, раке молочной железы и предстательной железы) было разработано очень мало конкретных определений. Таким образом, при оконтуривании для брахитерапии целесообразно использовать те же принципы, которые описаны МКРЕ [4, 48] для облучения внешним пучком:

«Определяемый объем опухоли (ООО): полная пальпируемая или видимая/очевидная степень локализации злокачественной опухоли». [4]

ООО обычно основывается на информации, полученной в результате проведения онкологом медицинского осмотра, и результатах различных методов визуализации (таких как КТ, МРТ и ПЭТ) и других диагностических методов (таких как результаты патологических и гистопатологических исследований).

«Клинический объем мишени (КОМ) — это объем ткани, содержащий видимый ООО и/или субклиническую микроскопическую злокачественную опухоль, которую необходимо ликвидировать. Таким образом, этот объем должен быть подвергнут надлежащему лечебному воздействию для достижения цели терапии — излечения или временного облегчения». [4]

Для того, чтобы определить КОМ, необходимо создать поле для субклинического микроскопического распространения опухоли и других областей, которые рассматриваются как подверженные риску и требуют лечения. Данные для этого получают из гистопатологических проб, полученных во время операции или исследований структуры локальных неблагоприятных исходов для отдельных опухолей. Следует исключать все структуры с четко определенными анатомическими пределами в рамках КОМ (например, мышечные фасции и кости).

Однако в случае 3D брахитерапии внутренний объем мишени и планируемый лечебный объем мишени не определены, поскольку не ожидается ошибок перемещения и расположения органа или опухоли относительно источника и аппликатора.

Критические органы обычно оконтуривают как целую структуру (подобно мочевому пузырю, сигмовидной кишке и прямой кишке при раке шейки матки), а не как стенку органа, поскольку когда учитываются объемы менее 5 см<sup>3</sup>, могут быть использованы не ГДО, рассчитанные только для стенок органов, а ГДО, рассчитанные по внешним контурам органов для мочевого пузыря и прямой кишки [49].

## 6.7. ПЛАНИРОВАНИЕ ЛЕЧЕНИЯ

### 6.7.1. Реконструкция аппликатора

Реконструкция аппликатора необходима для определения пути источника в трех измерениях для каждого канала и определения конца каждого канала, с тем чтобы определить положение наиболее дистального источника. Обычно это выполняется с помощью мультипланарных реконструкций данных визуализации. Прямая реконструкция пути источника — с помощью имитирующих маркерных проволок для рентгеновского излучения, используемых на уровне 2, — не так проста для применения в трехмерном случае. Несмотря на то, что используемые при КТ имитирующие маркеры для рентгеновского излучения и используемые при МРТ линейные источники могут обеспечить аналогичный подход, существуют дополнительные факторы (например, артефакты изображения и эффекты частичного объема). Из-за конечной толщины среза изображений в поперечном срезе может потребоваться подтвердить точную локализацию дистального конца каждой иглы во внутритканевом имплантате с несколькими каналами, например, с помощью рентгенографического изображения, особенно если иглы не полностью выровнены в пределах одной плоскости изображения.

Часто используется косвенная визуализация пути источника, поскольку иногда можно определить только внешние размеры канала аппликатора, а затем для определения фактического пути источника требуется дополнительная информация. Расстояние от физического конца аппликатора до первого положения источника необходимо установить во время ввода в эксплуатацию (см. раздел 10.2).

### 6.7.2. Оптимизация и оценка плана

При переходе на 3D методики следует использовать опыт, накопленный в ходе практики уровня 2. Например, если не включить ВР-КОМ и ПР-КОМ в процесс оптимизации лечения гинекологического рака, это может привести к распределению негрушевидной формы в

случае использования только графического или основанного на инверсном планировании подхода [50]. С другой стороны, преимущество объемной оптимизации в одноканальных применениях (например, эндолуминальных и вагинальных) оказывается ограниченным.

В целом, оптимизация основана на ограничениях дозы, назначенных объемам мишени и КО, или на наборе точек в предварительно заданных объемах (местоположение и глубина, известные по результатам клинической оценки). При уровне 2 точки, как правило, определяются аппликатором или связаны с ориентирами по костным тканям, опорными маркерами или суррогатами, а доступные инструменты оценки плана основаны на изодозных распределениях и ограничениях дозы. При 3D подходе дополнительными инструментами оценки являются гистограммы «доза-объем». Кроме того, изодозы сопоставляются с данными рентгенографического визуализационного исследования, с тем чтобы лучше определить и оценить соотношение «риск-польза» для любых «горячих» и «холодных» точек.

### **6.7.3. Предписание дозы и отчетность**

Соотношение «доза-время-объем», ожидаемое в результате процесса принятия терапевтического решения, может быть изменено после оценки индивидуального плана лечения.

Представление информации о дозах следует производить в соответствии с рекомендациями ЕГБ-ЕОТРО [17, 18] и докладами МКРЕ [5, 51]. На момент публикации ведутся обсуждения с целью достижения международного консенсуса в отношении представления информации о дозах для 3D брахитерапии.

### **6.7.4. Проверка и утверждение плана**

Необходимо разработать локальный контрольный список, чтобы убедиться, что план соответствует предписанию и что все данные, используемые для разработки плана лечения, являются обоснованными. Радиационный онколог несет ответственность за окончательное утверждение плана лечения. В таблице 4 добавления III приведен пример контрольного списка для проверки плана лечения.

## **6.8. ПЕРЕНОС ПЛАНА В АППАРАТ ДЛЯ АФТЕРЛОДИНГА**

После утверждения плана лечения радиационным онкологом необходимо перенести данные из СПЛ в облучающий аппарат. По возможности, должна существовать прямая связь между системой планирования лечения и панелью управления облучающего аппарата, с тем чтобы перенос данных осуществлялся в электронном виде.

## **6.9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПЕРЕД ПОДВЕДЕНИЕМ ДОЗЫ**

Контрольный список контроля качества перед подведением дозы должен включать [52]:

- проверку функций обеспечения радиационной безопасности;
- идентификацию пациента;
- проверку трубки для перемещения источника;
- проверку подготовки пациента;
- проверку позиционирования аппликатора;
- просмотр документации по лечению (например, предписания, фракционирования и подписей);
- проверку соответствия параметров облучения плану.

Причина использования 3D брахитерапии обычно заключается в уменьшении объема нормальной ткани, входящей в получающий лечение объем, по сравнению с уровнями 1 и 2. Поэтому крайне важно уделять пристальное внимание проверке подведения дозы. Важно, чтобы персонал полностью знал о проблемах, связанных с неопределенностями (см. раздел 7). Основной целью контроля качества перед подведением дозы является снижение неопределенности путем обеспечения того, чтобы анатомическая область пациента была такой же, как и во время визуализации (например, рекомендации по наполнению мочевого пузыря).

#### 6.10. ДОСТАВКА ЛЕЧЕНИЯ

Ввиду повышенной сложности лечения при 3D подходе потенциально существует повышенная вероятность ошибки. Кроме того, предписанная доза, скорее всего, будет ближе к предельно допустимой и поэтому влияние ошибки дозы окажется более значительным. Поэтому во время лечения необходимо проводить независимую проверку дозы или дозиметрию *in vivo*. В недавнем обзоре по дозиметрии *in vivo* при брахитерапии делается вывод о том, что обнаружение грубых ошибок в доставке лечения при проведении брахитерапии возможно с помощью дозиметрии *in vivo* [53]. Вместе с тем в этом обзоре подчеркивается, что необходимы дальнейшие разработки в целях совершенствования технологии детекторов, с тем чтобы уровень точности был сопоставим с уровнем, достигнутым в *in vivo* дозиметрии при ДЛТ.

#### 6.11. ИЗВЛЕЧЕНИЕ АППЛИКАТОРОВ И ИСТОЧНИКОВ

Извлечение аппликаторов и источников не отличается от аналогичных операций при 2D брахитерапии. Следует придерживаться обычной практики учреждения.

#### 6.12. ПОСЛЕДУЮЩАЯ ОЦЕНКА

Ожидается, что побочные эффекты при трехмерной брахитерапии окажутся такими же или меньшими, чем при высококачественной терапии уровня 2. Следует проводить стандартную политику учреждения с точки зрения оценки заболеваемости, борьбы с болезнями и качества жизни. Как и в случае любого процесса перехода, рекомендуется дополнительный клинический мониторинг пациентов для выявления структуры неустойчивых эффектов.

## 7. НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ БРАХИТЕРАПИИ

Подробное описание всех неопределенностей в процессе брахитерапии выходит за рамки данного документа. Этой широкой теме в области лучевой терапии посвящена публикация МАГАТЭ «Accuracy Requirements and Uncertainties in Radiation Therapy», в этой публикации приведены количественные данные о неопределенностях при проведении брахитерапии<sup>1</sup>. В докладе ААФМ [54] рассматриваются неопределенности в брахитерапии, за исключением неопределенностей при доставке лечения. Согласно оценке, общая дозиметрическая

---

<sup>1</sup> МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Требования к точности и факторы неопределенности в лучевой терапии», Серия изданий по здоровью человека № 31, МАГАТЭ, Вена (на стадии подготовки).

неопределенность составляет менее 5% ( $k = 1$ ) при условии, что используются дозиметрические данные брахитерапии, согласованные на основе международного консенсуса. Ниже приведен ряд важных моментов при переходе к 3D брахитерапии:

- a) переход от 2D к 3D брахитерапии с ВМД в принципе не изменяет дозиметрических неопределенностей, связанные с калибровкой источников, алгоритмами СПЛ и доставкой лечения;
- b) возникает дополнительная неопределенность, связанная с использованием различных методов визуализации и реконструкции аппликатора на основе наборов 3D данных. Эти неопределенности необходимо будет охарактеризовать в процессе ввода в эксплуатацию (см. разделы 10.1 и 10.2);
- c) трехмерная брахитерапия также приводит к неопределенностям, связанным с определением объема мишени и КО на основе наборов 3D данных пациентов. Недавно появились сообщения о межклинических и внутриклинических вариациях объемов мишени при гинекологической брахитерапии [55, 56].

## **8. ТРЕБОВАНИЯ К ОБУЧЕНИЮ И ПОДГОТОВКЕ КАДРОВ**

Существуют значительные различия в отношении компетенции, необходимой для проведения 2D и 3D брахитерапии и планирования лечения. Переход от одного метода к другому является важным мероприятием. Важное значение имеет опыт проведения брахитерапии уровней 1 и 2. Однако для перехода на уровень 3 необходимы дополнительные навыки. В разделах 6 и 10 приводится описание способов осуществления уровня 3 в учреждении. Необходимо, чтобы каждый член группы специалистов, участвующий в планировании и проведении брахитерапии, хорошо понимал свою роль, с тем чтобы обеспечить безопасное и эффективное использование этой методики. Программа обучения уровня 3 должна включать подробное описание каждого из этапов, описанных в разделе 6. В добавлении I подробно описаны компетенции, необходимые для обеспечения функционирования программы брахитерапии уровня 3. Читателю также рекомендуется обратиться к разделу 6.1 в [3], в котором содержатся руководящие материалы относительно требований к персоналу и обучения, необходимых для разработки программы брахитерапии с ВМД.

## **9. ТРЕБОВАНИЯ К КАДРОВЫМ РЕСУРСАМ**

Для проведения 3D брахитерапии с ВМД требуются дополнительные людские ресурсы, что связано с дополнительной сложностью в сферах визуализации и планирования лечения. МАГАТЭ разработало инструментальное средство для оценки уровней укомплектования кадрами в области лучевой терапии, которое вскоре будет опубликовано. Если планируется лечение 200 пациентов в год методом 3D брахитерапии, то число радиационных онкологов, необходимых для проведения брахитерапии, необходимо увеличить на 0,8 эквивалента полной занятости (ЭПЗ) по сравнению с штатным расписанием в случае 2D брахитерапии, обеспечивающим лечение того же числа пациентов. Подобным же образом, число медицинских физиков должно быть увеличено на 0,5 ЭПЗ, а медицинских сестер отделения радиационной онкологии — на 0,3 ЭПЗ.

## **10. ВВОД В ЭКСПЛУАТАЦИЮ, ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И АУДИТ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ 3D БРАХИТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Для безопасного проведения брахитерапии уровня 3 необходимо наличие программы обеспечения качества, охватывающей весь процесс от клинической оценки до последующей деятельности. Она должна охватывать весь персонал и виды деятельности, связанные с этим процессом. Все сотрудники должны понимать свою роль в осуществлении этого процесса. Например, в разделе 6.12 подчеркивается важность мониторинга клинических результатов в рамках общего процесса обеспечения качества.

Вопросы программ обеспечения качества при лучевой терапии подробно описаны в [2]. Существуют дополнительные процедуры контроля качества, которые необходимо выполнять на каждом этапе процесса 3D брахитерапии, особенно в отношении визуализации, аппликаторов и СПЛ, и они рассматриваются в данном разделе.

### **10.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ**

Необходимо регулярно оценивать перемещение стола пациента в КТ, особенно при использовании спирального сканирования, с целью проверки точности реконструкции срезов и точности перемещения стола пациента. Подробные сведения об обеспечении качества компьютерных томографов можно найти в [57, 58].

При использовании МРТ-визуализации для планирования лечения необходимо уделять особое внимание проблеме искажения изображения. Проблемы, связанные с использованием МРТ-визуализации при лучевой терапии, рассматриваются в [57].

Контроль качества ультразвуковых систем был рассмотрен Целевой группой 1 ААФМ [59] и Целевой группой 128 ААФМ [60].

### **10.2. АППЛИКАТОРЫ**

Руководящие принципы ввода в эксплуатацию и контроля качества для аппликаторов опубликованы в справочной литературе [2, 61, 62]. Особое значение при вводе аппликатора в эксплуатацию имеет подтверждение расстояния от физического конца аппликатора до первого положения источника согласно соответствующим техническим чертежам (см. рис. 5). Это может быть сделано с помощью автордиографии. Необходимо регулярно осматривать аппликаторы, включая, в частности, обтюраторы и винты, а также проверять, что каждый канал свободен от препятствий перед введением и после каждого извлечения.

На рис. 6 приведена иллюстрация метода контроля качества для проверки реконструкции аппликатора. Реконструкция пути источника для аппликатора должна быть проверена на основе репрезентативных позиций облучения. Эти репрезентативные позиции облучения (см. схему загрузки в части (b) рис. 6) должны быть определены и проверены в процессе ввода аппликатора и СПЛ в эксплуатацию с помощью автордиографии (см. рис. 7). На автордиограммах местоположения «облученных» пятен на пленке должны быть идентичными местоположениям (позициям облучения) вдоль «виртуального» пути источника, определенного

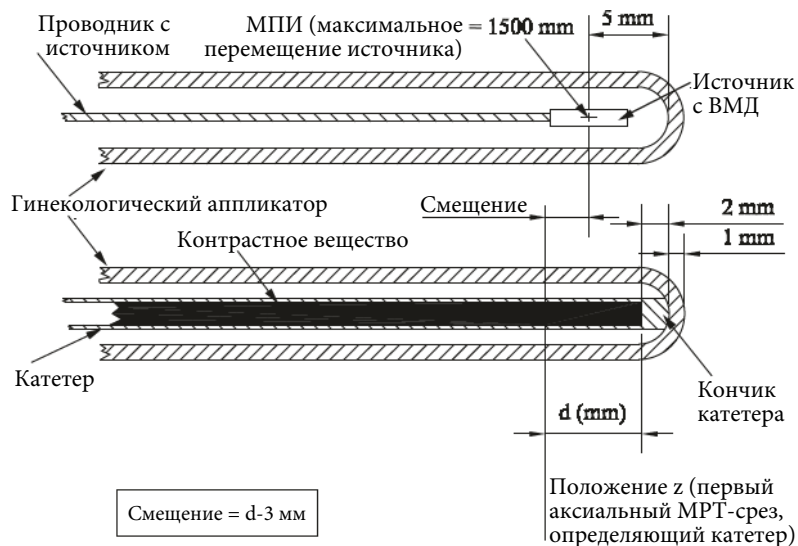


РИС. 5. Схематический чертеж типичной конструкции катетера, показывающий расстояния относительно кончика катетера (воспроизведено из [64] с разрешения компании «Эльзевир»).

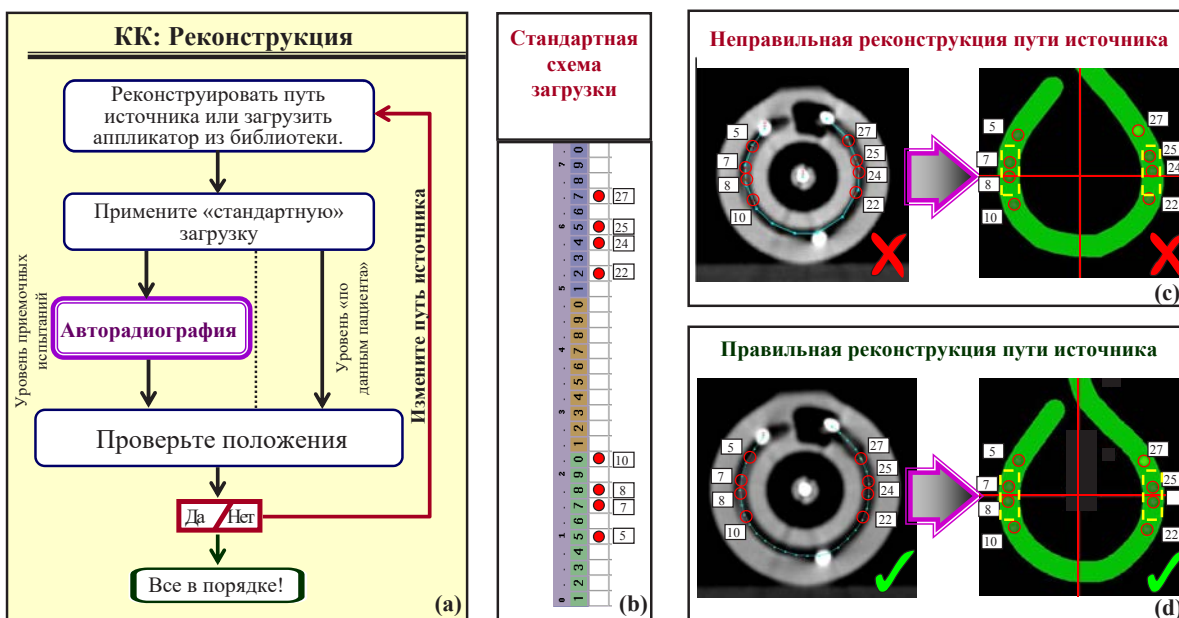
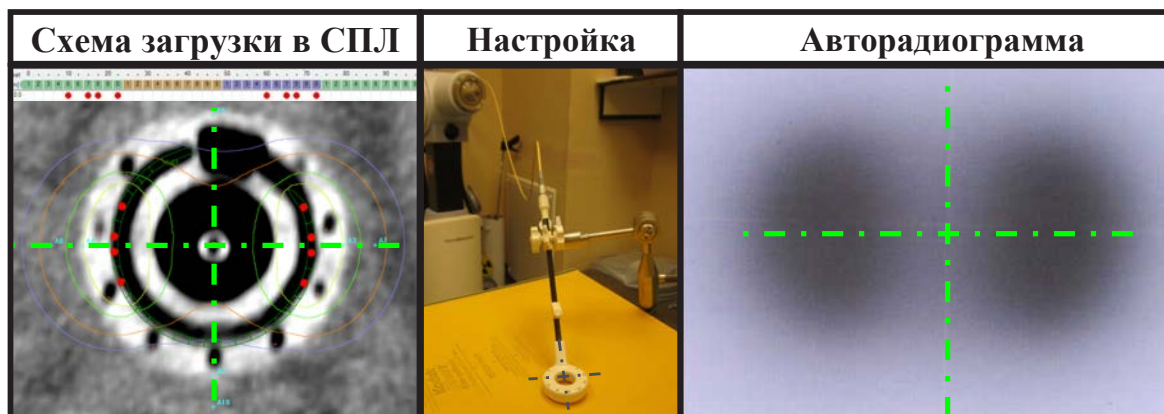


РИС. 6. Иллюстрация процедуры контроля качества при реконструкции аппликатора с помощью (a) процедуры контроля качества, (b) стандартной схемы загрузки и иллюстрации (c) неправильной реконструкции, приводящей к асимметричному изображению позиций облучения и (d) правильной реконструкции.

в СПЛ. Путь источника определяется из встроенной библиотеки аппликаторов, стандартного плана или независимого фантома с помощью методов прямой реконструкции (см. также [63]). При применении этого метода на основе конкретных заявок, ошибки реконструкции могут быть обнаружены путем визуального просмотра реконструированного пути источника в СПЛ.



**Примечание:** эта процедура используется для определения конкретной схемы загрузки, которая приведет к симметричному распределению дозы на пленке, а также для определения правильного пути источника, используемого для реконструкции.

*Рис. 7. Иллюстрация процедуры получения авторадиограммы при вводе аппликатора в эксплуатацию.*

### 10.3. СИСТЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

СПЛ должна иметь ряд особенностей, специфических для брахитерапии. Их можно разделить на геометрические функции и функции, связанные с расчетом дозы. Список общих требований к СПЛ приведен в [2], однако полное обсуждение вопросов ввода в эксплуатацию СПЛ и обеспечения качества содержится в [40]. В следующих двух подразделах рассматриваются конкретные функции, имеющие отношение к брахитерапии (см. разделы 9.5 и 9.6 в [40]).

#### 10.3.1. Геометрические функции

СПЛ должна иметь возможность обработки набора данных большого объема, который может включать до 120 изображений срезов. Для получения удовлетворительных реконструированных изображений аппликатора и объема требуется небольшое расстояние между срезами (приблизительно 3 мм, диапазон 2–5 мм). Необходимы системы для 3D визуализации анатомии, оконтуренных структур и наложения доз, а также мультипланарной реконструкции наборов данных изображений. Полезной функцией является совмещение изображений на основе координат аппликатора для брахитерапии или координат DICOM с помощью одного и того же метода визуализации (например, аксиальных, сагиттальных и коронарных МРТ-изображений) или различных методов визуализации (например, КТ и МРТ).

В разделе 9.5.4 в [40] содержатся четыре теста реконструкции геометрических параметров для СПЛ при брахитерапии. Тест 1 касается качества реконструкции источника, а тесты 2 и 3 относятся к идентификации источника. Тест 4 предназначен для подтверждения того, что программное обеспечение различает общую длину источника и активную длину источника.

#### 10.3.2. Модели расчета дозы

Тесты для расчета дозы, описанные в разделе 9.5.3 документа [40], обеспечивают прочную основу для тестирования при вводе в эксплуатацию и контроле качества алгоритма СПЛ для брахитерапии. Особое значение имеет проверка дозиметрических данных СПЛ для каждого источника на соответствие международным эталонным данным, приведенным,



например, в рекомендациях целевой группы 43 ААФМ [42] или в докладе ААФМ о дозиметрии высокоэнергетических источников при брахитерапии [65]. Отображение дозы и проверка ГДО описаны в разделе 9.6 документа [40].

#### 10.4. АППАРАТЫ ДЛЯ АФТЕРЛОДИНГА

При переходе от 2D брахитерапии с ВМД к 3D брахитерапии с ВМД облучающий аппарат (аппарат для афтерлодинга) может оставаться прежним. Следует продолжать практику контроля качества аппарата для афтерлодинга. В данной публикации рассматривается возможность перехода от 2D брахитерапии с НМД к 3D брахитерапии с ВМД, и в этом случае потребуется разработать и внедрить процедуры ввода в эксплуатацию и контроля качества для нового аппарата для афтерлодинга. В этой области есть несколько отличных справочных материалов, в том числе [2, 57, 61, 66, 67].

Наконец, проверка достоверности данных, передаваемых в электронной форме в СПЛ и аппарат для афтерлодинга, считается важной частью ввода в эксплуатацию и контроля качества, и она необходима, если до перехода к 3D брахитерапии использовались стандартные планы на основе библиотеки [40].

#### 10.5. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА ПЕРЕХОДА

При проверке согласованности самого процесса перехода рекомендуется выполнять пошаговую процедуру. Ниже приведен пример процедуры, состоящей из пяти этапов.

##### **10.5.1. Этап 1: Исследования с использованием фантома для оценки предусмотренных методов реконструкции для конкретной локализации**

Следует произвести визуализацию фантома известной геометрии, содержащего аппликаторы, с использованием как методов визуализации уровня 2 (планарной), так и методов визуализации уровня 3 (объемной) (см. рис. 8). Геометрические параметры реконструированных «виртуальных» аппликаторов следует оценивать по известным размерам [61]. Обратите внимание, что нет необходимости использовать имеющийся в продаже фантом.

##### **10.5.2. Этап 2: Клиническая параллельная визуализация и реконструкция**

Для того, чтобы свести к минимуму риск серьезной систематической ошибки в новом рабочем процессе визуализации и планирования, визуализацию первых нескольких пациентов следует производить с использованием обеих методик, но их лечение — с использованием плана лечения уровня 2. Таким образом может быть проведена перекрестная проверка процесса, а методология представления информации о дозах уровня 3 с использованием ГДО может быть сопоставлена с опытом уровня 2 на основе точек МКРЕ. Конечная цель этого этапа заключается в том, чтобы уточнить и улучшить руководящие принципы визуализации и оконтуривания в данной организации.

##### **10.5.3. Этап 3: Внедрение процедур объемной визуализации**

На этом этапе применяются локальные процедуры визуализации для уровня 3, но сохраняются планирование лечения и подведение доз уровня 2.

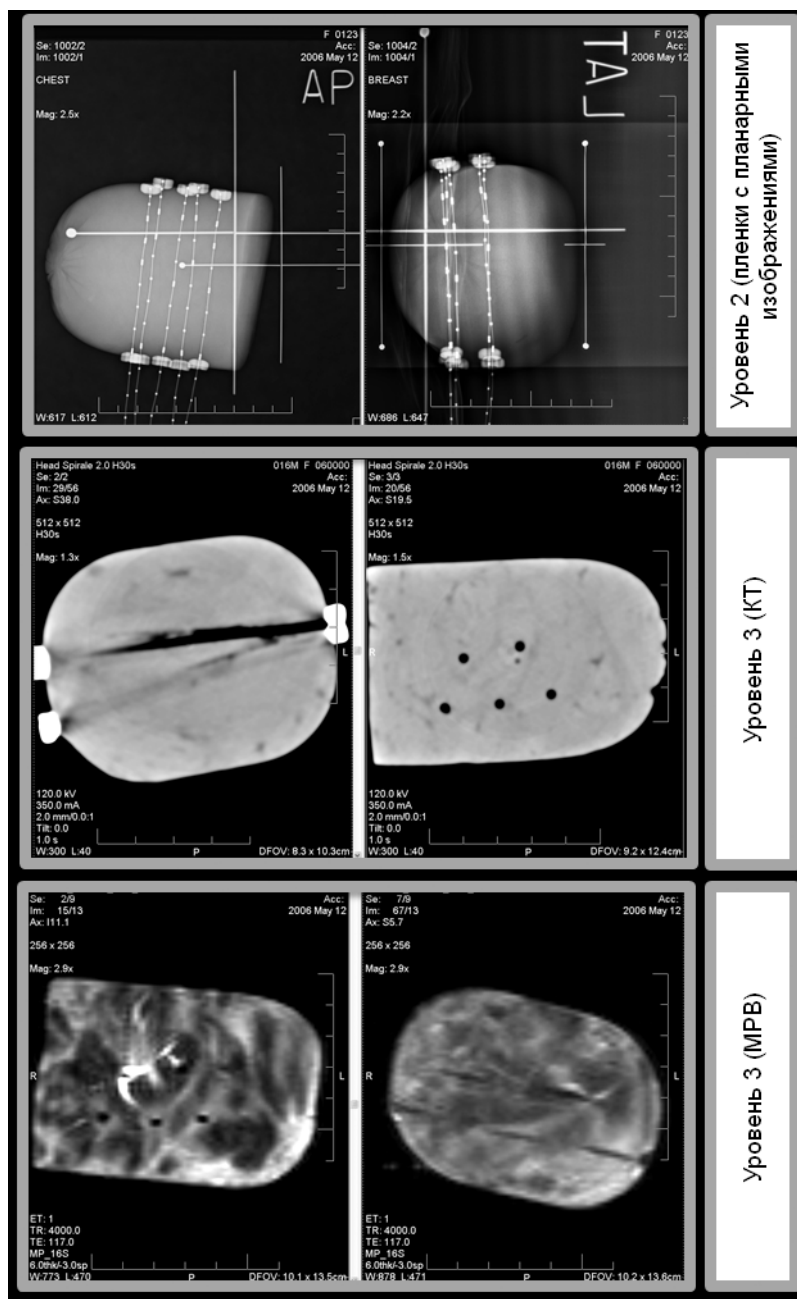


РИС. 8. Планарные и объемные изображения фантома, содержащего аппликаторы, для оценки методов реконструкции.

#### 10.5.4. Этап 4: Объемная оптимизация на основе объемов критических органов

На этом этапе процесс уровня 2 по-прежнему используется для предписания дозы, но проводится и регистрируется терапия уровня 3. На этом этапе формируется опыт объемной оптимизации и оценки плана, но при этом удастся избежать ошибочного толкования предписания уровня 3. Очевидно, что необходимо учитывать дозу облучения объемов мишени, так как ограничения дозы для объемов мишени не включены в оптимизацию. Возможно, потребуется

внести изменения в результат чисто математической процедуры оптимизации, основанной только на объемах КО. Конечной целью этого этапа является развитие компетенции в области клинической оптимизации.

#### **10.5.5. Этап 5: Оптимизация, оценка и предписание уровня 3**

На этом этапе оптимизация основана на объемах мишеней и КО. Теперь используется весь процесс 3-го уровня, и компетенция, приобретенная в ходе этапа 4, должна убедить специалистов в том, что для имплантата достигнут оптимальный план.

Если на любом из указанных выше этапов не удалось достичь цели планирования, необходимо пересмотреть сам имплантат или повторить его использование.

### **10.6. ВНУТРЕННИЙ И ВНЕШНИЙ АУДИТ**

Необходимость аудита как меры обеспечения качества признана уже давно. МАГАТЭ разработало методологию Группы аудита обеспечения качества в радиационной онкологии (КВАТРО) [68] для аудита практики лучевой терапии, наряду с соответствующими подробными процедурами медицинской физики [69]. В [68, 69] содержатся конкретные разделы по проведению аудита практики брахитерапии. Внутренний аудит практики 3D брахитерапии с ВМД в учреждении следует проводить с использованием методологии КВАТРО.

Кроме того, при проведении внутреннего аудита будут полезны внутренняя проверка соответствия с использованием содержащегося в добавлении I вопросника для самооценки и рассмотрение документации о процессе перехода к 3D брахитерапии (например, раздел 10.5).

В рамках программы обеспечения качества медицинского учреждения следует регулярно проводить на местах силами признанных экспертов внешний аудит практики брахитерапии.



## Добавление I

### ВОПРОСНИК ДЛЯ САМООЦЕНКИ

Данный вопросник предназначен для оказания помощи учреждениям, планирующим приступить к осуществлению программы 3D брахитерапии с ВМД, с тем чтобы обеспечить выполнение всех необходимых требований. К моменту лечения первого пациента на все вопросы должны быть даны ответы «Да». В случае выявления пробелов их необходимо устранить. Вопросник начинается с требований к ресурсам, а затем изучается процесс планирования и проведения 3D брахитерапии с ВМД для того, чтобы выявить проблемы, которые необходимо решить.

#### I.1. РЕСУРСЫ

##### I.1.1. Укомплектование персоналом

1. Было ли нанято достаточное число сотрудников для проведения 3D брахитерапии с ВМД при одновременном сохранении существующей практики брахитерапии?
2. Есть ли у вас радиационный онколог, обладающий подготовкой и опытом в области практики брахитерапии уровня 2?
3. Обладает ли радиационный онколог академическими знаниями, необходимыми для проведения 3D брахитерапии с ВМД, в отношении:
  - анатомии поперечных сечений и радиологической анатомии;
  - объемов мишени и структур КО;
  - радиобиологических аспектов брахитерапии и данных о зависимости между дозой и эффектом;
  - характеристик аппликатора (обращение, материал, совместимость с визуализацией и дозиметрическая эффективность);
  - характеристик источников в брахитерапии и функциональности системы доставки лечения;
  - радиационной безопасности и защиты при брахитерапии (включая аварийные процедуры) и соответствующих нормативных актов?
4. Прошел ли радиационный онколог практическое обучение по оконтуриванию объемов мишени и критических структур?
5. Знаком ли радиационный онколог с процедурами сканирования объемных изображений?
6. Прошел ли радиационный онколог практическое обучение работе с СПЛ для оконтуривания, обработки изображений, визуализации дозы и оценки плана?
7. Есть ли у вас медицинский физик, который прошел обучение и имеет опыт в области брахитерапии уровня 2?
8. Обладает ли медицинский физик академическими знаниями, необходимыми для проведения 3D брахитерапии с ВМД, в отношении:
  - базового понимания анатомии поперечных сечений и радиологической анатомии в связи с планированием брахитерапии и пониманием планов лечения;
  - объемов мишени и структур КО;
  - базового понимания радиобиологических аспектов брахитерапии и данных о зависимости между дозой и эффектом;

- знания характеристик аппликаторов и методик реконструкции;
  - характеристик источников в брахитерапии и функциональности системы доставки лечения;
  - понимания характеристик, технологии и ограничений визуализации методами КТ/МРТ/УЗИ;
  - радиационной безопасности и защиты при брахитерапии (включая аварийные процедуры) и соответствующих нормативных актов;
  - случайных и систематических ошибок при лечении методом брахитерапии;
  - дозиметрии *in vivo* (например, калибровки, процедур и характеристик дозиметров);
  - контроля качества оборудования для брахитерапии и дозиметрического оборудования;
  - приемочных испытаний и ввода в эксплуатацию СПЛ для 3D брахитерапии с использованием изображений;
  - контроля качества аппаратов КТ/МРТ/УЗИ, особенно в отношении геометрии и артефактов?
9. Прошел ли медицинский физик практическую подготовку по эксплуатации СПЛ при брахитерапии для моделирования источников и аппликаторов, оконтуривания, регистрации изображений, планирования лечения, оптимизации дозы и инструментов оценки плана?
10. Прошел ли медицинский физик практическую подготовку по контролю качества 3D брахитерапии с ВМД и связанных с ней устройств визуализации?
11. Имеется ли медицинский физик (или специалист по информационным технологиям), который знаком с сетевыми технологиями и протоколами DICOM?
12. Если применимо, обладают ли специалисты в области брахитерапии подготовкой и опытом в связи с выполнением дополнительных требований к 3D брахитерапии с ВМД в отношении:
- базового понимания анатомии поперечных сечений и радиологической анатомии в связи с брахитерапией и понимания планов лечения методом брахитерапии и соответствующей документации;
  - применения КТ при планировании брахитерапии (если применимо);
  - методов обращения с пациентом и методов переноса данных, специфических для брахитерапии;
  - процедур эксплуатации аппарата для афтерлодинга с ВМД и аварийных процедур;
  - ежедневного контроля качества применительно к аппаратам для афтерлодинга с ВМД?

### **I.1.2. Оборудование**

13. Имеется ли сканер для визуализации, пригодный для планирования брахитерапии, с достаточным приоритетом доступа?
14. Имеется ли достаточное количество наборов аппликаторов, совместимых с КТ/МРТ?
15. Имеется ли СПЛ для брахитерапии на основе изображений, обладающая достаточными резервными возможностями для:
- обеспечения связи по протоколам DICOM между всеми устройствами визуализации, которые будут использоваться для планирования лечения методом брахитерапии;
  - обработки наборов данных трехмерных изображений;
  - реконструкции и отображения в режиме 3D;
  - расчета и отображения дозы в режиме 3D;
  - расчета и отображения ГДО;
  - инструментальных средств оптимизации?
16. Подключен ли через сеть аппарат для афтерлодинга с ВМД к СПЛ при брахитерапии?

17. Есть ли возможность регулярной замены источника при необходимости?
18. Имеется ли надлежащее оборудование для контроля качества физических параметров?
19. Имеется ли в процедурном кабинете для брахитерапии, проводимой по методу «афтерлодинга», оборудование для обеспечения безопасности в аварийных ситуациях?

## **I.2. ПРОЦЕСС**

### **I.2.1. Визуализация**

20. Выполнена ли проверка геометрической точности компьютерного томографа и находится ли она в пределах 1 мм?
21. В надлежащих случаях, была ли проведена проверка искажений в МРТ-изображениях?

### **I.2.2. Аппликаторы**

22. Был ли выполнен ввод в эксплуатацию аппликаторов и их реконструкция с целью демонстрации геометрической точности?
23. Существуют ли правила и процедуры регулярного контроля качества аппликаторов?

### **I.2.3. Планирование лечения**

24. Введены ли соответствующие параметры источника и аппликатора в базу данных физических параметров СПЛ для брахитерапии?
25. Проверен ли расчет дозы с точки зрения геометрической и дозиметрической точности для проверяемых геометрий?
26. Были ли проверены алгоритмы получения ГДО?
27. Были ли письменно изложены принципы оконтуривания ООО и КОМ?
28. Были ли письменно изложены принципы оконтуривания нормальных тканевых структур, включая указание персонала, уполномоченного выполнять эту операцию?
29. Имеется ли система, которая обеспечивает независимую проверку дозы, рассчитанной СПЛ, перед каждым курсом терапии пациента? Например, проверку того, что суммарная опорная воздушная керма (СОВК) находится в типичном диапазоне для конкретной локализации опухоли?
30. Были ли установлены все сетевые соединения, и были ли процедуры передачи данных визуализации и плана проверены на точность с использованием реалистичных данных?
31. Имеются ли соответствующие принципы и процедуры планирования лечения, в которых подробно описаны методы и параметры расчета дозы для определенных локализаций?
32. Были ли разработаны принципы назначения для всех соответствующих локализаций и включают ли они ограничения параметра «доза-объем» для нормальных тканей?
33. Существует ли принцип оценки планов лечения, включая анализ данных 3D визуализации объемов мишени в сравнении с рассчитанными дозами и ГДО?

### **I.2.4. Лечение пациента**

34. Существует ли проверенная процедура передачи данных пациента из системы планирования в аппарат для афтерлодинга с ВМД и были ли возложены на соответствующий персонал обязанности по обеспечению точности и достоверности данных?
35. Существуют ли принципы и процедуры регулярного контроля качества аппарата для афтерлодинга с ВМД?

36. Существуют ли принципы и процедуры последующего наблюдения за пациентами после лечения с целью регистрации результатов лечения?

#### **1.2.5. Переход**

37. Были ли документально оформлены и проанализированы в учреждении результаты обеспечения качества процесса перехода, описанные в разделе 10.5?

#### **1.2.6. Аудит**

38. Был ли завершен и документально оформлен внутренний аудит предлагаемой программы 3D брахитерапии с ВМД (например, с использованием методологии КВАТРО [68])?
39. Были ли определены учреждения, которые могли бы провести внешний аудит программы 3D брахитерапии с ВМД?



## Добавление II

### ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ РАСХОДЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ

ТАБЛИЦА 3. ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ РАСХОДЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ 3D БРАХИТЕРАПИИ (ДОЛЛ. США, ПО КУРСУ 2013 ГОДА)

п/п	Расходы
Визуализация/симуляция лечения	
КТ	450 000
МРТ	700 000–2 000 000
УЗИ	20 000–80 000
Рентгенографическое оборудование	100 000
Аппликаторы (совместимые с КТ/МРТ)	
Внутриполостной набор	5 000–12 000
Комбинированный внутриполостной/внутриканевый набор	5 000–24 000
Доставка лечения	
Аппарат для афтерлодинга с ВМД	250 000
Замена источника	6 000 за комплект замены
Планирование	
Рабочая станция СПЛ с ПО для 3D брахитерапии	100 000–200 000
Интерфейс DICOM	100 000
Дозиметрическое оборудование и оборудование для контроля качества	
Откалиброванная ионизационная камера колодезного типа	3 000
Электрометр	5 000–10 000
Оборудование дозиметрического контроля	3 000
Пленочная дозиметрия	1 000

**Примечание:** прочие учитываемые статьи расходов включают: анестезиологию, хирургическое и другое медицинское оборудование; контракты на техническое обслуживание (текущее обслуживание и обновление) — 10% от стоимости основного оборудования в год; расходные материалы и принадлежности (аппликаторы, иглы, принадлежности, стерилизационные материалы, лекарства и медицинское оборудование). КТ — компьютерная томография; DICOM — цифровая визуализация и обмен данными в медицине; МРТ — магнитно-резонансная томография; СПЛ — система планирования лечения.

### Добавление III

#### ПРИМЕР КОНТРОЛЬНОГО СПИСКА ПЛАНА ЛЕЧЕНИЯ

ТАБЛИЦА 4. КОНТРОЛЬНЫЙ СПИСОК ДЛЯ ПРОВЕРКИ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПЛАНА ЛЕЧЕНИЯ

Отметьте ответ		Да	Нет
Личные данные пациента верны (имя, дата рождения, уникальный идентификатор пациента)			
Последовательность(и) изображений верна(ы) (идентификация, качество, толщина среза) и импортирована(ы)			
В случае МРВ порядок импортированной последовательности таков: сначала «пара-поперечное» (оконтуривание), затем «пара-коронарное», «сагиттальное», строгое аксиальное или поперечное, любое другое			
Реконструкция аппликатора верна	Длины индексов		
	Смещения (расстояние от поверхности аппликатора до наиболее дистальной позиции источника)		
	Схема распределения каналов верна (например, 1— правый овоид, 2— левый овоид, 3 — тандем)		
Оконтуривание мишени(ей) и/или КО уже проведено и согласуется с клиническими протоколами			
Предписанная доза соответствует протоколу диагностики и лечения (например, D90, точка А, глубина ткани 5 мм)			
Если применимо, точка(и) предписанной терапии расположена(ы) правильно			
Определены точки отчетности о дозе (например, МКРЕ, точки А, В, точки поверхности аппликатора)			
Отображаются параметры ГДО (например, мишени: D90, D98, D50, D100; КО: D <sub>0,1cc</sub> D <sub>2cc</sub> )			
Величина СОВК и опорный объем являются разумными с учетом локализации опухоли			
Отметьте планируемую мощность источника в сГр·м <sup>2</sup> /ч _____			
Примечания по конкретному пациенту:			

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Планирование национальных служб лучевой терапии: практическое пособие», Серия изданий МАГАТЭ по здоровью человека № 14, МАГАТЭ, Вена (2015).  
МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Учреждения лучевой терапии: рекомендации по разработке генерального плана и концептуального проекта», Доклады МАГАТЭ по здоровью человека, № 10, МАГАТЭ, Вена (2015)
- [2] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Разработка программы лучевой терапии: аспекты клинической практики, медицинской физики, радиационной защиты и безопасности», МАГАТЭ, Вена, (2015)
- [3] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Implementation of Microsource High Dose Rate (mHDR) Brachytherapy in Developing Countries, IAEA-TECDOC-1257, IAEA, Vienna (2001).
- [4] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Quantities and Units in Radiation Protection Dosimetry, ICRU Rep. 50, ICRU, Bethesda, MD (1993).
- [5] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Dose and Volume Specification for Reporting Intracavitary Therapy in Gynecology, ICRU Rep. 38, ICRU, Bethesda, MD (1985).
- [6] PELLOSKI, C.E., et al., Comparison between CT-based volumetric calculations and ICRU reference-point estimates of radiation doses delivered to bladder and rectum during intracavitary radiotherapy for cervical cancer, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 62 (2005) 131–137.
- [7] BARILLOT, I., et al., Maximum and mean bladder dose defined from ultrasonography. Comparison with the ICRU reference in gynaecological brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 30 (1994) 231–238.
- [8] PÖTTER, R., VAN LIMBERGEN, E., GERSTNER, N., WAMBERSIE, A., Survey of the use of the ICRU 38 in recording and reporting cervical cancer brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 58 (2001) 11–18.
- [9] SINISTRERO, G., SISMONDI, P., RUMORE, A., ZOLA, P., Analysis of complications of cervix carcinoma treated by radiotherapy using the Franco-Italian glossary, *Radiother. Oncol.* 26 (1993) 203–211.
- [10] POURQUIER, H., et al., A quantified approach to the analysis and prevention of urinary complications in radiotherapeutic treatment of cancer of the cervix, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 13 (1987) 1025–1033.
- [11] ORTON, C.G., WOLF-ROSENBLUM, S., Dose dependence of complication rates in cervix cancer radiotherapy, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 12 (1986) 37–44.
- [12] GERBAULET, A., PÖTTER, R., MAZERON, J.J., MEERTENS, H., VAN LIMBERGEN, E., The GEC ESTRO Handbook of Brachytherapy, ESTRO, Brussels (2007).
- [13] GUEDEA, F., et al., Patterns of care for brachytherapy in Europe: Updated results, *Radiother. Oncol.* 97 (2010) 514–520.
- [14] VISWANATHAN, A.N., ERICKSON, B.A., Three-dimensional imaging in gynecologic brachytherapy: A survey of the American Brachytherapy Society, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 76 (2010) 104–109.
- [15] VAN DYK, S., BYRAM, D., BERNSHAW, D., Brachytherapy for cancer of the cervix: an Australian and New Zealand survey of current treatment techniques, *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 52 (2008) 588–597.
- [16] GUEDEA, F., et al., Overview of brachytherapy resources in Europe: A survey of patterns of care study for brachytherapy in Europe, *Radiother. Oncol.* 82 (2007) 50–54.
- [17] PÖTTER, R., et al., Recommendations from gynaecological (GYN) GEC ESTRO working group (II): Concepts and terms in 3D image-based treatment planning in cervix cancer brachytherapy-3D dose volume parameters and aspects of 3D image-based anatomy, radiation physics, radiobiology, *Radiother. Oncol.* 78 (2006) 67–77.
- [18] HAIE-MEDER, C., et al., Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (I): Concepts and terms in 3D image based 3D treatment planning in cervix cancer brachytherapy with emphasis on MRI assessment of GTV and CTV, *Radiother. Oncol.* 74 (2005) 235–245.
- [19] PÖTTER, R., et al., Clinical outcome of protocol based image (MRI) guided adaptive brachytherapy combined with 3D conformal radiotherapy with or without chemotherapy in patients with locally advanced cervical cancer, *Radiother. Oncol.* 100 (2011) 116–123.
- [20] NOMDEN, C.N., et al., Clinical outcome and dosimetric parameters of chemo-radiation including MRI guided adaptive brachytherapy with tandem-ovoid applicators for cervical cancer patients: A single institution experience, *Radiother. Oncol.* 107 (2013) 69–74.
- [21] LEE, H.J., et al., Long-term outcomes of concomitant chemoradiotherapy incorporating high-dose-rate brachytherapy to treat locally advanced cervical cancer, *Tumori* 98 (2012) 615–621.

- [22] BERIWAL, S., et al., Three-dimensional high dose rate intracavitary image-guided brachytherapy for the treatment of cervical cancer using a hybrid magnetic resonance imaging/computed tomography approach: Feasibility and early results, *Clin. Oncol. (R. Coll. Radiol.)* 23 (2011) 685–690.
- [23] MAHANTSHETTY, U., et al., Reporting and validation of gynaecological Groupe Europeen de Curietherapie European Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ESTRO) brachytherapy recommendations for MR image-based dose volume parameters and clinical outcome with high dose-rate brachytherapy in cervical cancers: A single-institution initial experience, *Int. J. Gynecol. Cancer.* 21 (2011) 1110–1116.
- [24] HAIE-MEDER, C., et al., MRI-based low dose-rate brachytherapy experience in locally advanced cervical cancer patients initially treated by concomitant chemoradiotherapy, *Radiother. Oncol.* 96 (2010) 161–165.
- [25] TAN, L.T., COLES, C.E., HART, C., TAIT, E., Clinical impact of computed tomography-based image-guided brachytherapy for cervix cancer using the tandem-ring applicator: The Addenbrooke’s experience, *Clin. Oncol. (R. Coll. Radiol.)* 21 (2009) 175–182.
- [26] NKIWANE, K.S., et al., Single line source with and without vaginal loading and the impact on target coverage and organ at risk doses for cervix cancer Stages IB, II, and IIIB: Treatment planning simulation in patients treated with MRI-guided adaptive brachytherapy in a multicentre study (EMBRACE), *Brachytherapy* 12 (2013) 317–323.
- [27] SCHMID, M.P., et al., Feasibility of transrectal ultrasonography for assessment of cervical cancer, *Strahlenther. Onkol.* 189 (2013) 123–128.
- [28] MAHANTSHETTY, U., et al., Trans-abdominal ultrasound (US) and magnetic resonance imaging (MRI) correlation for conformal intracavitary brachytherapy in carcinoma of the uterine cervix, *Radiother. Oncol.* 102 (2012) 130–134.
- [29] VAN DYK, S., NARAYAN, K., FISHER, R., BERNSHAW, D., Conformal brachytherapy planning for cervical cancer using transabdominal ultrasound, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 75 (2009) 64–70.
- [30] KRISHNATRY, R., et al., CT or MRI for image-based brachytherapy in cervical cancer, *Jpn J Clin Oncol* 42 (2012) 309–313.
- [31] ESKANDER, R.N., SCANDERBEG, D., SAENZ, C.C., BROWN, M., YASHAR, C., Comparison of computed tomography and magnetic resonance imaging in cervical cancer brachytherapy target and normal tissue contouring, *Int. J. Gynecol. Cancer* 20 (2010) 47–53.
- [32] VISWANATHAN, A.N., DIMOPOULOS, J., KIRISITS, C., BERGER, D., PÖTTER, R., Computed tomography versus magnetic resonance imaging-based contouring in cervical cancer brachytherapy: results of a prospective trial and preliminary guidelines for standardized contours, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 68 (2007) 491–498.
- [33] HAIE-MEDER, C., SIEBERT, F.A., PÖTTER, R., Image guided, adaptive, accelerated, high dose brachytherapy as model for advanced small volume radiotherapy, *Radiother. Oncol.* 100 (2011) 333–343.
- [34] ARISTEI, C., et al., Computed tomography for excision cavity localization and 3D-treatment planning in partial breast irradiation with high-dose-rate interstitial brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 90 (2009) 43–47.
- [35] FOSTER, W., BEAULIEU, L., HAREL, F., MARTIN, A.G., VIGNEAULT, E., The impact of 3D image guided prostate brachytherapy on therapeutic ratio: The Quebec University Hospital experience, *Cancer Radiother.* 11 (2007) 452–460.
- [36] CUTTINO, L.W., TODOR, D., ARTHUR, D.W., CT-guided multi-catheter insertion technique for partial breast brachytherapy: reliable target coverage and dose homogeneity, *Brachytherapy* 4 (2005) 10–17.
- [37] DAS, R.K., PATEL, R., SHAH, H., ODAU, H., KUSKE, R.R., 3D CT-based high-dose-rate breast brachytherapy implants: treatment planning and quality assurance, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 59 (2004) 1224–1228.
- [38] KESTIN, L.L., et al., Improving the dosimetric coverage of interstitial high-dose-rate breast implants, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 46 (2000) 35–43.
- [39] THOMADSEN, B.R., WILLIAMSON, J.F., RIVARD, M.J., MEIGOONI, A.S., Anniversary paper: Past and current issues, and trends in brachytherapy physics, *Med. Phys.* 35 (2008) 4708–4723.
- [40] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Commissioning and Quality Assurance of Computerized Planning Systems for Radiation Treatment of Cancer, Technical Reports Series No. 430, IAEA, Vienna (2004).
- [41] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Radiation Biology: A Handbook for Teachers and Students, Training Course Series No. 42, IAEA, Vienna (2010).
- [42] NATH, R., et al., Dosimetry of interstitial brachytherapy sources: Recommendations of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 43. American Association of Physicists in Medicine, *Med. Phys.* 22 (1995) 209–234.
- [43] DIMOPOULOS, J.C., et al., Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group (IV): Basic principles and parameters for MR imaging within the frame of image based adaptive cervix cancer brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 103 (2012) 113–122.

- [44] NESVACIL, N., et al., Adaptive image guided brachytherapy for cervical cancer: A combined MRI-/CT-planning technique with MRI only at first fraction, *Radiother. Oncol.* 107 (2013) 75–81.
- [45] BARRETT, A., DOBBS, J., MORRIS, S., ROQUES, T., *Practical Radiotherapy Planning*, Parkway, NY (2012).
- [46] KIM, Y., MURUGANANDHAM, M., MODRICK, J.M., BAYOUTH, J.E., Evaluation of artifacts and distortions of titanium applicators on 3.0-Tesla MRI: Feasibility of titanium applicators in MRI-guided brachytherapy for gynecological cancer, *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 80 (2011) 947–955.
- [47] PETERSCH, B., BOGNER, J., FRANSSON, A., LORANG, T., PÖTTER, R., Effects of geometric distortion in 0.2T MRI on radiotherapy treatment planning of prostate cancer, *Radiother. Oncol.* 71 (2004) 55–64.
- [48] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, *Prescribing, Recording, and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Report 50)*, ICRU Rep. 62, ICRU, Bethesda, MD (1999).
- [49] WACHTER-GERSTNER, N., et al., Bladder and rectum dose defined from MRI based treatment planning for cervix cancer brachytherapy: Comparison of dose-volume histograms for organ contours and organ wall, comparison with ICRU rectum and bladder reference point, *Radiother. Oncol.* 68 (2003) 269–276.
- [50] JAMEMA, S.V., et al., Comparison of DVH parameters and loading patterns of standard loading, manual and inverse optimization for intracavitary brachytherapy on a subset of tandem/ovoid cases, *Radiother. Oncol.* 97 (2010) 501–506.
- [51] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, *Dose and Volume Specification for Reporting Interstitial Therapy*, ICRU Rep. 58, ICRU, Bethesda, MD (1997)
- [52] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE, *High Dose-Rate Brachytherapy Treatment Delivery: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 59*, AAPM Rep. 61, AAPM, NY (1998).
- [53] TANDERUP, K., BEDDAR, S., ANDERSEN, C.E., KERTZSCHER, G., CYGLER, J.E., In vivo dosimetry in brachytherapy, *Med. Phys.* 40 (2013) 070902.
- [54] DEWERD, L.A., et al., A dosimetric uncertainty analysis for photon-emitting brachytherapy sources: Report of AAPM Task Group No. 138 and GEC-ESTRO, *Med. Phys.* 38 (2011) 782–801.
- [55] HELLEBUST, T.P., et al., Dosimetric impact of interobserver variability in MRI-based delineation for cervical cancer brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 107 (2013) 13–19.
- [56] PETRIC, P., et al., Uncertainties of target volume delineation in MRI guided adaptive brachytherapy of cervix cancer: A multi-institutional study, *Radiother. Oncol.* 107 (2013) 6–12.
- [57] MAYLES, W.P.M., et al., *Physics Aspects of Quality Control in Radiotherapy*, IPeM Rep. 81, IPeM, York (1999).
- [58] MUTIC, S., et al., Quality assurance for computed-tomography simulators and the computed-tomography-simulation process: report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 66, *Med. Phys.* 30 (2003) 2762–2792.
- [59] GOODSITT, M.M., CARSON, P.L., WITT, S., HYKES, D.L., KOFLER, J.M., Jr., Real-time B-mode ultrasound quality control test procedures. Report of AAPM Ultrasound Task Group No. 1, *Med. Phys.* 25 (1998) 1385–1406.
- [60] PFEIFFER, D., SUTLIEF, S., FENG, W., PIERCE, H.M., KOFLER, J., AAPM Task Group 128: Quality assurance tests for prostate brachytherapy ultrasound systems, *Med. Phys.* 35 (2008) 5471–5489.
- [61] VENSELAAR, J., PÉREZ-CALATAYUD, J. (Eds), *A Practical Guide to Quality Control of Brachytherapy Equipment*, ESTRO Booklet No. 8, ESTRO, Brussels (2004).
- [62] KUTCHER, G.J., et al., *Comprehensive QA for radiation oncology: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group 40*, *Med. Phys.* 21 (1994) 581–618.
- [63] HELLEBUST, T.P., et al., Recommendations from Gynaecological (GYN) GEC-ESTRO Working Group: Considerations and pitfalls in commissioning and applicator reconstruction in 3D image-based treatment planning of cervix cancer brachytherapy, *Radiother. Oncol.* 96 (2010) 153–160.
- [64] PÉREZ-CALATAYUD, J., et al., Exclusive MRI-based tandem and colpostats reconstruction in gynaecological brachytherapy treatment planning, *Radiother. Oncol.* 91 (2009) 181–186.
- [65] PÉREZ-CALATAYUD, J., et al., Dose calculation for photon-emitting brachytherapy sources with average energy higher than 50 keV: Report of the AAPM and ESTRO, *Med. Phys.* 39 (2012) 2904–2929.
- [66] CANADIAN ASSOCIATION OF PROVINCIAL CANCER AGENCIES, *Brachytherapy Remote Afterloaders, CAPCA Quality Control Standards*, CAPCA (2006).
- [67] NATH, R., et al., *Code of practice for brachytherapy physics: Report of the AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 56*, *Med. Phys.* 24 (1997) 1557–1598.
- [68] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, «Всесторонние аудиты практики лучевой терапии: средство для повышения качества», МАГАТЭ, Вена (2008).
- [69] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *On-site Visits to Radiotherapy Centres: Medical Physics Procedures*, IAEA-TECDOC-1543, IAEA, Vienna (2007).



## СОКРАЩЕНИЯ

3D КЛТ	Трехмерная конформная лучевая терапия
ААФМ	Американская ассоциация физиков в медицине
ВМД	высокая мощность дозы
ВР-КОМ	клинический объем мишени с высоким риском
ГДО	гистограмма «доза-объем»
ДЛТ	дистанционная лучевая терапия
ЕГБ-ЕОТРО	Европейская группа по брахитерапии — Европейское общество терапевтической радиологии и онкологии
КВАТРО	Группа по обеспечению качества в радиационной онкологии
КО	критические органы
КОМ	клинический объем мишени
КТ	компьютерная томография
МКРЕ	Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям
МРВ	магнитно-резонансная визуализация
МРТ	магнитно-резонансная томография
НМД	низкая мощность дозы
ООО	определяемый объем опухоли
ПР-КОМ	клинический объем мишени с промежуточным риском
ПЭТ	позитронно-эмиссионная томография
СОВК	суммарная опорная воздушная керма
СПЛ	система планирования лечения
DISOM	Цифровые изображения и связь в медицине





## СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Almeida, C.	Государственный университет Рио-де-Жанейро, Бразилия
Berger, D.	Венский медицинский университет, Венская больница общего профиля, Австрия
Carvalho, H.	Клиническая больница Университета Сан-Паулу, Бразилия
Erickson, B.	больница Б. Фродтерта и медицинский колледж шт. Висконсин, Соединенные Штаты Америки
Fidarova, E.	Международное агентство по атомной энергии
Haie-Meder, C.	Институт Густава Русси, Франция
Healy, B.	Международное агентство по атомной энергии
Jamea, S.	Мемориальная больница Тага, Индия
Kato, S.	Медицинский университет Саитама, Япония
Nakano, T.	Университет Гунма, Япония
Pipman, Y.	Университетская больница Норт Шор-Лонг-Айлендский еврейский медицинский центр, Соединенные Штаты Америки
Shrivastava, S.	Мемориальная больница Тага, Индия
van der Merwe, D.	Международное агентство по атомной энергии

### Совещание консультантов

Вена, Австрия: 19–23 ноября 2012 года





**IAEA**

International Atomic Energy Agency

No. 26

## ORDERING LOCALLY

IAEA priced publications may be purchased from the sources listed below or from major local booksellers.

Orders for unpriced publications should be made directly to the IAEA. The contact details are given at the end of this list.

### NORTH AMERICA

***Bernan / Rowman & Littlefield***

15250 NBN Way, Blue Ridge Summit, PA 17214, USA

Telephone: +1 800 462 6420 • Fax: +1 800 338 4550

Email: [orders@rowman.com](mailto:orders@rowman.com) • Web site: [www.rowman.com/bernan](http://www.rowman.com/bernan)

### REST OF WORLD

Please contact your preferred local supplier, or our lead distributor:

***Eurospan Group***

Gray's Inn House

127 Clerkenwell Road

London EC1R 5DB

United Kingdom

***Trade orders and enquiries:***

Telephone: +44 (0)176 760 4972 • Fax: +44 (0)176 760 1640

Email: [eurospan@turpin-distribution.com](mailto:eurospan@turpin-distribution.com)

***Individual orders:***

[www.eurospanbookstore.com/iaea](http://www.eurospanbookstore.com/iaea)

***For further information:***

Telephone: +44 (0)207 240 0856 • Fax: +44 (0)207 379 0609

Email: [info@eurospangroup.com](mailto:info@eurospangroup.com) • Web site: [www.eurospangroup.com](http://www.eurospangroup.com)

### Orders for both priced and unpriced publications may be addressed directly to:

Marketing and Sales Unit

International Atomic Energy Agency

Vienna International Centre, PO Box 100, 1400 Vienna, Austria

Telephone: +43 1 2600 22529 or 22530 • Fax: +43 1 26007 22529

Email: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org) • Web site: [www.iaea.org/publications](http://www.iaea.org/publications)





