

ОГЛАВЛЕНИЕ

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ И РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ	4
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1 Физико-технические особенности роботизированной радиохирургической системы «КиберНож» и основные процедуры гарантии качества	12
<i>Р.Р. Файзуллин</i>	
ГЛАВА 2 Маркирование опухолей для проведения стереотаксического лучевого лечения на роботизированном линейном ускорителе «КиберНож»	27
<i>Маркирование под контролем УЗИ и КТ</i>	
<i>В.Ю. Косырев, В.Н. Шолохов, Р.В. Москаленко</i>	
Эндоскопическая трансбронхиальная имплантация маркеров	31
<i>Л.В. Черкес, О.А. Малихова, Ю.А. Герасимов, Р.Р. Файзуллин, Д.С. Романов</i>	
ГЛАВА 3 Метастатические опухоли головного мозга	36
<i>А.Х. Бекашев, М.Н. Демина, Д.Р. Насхлеташвили, А.А. Трякин, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 4 Глиомы	46
<i>А.Х. Бекашев, М.Н. Демина, А.А. Маклакова, Д.Р. Насхлеташвили</i>	
ГЛАВА 5 Эпендимомы. Медуллобластомы	56
<i>В.А. Григоренко, С.А. Тер-Арутюнянц</i>	
ГЛАВА 6 Вестибулярные шванномы. Краниофарингиомы. Менингиомы. Опухоли гипофиза	62
<i>В.А. Григоренко, Д.В. Ларинов, С.В. Смольников, С.А. Тер-Арутюнянц</i>	
ГЛАВА 7 Невралгия тройничного нерва	75
<i>М.Н. Демина, Д.В. Ларинов, С.В. Смольников, С.А. Тер-Арутюнянц</i>	
ГЛАВА 8 Опухоли головы и шеи	83
<i>А.А. Нафеева, Д.В. Ларинов, А.М. Мудунов, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 9 Немелкоклеточный рак легкого	90
<i>А.К. Аллахвердиев, Ю.А. Герасимов, С.В. Смольников, А.А. Трякин, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 10 Рак поджелудочной железы	98
<i>Д.С. Романов, А.А. Трякин, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 11 Первичный рак печени: гепатоцеллюлярный рак, холангиоцеллюлярный рак	108
<i>Ю.А. Герасимов, А.А. Иванов, В.Ю. Косырев</i>	
ГЛАВА 12 Рак почки	116
<i>М.И. Волкова, А.В. Климов, В.Б. Матвеев, Р.В. Москаленко, Е.В. Сафронова, А.А. Трякин, М.М. Тхакохов</i>	
ГЛАВА 13 Рак предстательной железы	123
<i>М.И. Волкова, А.В. Климов, В.Б. Матвеев, Р.В. Москаленко, Е.В. Сафронова, А.А. Трякин, М.М. Тхакохов</i>	
ГЛАВА 14 Поражение костной системы	131
<i>М.Н. Демина, Э.Р. Мусаев, С.А. Тер-Арутюнянц, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 15 Олигометастатическое поражение	140
<i>Е.В. Сафронова, А.А. Трякин, А.А. Феденко</i>	
ГЛАВА 16 Уvealная меланома	151
<i>Ю.А. Герасимов, А.А. Феденко</i>	

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ И РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ

1. **Аллахвердиев Ариф Керимович**, *д. м. н.*, профессор, заведующий отделом торакоабдоминальной хирургии ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова» Департамента здравоохранения города Москвы.
2. **Бекяшев Али Хасьянович**, *д. м. н.*, заведующий отделением нейрохирургии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, врач-нейрохирург.
3. **Волкова Мария Игоревна**, *д. м. н., в. н. с.* ООХМЛ №4 (онкоурологии) ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, профессор кафедры онкологии и паллиативной медицины ФГБОУ ДПО РМАНПО, ученый секретарь МРООУ.
4. **Герасимов Юрий Александрович**, врач-радиотерапевт Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
5. **Григоренко Василий Андреевич**, врач-радиотерапевт Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп», заведующий радиологическим отделением НИИ ДОиГ ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
6. **Демина Марина Николаевна**, врач-онколог Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
7. **Климов Алексей Вячеславович**, *к. м. н., с. н. с.* ООХМЛ №4 (онкоурологии) ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
8. **Косырев Владислав Юрьевич**, *д. м. н., в. н. с.*, врач-хирург Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп», ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, профессор кафедры онкологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет).
9. **Ларинов Денис Викторович**, врач-онколог, радиотерапевт.
10. **Маклакова Анна Андреевна**, врач-радиотерапевт отделения радиотерапии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
11. **Малихова Ольга Александровна**, *д. м. н., в. н. с.*, заведующая отделением эндоскопии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, врач-эндоскопист.
12. **Матвеев Всеволод Борисович**, *чл.-корр. РАН, д. м. н.*, профессор, заместитель директора по научной и инновационной работе ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
13. **Москаленко Роман Владимирович**, врач-онколог Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
14. **Мудунов Али Мурадович**, *д. м. н.*, профессор РАН, профессор ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), заведующий отделением опухолей головы и шеи клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», онколог, нейрохирург, хирург-онколог.



15. **Мусаев Эльмар Расимович**, д. м. н., профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделением опухолей костей, кожи, мягких тканей клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», врач-онколог, хирург, травматолог-ортопед.
16. **Насхлеташвили Давид Романович**, к. м. н., с. н. с. отделения нейрохирургического НИИ клинической онкологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
17. **Нафеева Анастасия Анвяровна**, врач-онколог Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
18. **Романов Денис Сергеевич**, к. м. н., заведующий радиологическим отделением ЧУЗ «ЦКБ «РЖД — Медицина», заместитель генерального директора по научной деятельности ООО «Центр инновационных медицинских технологий», ассистент кафедры онкологии и лучевой терапии ФГБУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова», врач-онколог, радиотерапевт.
19. **Сафронова Екатерина Валерьевна**, врач-радиотерапевт, онколог Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
20. **Смольников Станислав Викторович**, врач-онколог, радиотерапевт клиники Hadassah Medical Moscow.
21. **Тер-Арутюнянц Светлана Андреевна**, к. м. н., врач-онколог, радиотерапевт «ПЭТ-Технологии».
22. **Трякин Алексей Александрович**, д. м. н., профессор, заместитель директора НИИ клинической онкологии по научной работе, заведующий химиотерапевтическим отделением №2 ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, врач-онколог, химиотерапевт.
23. **Тхакохов Мурадин Мухадинович**, к. м. н., заведующий онкологическим отделением ГБУЗ МО ВРКБ, Видное.
24. **Файзуллин Рафаэль Ринатович**, к. ф.-м. н., старший медицинский физик Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
25. **Феденко Александр Александрович**, д. м. н., руководитель отдела лекарственного лечения опухолей МНИОИ им. П.А. Герцена филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, заместитель директора по лекарственному лечению клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», врач-онколог, химиотерапевт.
26. **Черкес Леонид Викторович**, к. м. н., врач-эндоскопист ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.
27. **Шолохов Владимир Николаевич**, д. м. н., профессор, в. н. с., врач ультразвуковой диагностики Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп», отделения ультразвуковой диагностики ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. **Давыдов Михаил Иванович**, председатель редакционного совета, д. м. н., академик РАН, профессор, врач — хирург-онколог, главный онколог клиники «МЕДСИ», член Европейского общества хирургов, Американского общества хирургов, Международного общества хирургов.



2. **Ловцова Ксения Леонидовна**, управляющий партнер Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
3. **Бабаев Эмиль Каирович**, вице-президент по развитию и управлению бизнесом компании Assigaу (EIMEA), старший преподаватель кафедры неотложных состояний, ФГБУ «Институт повышения квалификации Федерального медико-биологического агентства».
4. **Файзуллин Рафаэль Ринатович**, к. ф.-м. н., старший медицинский физик Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
5. **Демина Марина Николаевна**, врач-онколог Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
6. **Шилович Игорь Васильевич**, врач-радиотерапевт Центра лучевой терапии «ОнкоСтоп».
7. **Черных Марина Васильевна**, к. м. н., доцент кафедры онкологии, радиотерапии и пластической хирургии ПМГМУ им. И.М. Сеченова, заместитель директора по лечебной работе НИИ КиЭР, заведующая отделением радиотерапии, врач-радиотерапевт.
8. **Гамеева Елена Владимировна**, к. м. н., заместитель директора по лечебной работе МНИОИ им. П.А. Герцена филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России врач-уролог.
9. **Зейналова Первин Айдыновна**, д. м. н., профессор кафедры онкологии ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), заместитель директора онкологического центра, заведующая отделением онкогематологии клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя».
10. **Мудунов Али Мурадович**, д. м. н., профессор РАН, профессор ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), заведующий отделением опухолей головы и шеи клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», онколог, нейрохирург, хирург-онколог.
11. **Мусаев Эльмар Расимович**, д. м. н., профессор, член-корреспондент РАН, заведующий отделением опухолей костей, кожи, мягких тканей клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», врач-онколог, хирург, травматолог-ортопед.
12. **Аллахвердиев Ариф Керимович**, д. м. н., профессор, заведующий отделом торакоабдоминальной хирургии ГБУЗ «Московский клинический научный центр им. А.С. Логинова» Департамента здравоохранения города Москвы.
13. **Феденко Александр Александрович**, д. м. н., руководитель отдела лекарственного лечения опухолей МНИОИ им. П.А. Герцена филиала ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, заместитель директора по лекарственному лечению клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя», врач-онколог, химиотерапевт.
14. **Трякин Алексей Александрович**, д. м. н., профессор, заместитель директора НИИ клинической онкологии по научной работе, заведующий химиотерапевтическим отделением №2 ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, врач-онколог, химиотерапевт.
15. **Аллахвердиева Гонча Фаридовна**, д. м. н., врач ультразвуковой диагностики клинического госпиталя «Лапино-2» группы компаний «Мать и дитя».



Центр лучевой терапии «ОнкоСтоп» — один из пионеров негосударственного сектора здравоохранения в сфере радиационной онкологии. С 2013 года центр специализируется на оказании высокотехнологичной медицинской помощи онкологическим пациентам методом радиохирургической и стереотаксической лучевой терапии с использованием роботизированной радиотерапевтической системы «КиберНож» (CyberKnife) производства компании Accuray («Экьюрей»).

На сегодняшний день в центре получили специализированную медицинскую помощь с применением стереотаксической системы «КиберНож» более 3000 пациентов со злокачественными новообразованиями.

Центр лучевой терапии «ОнкоСтоп» является членом ведущих профессиональных ассоциаций в России и уделяет большое внимание научной и исследовательской работе, которая проводится совместно с НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина.

Ваше доверие. Наша забота.

Сайт: www.oncostop.ru



Accuray Incorporated разрабатывает и поддерживает системы лучевой терапии и радиохирургии CyberKnife®, TomoTherapy® и Radixact™ для лечения различных форм рака и иных функциональных нарушений. Технологические решения Accuray помогают клиницистам оптимизировать рабочие процессы, а также обеспечить индивидуальный подход к планированию и проведению лучевой терапии онкологических пациентов.

Сайт: www accuray.com/ru



**НМИЦ
ОНКОЛОГИИ**
им. Н.Н. Блохина

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России — крупнейшая онкологическая клиника России и Европы, одна из самых крупных в мире, имеющая в своем арсенале новейшее оборудование и все передовые методики диагностики и лечения рака.

В структуру центра входят пять подразделений:

- Научно-исследовательский институт клинической онкологии им. Н.Н. Трапезникова;
- Научно-исследовательский институт детской онкологии и гематологии;
- Научно-исследовательский институт клинической и экспериментальной радиологии;
- Научно-исследовательский институт канцерогенеза;
- Научно-исследовательский институт экспериментальной диагностики и терапии опухолей.

Центр ежедневно оказывает высокотехнологичную онкологическую помощь на уровне лучших мировых стандартов, применяя для спасения пациентов инновационные, в том числе уникальные, технологии.

На базе центра работают восемь кафедр медицинских академий и университетов.

Сайт: www.ronc.ru



Компания MEDEQI (Medical Equipment International) — эксперт в сфере предоставления комплексных технологических решений в области радиотерапии. В спектр услуг компании входят консалтинг, проектирование, поставка тяжелого медицинского оборудования и программного обеспечения, расходных материалов для лучевой терапии, сервисное обслуживание и дозиметрия для радиотерапевтических систем производства компании Accuray. MEDEQI имеет статус официального дистрибьютора и сервисного провайдера компании Accuray, а также компаний RaySearch, Ashland и др.

Сайт: www.medeqi.com

ВВЕДЕНИЕ

Применение аппарата «КиберНож» в стереотаксической лучевой терапии (СТЛТ) играет важную роль в противоопухолевом лечении пациентов. Метод может быть применен как самостоятельно, так и в составе комплексной терапии различных онкопатологий, а также доброкачественных новообразований. В зависимости от клинической ситуации лечение, проводимое на аппарате «КиберНож», может носить паллиативный характер при диссеминированных процессах или радикальный при ранних стадиях заболевания. Также стоит отметить, что данный вид лечения часто комбинируется с лекарственной и/или хирургической терапией. Крайне высокая точность облучения позволяет оперировать высокими разовыми дозами, проводить лечение в короткие сроки и обеспечивать более высокие показатели локального контроля с заметно меньшим количеством лучевых осложнений в сравнении с традиционной лучевой терапией.

Однако дефицит медицинской информации о методе, показаниях и противопоказаниях к нему, его преимуществах и недостатках в разных клинических ситуациях приводит к тому, что этот вид лечения назначается недостаточно широко, а результаты его часто дискриминируются.

Данное руководство предназначено для широкого круга врачей-специалистов: онкологов, радиотерапевтов, неврологов и врачей других специальностей. Цель руководства — формирование целостной картины по вопросам необходимости применения стереотаксической лучевой терапии.

Стереотаксическая лучевая терапия представляет собой различные методы проведения точно направленного облучения высокими дозами, строго соответствующего мишени, для получения желаемого радиобиологического ответа при минимизации дозы облучения на окружающие нормальные ткани.

| ЗАДАЧИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Радикальная лучевая терапия — полное уничтожение опухолевой ткани. Альтернативный радикальному хирургическому лечению метод, характеризующийся малой инвазивностью и органосохраняющим результатом (неоперабельный статус пациента, ранняя стадия заболевания).

Паллиативная лучевая терапия направлена на борьбу с тягостными симптомами заболевания и улучшение качества жизни. Обеспечивает сокращение размеров, снижение биологической активности опухоли, уменьшение болевого синдрома.

Симптоматическая лучевая терапия применима для снижения болевого синдрома, разрешения свежих компрессий нервной ткани.

В международной литературе приняты специальные термины, обозначающие определенные виды СТЛТ (Perez & Brady's, "Principles and Practice of Radiation Oncology", seventh edition):

- **SRS (stereotactic radiosurgery)** — стереотаксическая радиохирургия: облучение проводится за одну процедуру;



- **SRT (stereotactic radiotherapy)** — стереотаксическая радиотерапия: курс облучения разделяется на 3–5 и более фракций;
- **SBRT (stereotactic body radiotherapy)** — стереотаксическая лучевая терапия тела: может быть проведена как за одну, так и за несколько фракций в случае экстракраниальной локализации опухоли.



РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ ВАРИАНТАМИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Техническое обеспечение:

- возможность облучения мишени любой локализации, как интракраниальной, так и экстракраниальной;
- учет интрафракционного движения опухоли.

Режимы фракционирования:

- радиохирургический подход (однофракционное лечение);
- радиотерапевтические схемы облучения (лечение за несколько фракций).

Обеспечение точности доставки дозы в лечебную мишень:

- путем различных методов иммобилизации (позиборд, вакуумный матрас, термопластическая маска и т.д.);
- отслеживание положения опухоли (рентген-методы) и соответственная коррекция положения пучка.

ПОКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

Интракраниальная лучевая терапия:

- рецидивы первичных опухолей головного и спинного мозга (глиомы, эпендимомы, медуллобластомы и пр.), редко — при первичном лечении (глиомы низкой степени злокачественности, краниофарингиомы);



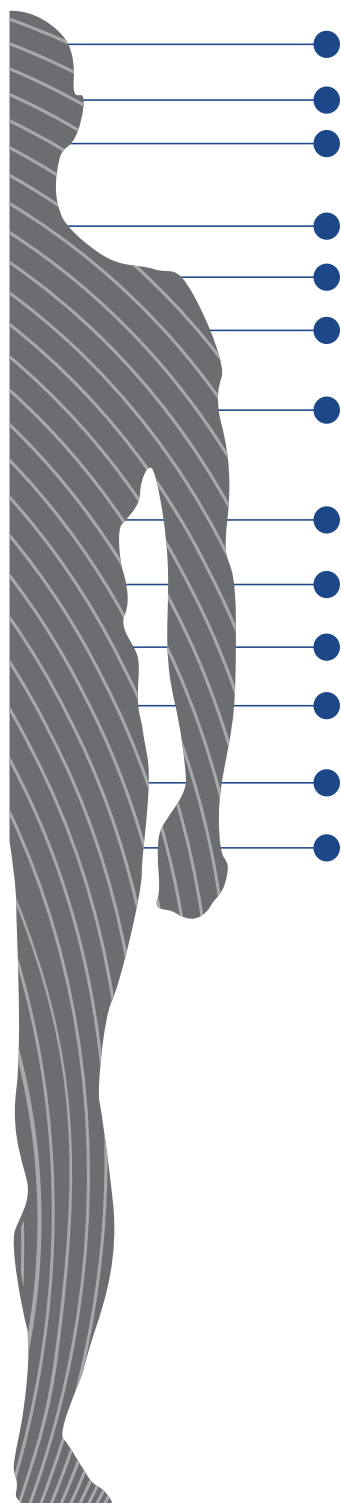
- рецидивы рака органов головы и шеи после лучевого лечения;
- первичные, вторичные опухолевые поражения хориоидеи, ретинобластома;
- метастазы любых злокачественных опухолей в головной и спинной мозг;
- опухоли гипофиза;
- анатомические аномалии сосудов в головном мозге (артериовенозные мальформации, каверномы);
- опухоли оболочек черепно-мозговых нервов (шванномы);
- доброкачественные опухоли оболочек головного и спинного мозга (менингиомы);
- неврологические расстройства (устойчивая к лекарственному и хирургическому лечению невралгия тройничного нерва).

Экстракраниальная лучевая терапия

Экстракраниальная лучевая терапия применима для лечения локализованных форм опухолей или метастатических очагов органов грудной клетки, брюшной полости или малого таза, не подлежащих оперативному удалению:

- опухоли/метастазы в легких;
- опухоли/метастазы в поджелудочной железе;
- опухоли/метастазы в печени;
- первичные/рецидивные опухоли предстательной железы;
- метастазы в надпочечниках;
- метастазы в различных группах лимфоузлов;
- отдельные метастатические отсеы по брюшине / в мягкие ткани;
- опухоли/метастазы костной системы:
 - первичные неоперабельные опухоли позвоночника, основания черепа (хордомы, хондросаркомы, остеосаркомы); рецидивы саркомы Юинга;
 - метастазы в позвонки, включая мягкотканый компонент, компрессии спинного мозга (требуется консультация нейрохирурга);
 - поражения внеосевого скелета (ребер, грудины, челюсти).

В следующих главах более подробно рассмотрены показания и методические аспекты стереотаксической лучевой терапии по различным локализациям.



Рецидивы первичных опухолей ЦНС
(головного и спинного мозга)

Невралгия тройничного нерва

Метастатическое поражение ЦНС (единичные
метастазы, менее 10, головного и спинного мозга)

Доброкачественные опухоли ЦНС

Рецидивы опухолей головы и шеи

Первичный рак легкого (T1–2N0M0), единичные
метастазы в легких (не более трех)

Первичные опухоли костей и метастатическое
поражение костей

Опухоли поджелудочной железы (первичные,
рецидивирующие, без прорастания в желудок,
двенадцатиперстную кишку)

Первичные опухоли печени, метастазы в печень
(не более трех)

Локализованные опухоли почек (до 6 см)

Опухоли предстательной железы
(низкого и промежуточного риска)

Местные рецидивы опухолей женской
репродуктивной системы (без прорастания
в стенку кишки, мочевого пузыря)

ГЛАВА 1

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РАДИОХИРУРГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «КИБЕРНОЖ» И ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕДУРЫ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА

Р.Р. Файзуллин

| ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

«КиберНож» — система для реализации стереотаксического облучения [1] — представляет собой компактный линейный ускоритель, установленный на роботизированном манипуляторе (рис. 1). Рентгенографическая система «КиберНожа» позволяет осуществлять высокоточное нацеливание пучка высокоэнергетических фотонов в течение всего сеанса облучения [2, 3].



Рис. 1. «КиберНож» VSI в Центре лучевой терапии «ОнкоСтоп»



Рис. 2. а) коллиматор с изменяемой апертурой Iris;
б) фиксированные коллиматоры и стол для автоматической смены коллиматоров

Высокоточный манипулятор имеет шесть степеней свободы, что дает возможность создавать множество некомпланарных пучков излучения различных направлений, обеспечивая конформное распределение дозы при любой локализации опухоли.

При торможении электронов на вольфрамовой мишени образуется тормозное излучение с максимальной энергией 6 МэВ. При этом пучок «КиберНожа» не имеет выравнивающего фильтра (FFF), что в некоторых случаях позволяет снижать нагрузку на критические органы [4], а также обеспечивает компактному ускорителю достаточно высокую мощность дозы — 1000 МЕ/мин (при SAD = 800 мм).

Коллимация пучка в версии «КиберНож» VSI [5] происходит посредством коллиматора с изменяемой апертурой Iris (рис. 2а) или 12 заменяемых коллиматоров с фиксированной апертурой (рис. 2б), которые крепятся к корпусу вторичного коллиматора в головной части ускорителя. Такой набор коллиматоров позволяет создавать круглые поля размером 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 50 и 60 мм на расстоянии 800 мм от источника. Коллиматор Iris номинально имеет те же 12 апертур, что и фиксированные коллиматоры, но позволяет объединить несколько коллиматоров с несколькими наборами траекторий в один, что существенно снижает время лечения. Смена коллиматоров происходит в автоматическом режиме с использованием стола Xchange (рис. 2б).

СИСТЕМА НАВИГАЦИИ

При проведении стереотаксического облучения важно, чтобы конфигурация положения пациента не изменялась и в точности повторяла заданную при КТ-топометрии. Для контроля положения пациента на лечебном столе система имеет две рентгеновские трубки и два рентгеновских детектора. Выполняя снимки во время укладки и в процессе лечения, можно скорректировать реальное положение пациента и привести его в соответствие с расчетным. Доза, полученная от визуализации, минимальна и может быть оценена [6].

Для отслеживания и коррекции положения пациента и ускорителя могут использоваться следующие алгоритмы навигации:

- 6D Skull (по черепу);
- Xsight Spine (по костям позвоночника);
- Xsight Lung (по контурам опухоли в легком);



- Fiducials (по искусственным меткам, имплантируемым в мишень облучения или вблизи нее).

Алгоритм отслеживания положения пациента по костям черепа 6D Skull позволяет наводиться на внутричерепные мишени без использования стереотаксической рамки для жесткой фиксации [7], благодаря чему можно отказаться от инвазивной процедуры. Алгоритм сравнивает рентгеновские изображения, полученные в процессе лечения, с DRR (рентгенограммой, полученной в результате цифровой реконструкции КТ при планировании) и вычисляет смещение, которое компенсируется лечебным столом или автоматически компенсируется положением манипулятора (рис. 3).

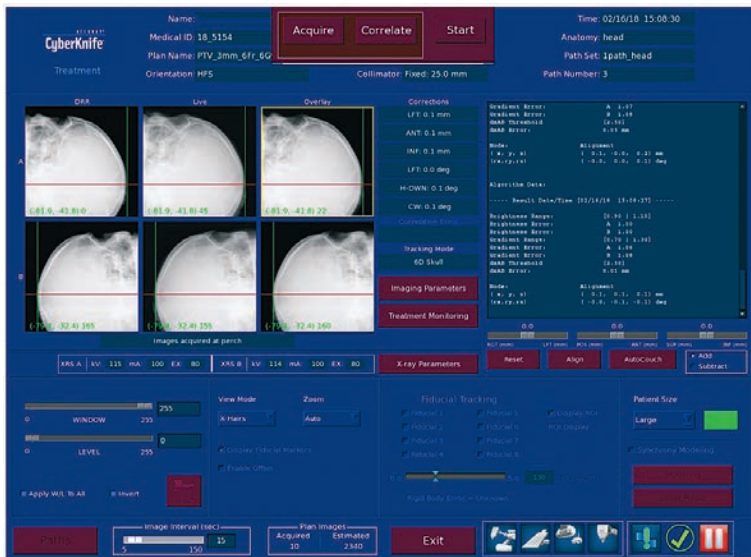


Рис. 3. Навигация в режиме 6D Skull

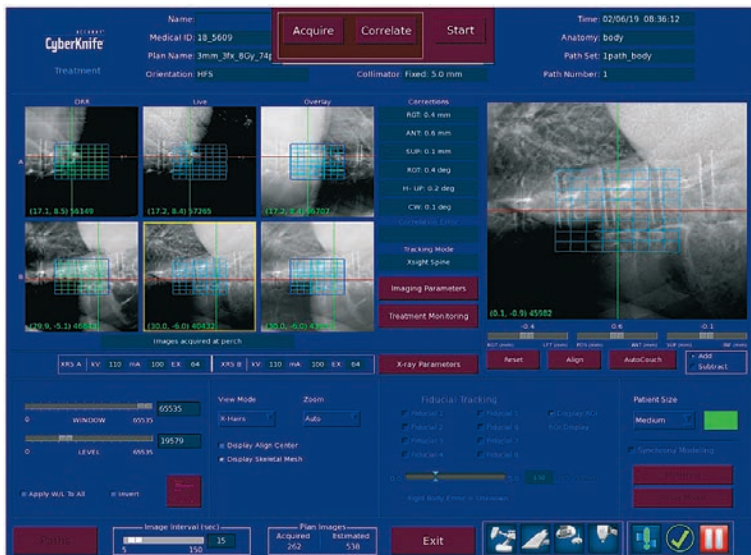


Рис. 4. Навигация в режиме Xsight Spine

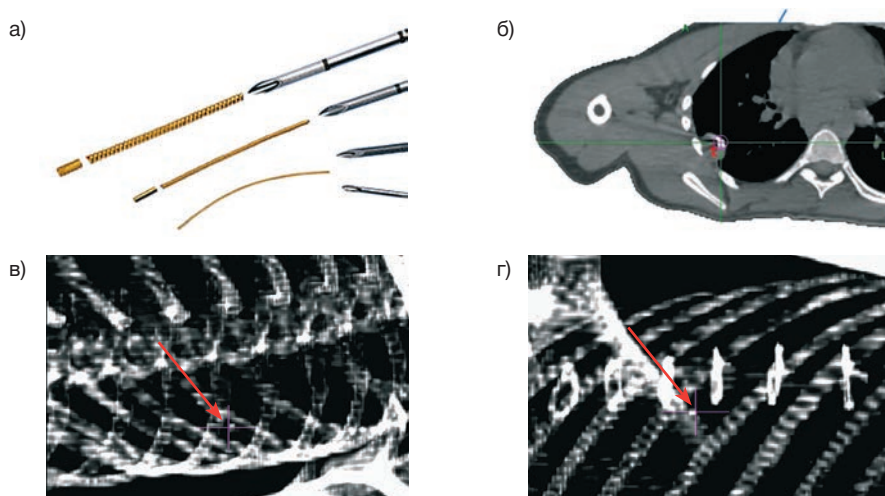


Рис. 5. а) примеры рентгеноконтрастных маркеров Visicoil; б) рентгеноконтрастный маркер в опухоли легкого; в), г) примеры визуализации рентгеноконтрастного маркера (обозначены перекрестьем) на DRР под углами 45 и 315 градусов для отслеживания мишени

Алгоритм отслеживания позвоночника Xsight Spine [8, 9] позволяет выполнять слежение за структурой скелета в области позвоночника (рис. 4). Это обеспечивает возможность осуществления лучевого воздействия на опухоли позвоночника или жестко прилежащие к нему образования без вживления рентгеноконтрастных меток. Система отслеживания позвоночника Xsight Spine способна автоматически с высокой точностью отслеживать все позвонки в шейном, грудном, поясничном и крестцовом отделах.

Для отслеживания положения пациента по позвоночнику в процессе планирования создается область интереса, которая представляет собой сетку из 81 узла. По смещению узлов на изображениях, полученных в процессе лечения, относительно узлов на DRР, полученных в результате планирования, определяется текущее положение мишени.

Если расположение мишени не позволяет использовать другие системы навигации, то используется алгоритм навигации Fiducials [10].

В патологический очаг или вблизи него имплантируются специальные маркеры (рис. 5а, 5б), которые позволяют точно отслеживать положение и перемещение мишени в процессе лечения. Алгоритм отслеживания искусственных маркеров вычисляет их смещение, сравнивая положение меток на изображениях, полученных в процессе лечения, с DRР (рис. 5в, 5г, 6а).

Для 6D-отслеживания патологических образований (линейных и вращательных движений) алгоритму требуется как минимум 3 маркера. Для улучшения точности отслеживания рекомендуется имплантировать 4–5 маркеров [11], кроме того, некоторые из них могут мигрировать, и их придется исключить из системы отслеживания. В случае опухолей легкого для снижения вероятности осложнения допускается использование 1 маркера (рис. 5б), установленного как можно ближе к центру образования. В таком случае возможные вращательные движения опухоли должны быть учтены в отступах при определении PTV, а положение пациента на лечебном столе для исключения угловых смещений дополнительно проверяется по костям позвоночника с помощью алгоритма Xsight Spine.

После имплантации маркеров до сканирования пациента на КТ должно пройти 7–10 дней, чтобы спал отек и метки заняли стабильное положение [12].



Алгоритм Xsight Lung позволяет отслеживать положение опухоли по ее контурам и контрастности в том случае, если она достаточно хорошо визуализируется в двух проекциях — под углами 45 и 315 градусов (рис. 6б). Для данного режима отслеживаются только линейные смещения, поэтому для правильной укладки пациента по углам дополнительно используется слежение по позвоночнику Xsight Spine. При использовании Xsight Lung нет необходимости в маркировании, таким образом, исключаются инвазивные процедуры и связанные с этим вероятные осложнения (пневмоторакс, гемоторакс и т.д.).

В случае использования алгоритмов навигации Xsight Lung или Fiducials, когда положение мишени изменяется с дыханием, используется система контроля дыхания Synchrony, которая корректирует направление пучка одновременно с перемещением опухоли [13].

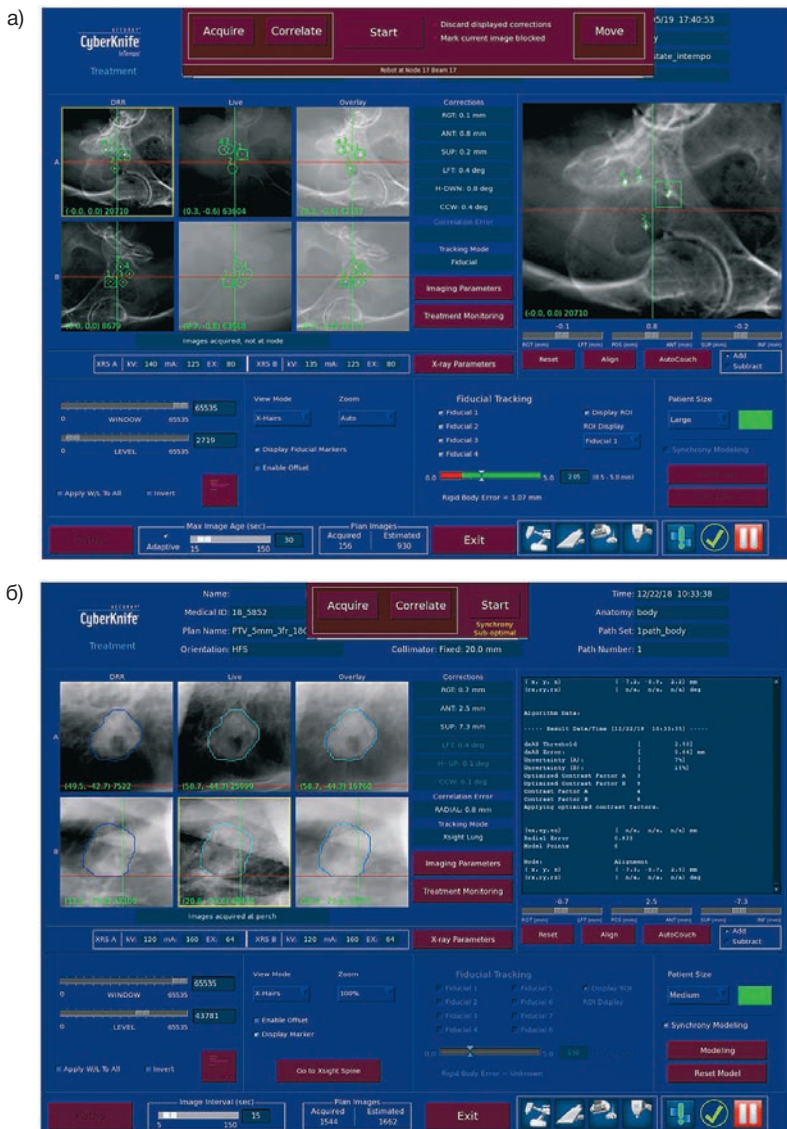


Рис. 6. а) лечение в режиме Fiducials; б) лечение в режиме Xsight Lung

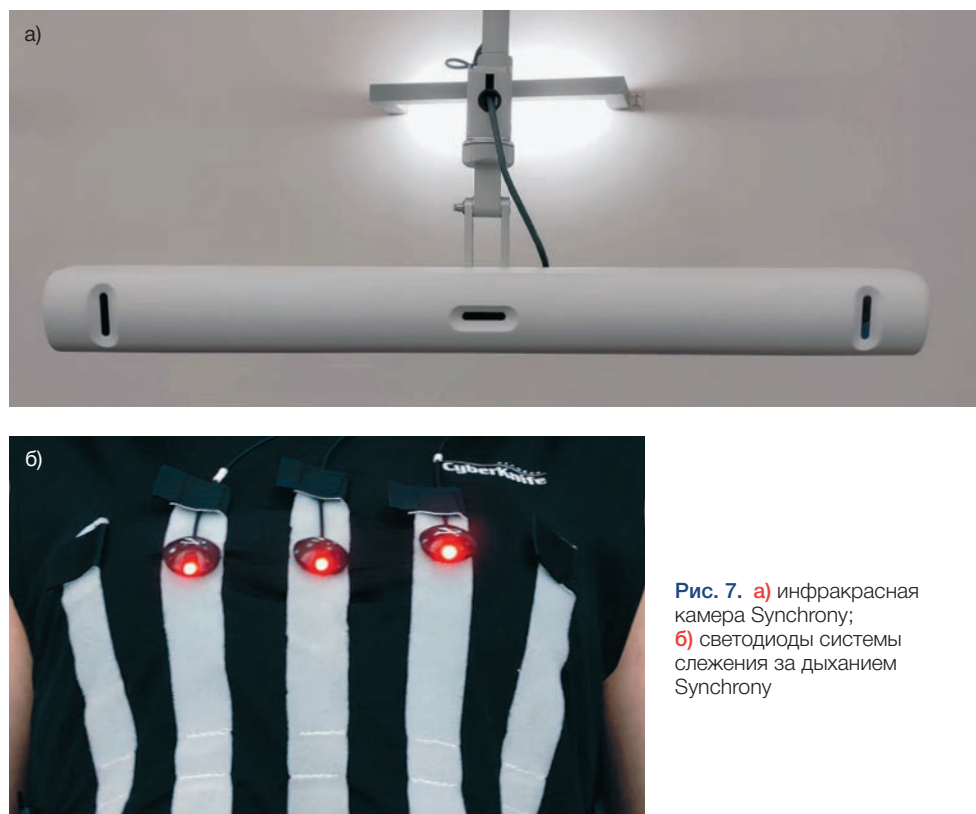


Рис. 7. а) инфракрасная камера Synchrony;
б) светодиоды системы слежения за дыханием Synchrony

Система Synchrony предназначена для радиохирургии и стереотаксической радиотерапии поражений, располагающихся в легких, печени, поджелудочной железе и т.д. Технология основана на моделировании корреляционной зависимости движений мишени или связанных с ней рентгеноконтрастных маркеров, отслеживаемых с помощью рентгеновских снимков, от движений грудной клетки, которые определяются с помощью инфракрасной камеры (рис. 7а) и светодиодов, закрепленных на теле пациента (рис. 7б). Манипулятор выполняет движения согласно модели дыхания и непрерывно компенсирует все перемещения. Таким образом, с помощью данной технологии возможна доставка дозы на любой фазе дыхания, что обеспечивает комфорт для пациента даже в случае патологий органов дыхания [14].

ГАРАНТИЯ КАЧЕСТВА, ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ПРОВЕРКИ

Для обеспечения гарантии качества облучения пациентов существует целый набор необходимых процедур и проверок. Центр лучевой терапии (ЦЛТ) «ОнкоСтоп» опирается на рекомендации производителя и международные протоколы AAPM, IAEA, ICRU, ESTRO, RSS.

Ежедневно до начала лечения пациентов медицинские физики проверяют физико-технические параметры оборудования и защитные блокировки [15]. Утренние тесты включают в себя проверку калибровки абсолютной дозы ускорителя как совместно с проверкой навигации, так и без (относительная проверка референсного значения дозы без вклада ошибки навигации). Первый тест представляет собой план лечения

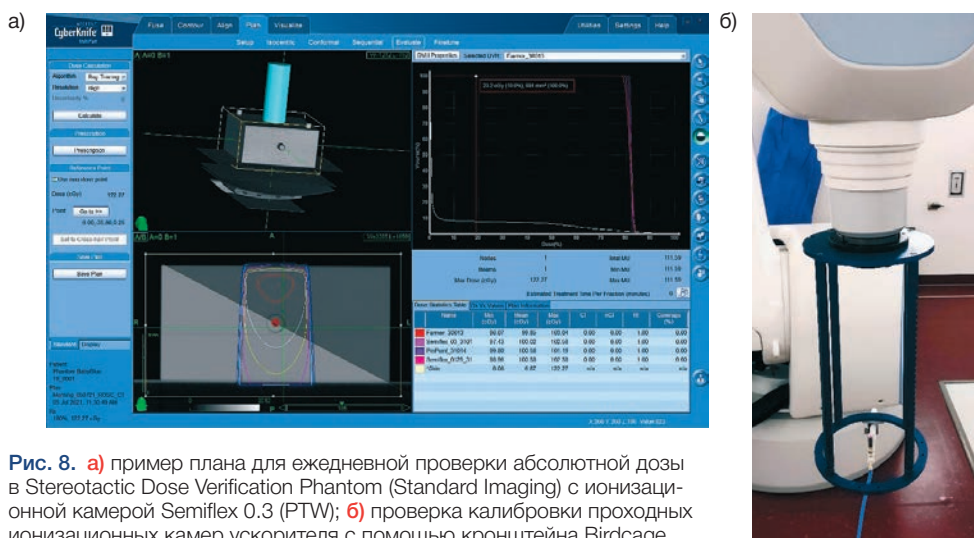


Рис. 8. а) пример плана для ежедневной проверки абсолютной дозы в Stereotactic Dose Verification Phantom (Standard Imaging) с ионизационной камерой Semiflex 0.3 (PTW); б) проверка калибровки проходных ионизационных камер ускорителя с помощью кронштейна Birdcage

с единственным перпендикулярно направленным пучком, рассчитанный в планирующей системе на фантоме Stereotactic Dose Verification Phantom (Standard Imaging) с ионизационной камерой типа Semiflex 0.3 (PTW) (рис. 8а), второй, дополнительный тест проводится согласно рекомендации производителя, компании Accuray, с помощью специального кронштейна Birdcage и ионизационной камеры Semiflex 0.3 или Farmer (PTW) (рис. 8б).

Для проверки точности систем нацеливания также выполняется тест, аналогичный тесту Уинстона — Лутца [16]. Две взаимно перпендикулярные пленки EBТЗ (Ashland) устанавливаются в специальный фантом AQA с металлическим шаром в центре (рис. 9а), а затем облучаются двумя взаимоперпендикулярными пучками.

Навигация в данном тесте осуществляется с помощью рентгеноконтрастных меток. Оптическая плотность радиохромных пленок изменяется в зависимости от поглощенной дозы. Таким образом, при сканировании пленок на просвет можно получить относительное дозное распределение во взаимно перпендикулярных плоскостях,

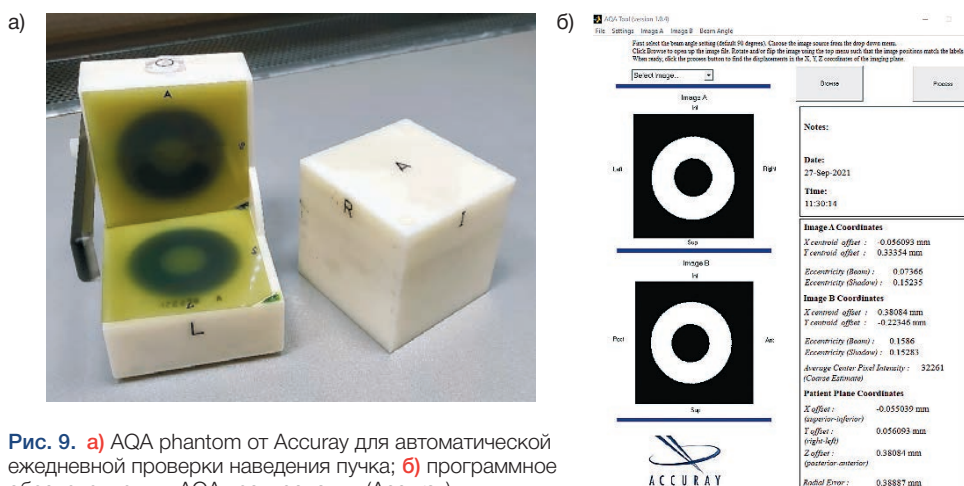


Рис. 9. а) AQA phantom от Accuray для автоматической ежедневной проверки наведения пучка; б) программное обеспечение для AQA-тестирования (Accuray)

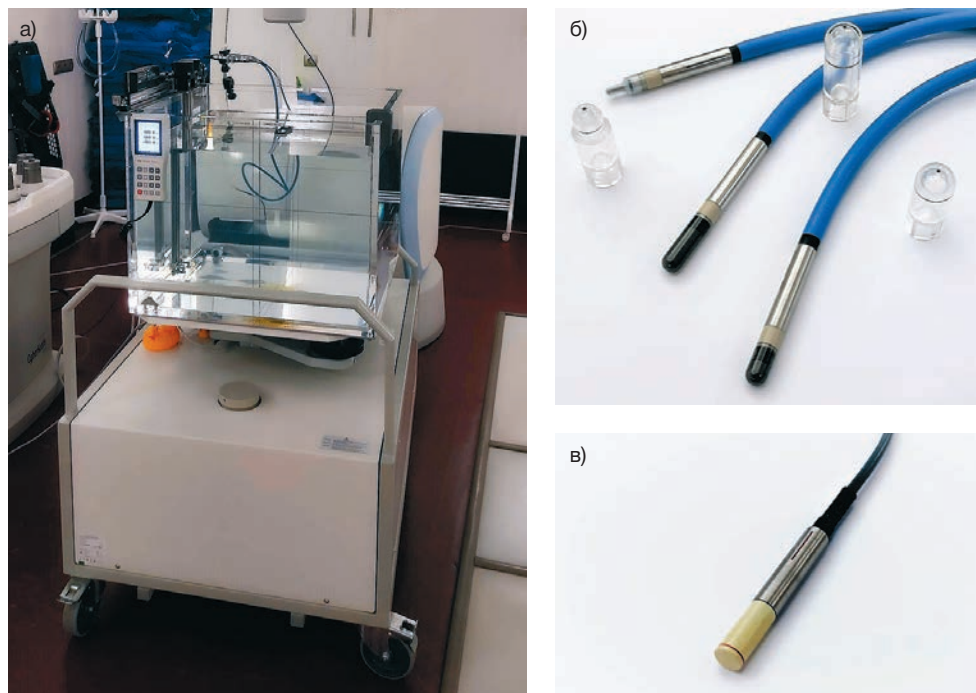


Рис. 10. а) водный 3D-фантом MP3-M (PTW); б) ионизационные камеры Semiflex (PTW); в) полупроводниковый детектор Diode E (PTW)

а по координатам центроида и эксцентриситету засвеченной области с помощью программного обеспечения (рис. 9б) можно определить относительное отклонение направлений пучков от запланированного.

Ежемесячно проверяются все параметры пучка на соответствие референсным значениям. Проверка и калибровка ускорителя выполняются согласно рекомендациям МАГАТЭ [17] с использованием водного фантома (рис. 10а), ионизационных камер (рис. 10б) и полупроводниковых детекторов (рис. 10в).

После процедуры верификации и калибровки путей робота инженерами сервисной организации медицинские физики клиники выполняют так называемые end-to-end-тесты [15]. Эти тесты представляют собой полное воспроизведение всех этапов лечения пациента на специальных фантомах, начиная от разметки на компьютерном томографе и заканчивая облучением. В качестве детектора в данных фантомах используются радиохромные пленки ЕВТЗ или ЕВТХД. Общая клиническая точность системы, по данным end-to-end-тестов, в зависимости от метода навигации и используемого фантома лежит в пределах 0,2–0,6 мм (для подвижных мишеней не более 1 мм).

Для end-to-end-тестирования доставки дозы в режимах навигации 6D Skull, Xsight Spine и Fiducials согласно рекомендациям производителя используется антропоморфный фантом головы-шеи Head and neck phantom с возможностью размещения радиохромных пленок внутри черепа в специальной вставке Ball Cube II (рис. 11а) или в области, имитирующей позвоночник, во вставке Mini Ball Cube (рис. 11б).

Оценка результатов end-to-end-тестов реализована в программном обеспечении производителя (рис. 12). Результаты представляют собой значения отклонений в трех измерениях, определенные согласно расположению центроида относительно границ пленки.

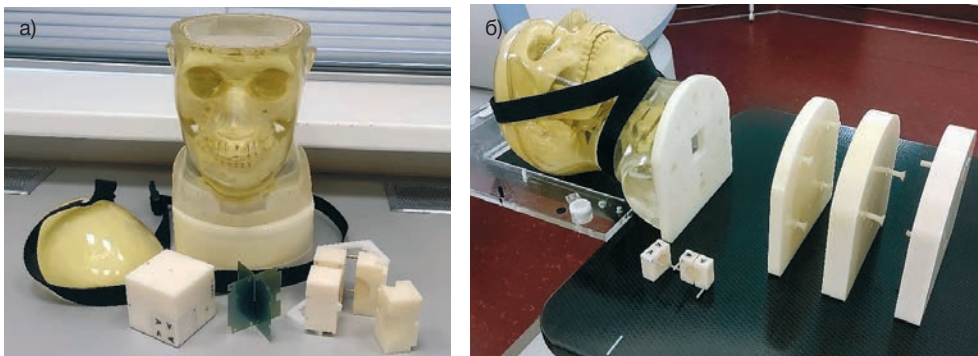


Рис. 11. Антропоморфный фантом головы от Accuray для проведения E2E-тестов при наведении по 6D Skull, Xsight Spine, Fiducials со вставками: а) Ball Cube II; б) Mini Ball Cube

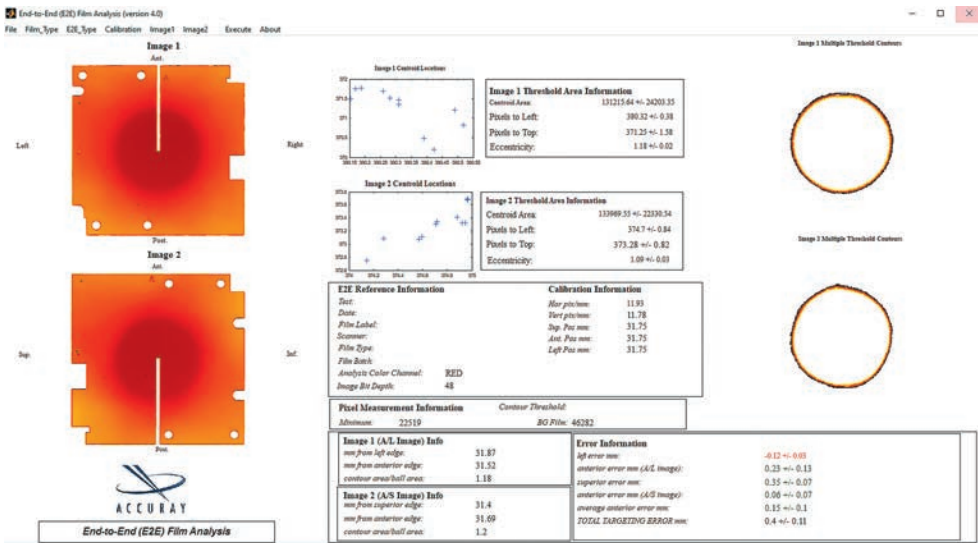


Рис. 12. Программное обеспечение для end-to-end-тестирования (Accuray)

Для выполнения end-to-end-тестов планов с синхронизацией дыхания в клинике предусмотрены подвижная платформа Synchrony Motion Table (Accuray) совместно с полусферическим фантомом (рис. 13а) и вставкой Ball Cube II, а также антропоморфный фантом Xsite Lung Tracking Phantom (CIRS) (рис. 13б).

Данные тестов AQA и end-to-end в виде графиков сохраняются и отображаются в личном кабинете клиники на веб-сайте авторизованной компанией-производителем сервисной организации Medeqi (рис. 14).

Согласно программе гарантии качества с помощью multifunctional dosimeter Piranha X-ray (RTI) с неинвазивным измерителем тока MAS-2 (RTI) выполняется ежегодная проверка и калибровка рентгеновских генераторов (рис. 15а). Также раз в год выполняется проверка параметров компьютерного томографа (CTDI, геометрические проверки, проверки качества изображения) и магниторезонансного томографа (геометрические искажения). С помощью фантома Gammex 467 проверяется зависимость относительной электронной плотности от единиц Хаунсфилда (рис. 15б).

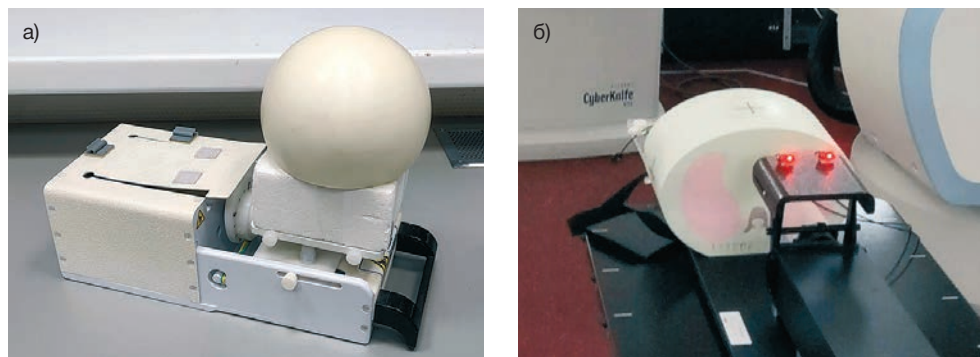


Рис. 13. а) Synchrony Phantom (Accuray) для E2E-тестов с использованием системы Synchrony при наведении по золотым меткам (Fiducials); б) Xsite Lung Tracking Phantom (CIRS) для E2E-тестов при наведении с использованием Xsite Lung, имитирующий дыхание пациента с мишенью в легких

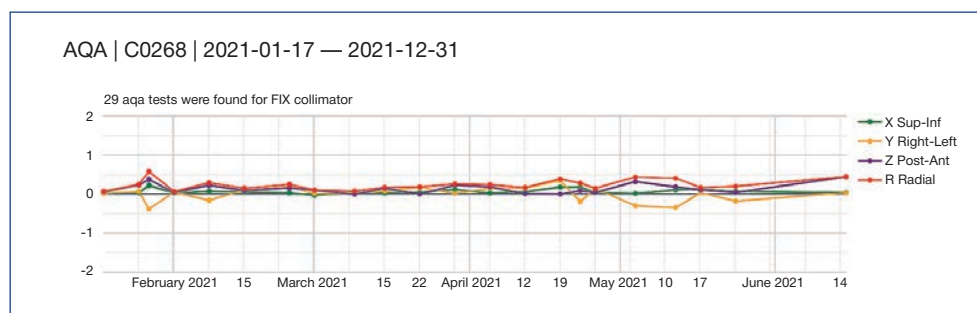


Рис. 14. График отклонений нацеливания по 3 осям по данным AQA тестов (личный кабинет клиники на <http://medeqi.com>)

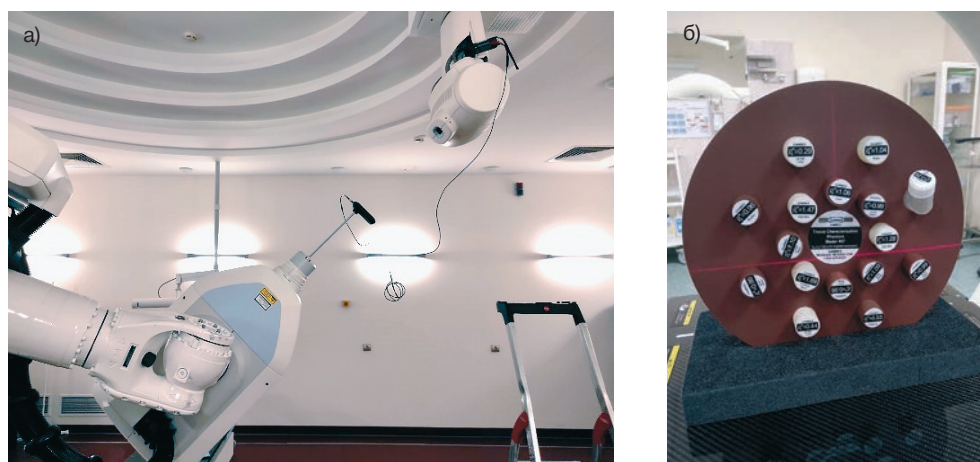


Рис. 15. а) калибровка параметров рентгенографической системы с помощью Piranha X-ray и MAS-2 (RTI group); б) CT Electron Density Phantom Gammex 467 (Sun Nuclear) для построения и проверки моделей преобразования единиц Хаунсфилда (HU) топометрического КТ в электронные плотности



При выявлении каких-либо отклонений, выходящих за установленные пределы, выполняются дополнительные проверки или калибровки.

Кроме запланированных периодических проверок и калибровок отдельного внимания заслуживают процедуры гарантии качества планов пациентов. Данные процедуры включают в себя обязательное заполнение чек-листа проверки плана и чек-листа с набором пучков для каждой фракции. Чек-лист проверки плана включает следующие основные пункты:

- проверка правильности укладки пациента;
- проверка дат регистрируемых исследований (не старше 7 дней);
- проверка на наличие артефактов регистрируемых исследований;
- проверка регистрации изображений (наложения МРТ/КТ/ПЭТ-исследований на топометрическую КТ);
- проверка выбора зависимости электронной плотности от чисел Хаунсфилда;
- проверка контуров критических структур и мишени;
- проверка параметров дозного распределения (превышения толерантных уровней органов риска и параметров предписанной дозы мишени);
- проверка выбора путей робота и методов навигации;
- проверка прохождения пучков через структуры, вызывающие увеличение неопределенности при расчете дозы;
- проверка параметров расчета дозы (выбор алгоритма, параметры расчетной коробки, неопределенность расчета дозы).

Данный чек-лист заполняется как минимум одним независимым врачом-радиотерапевтом и медицинским физиком, которые не принимали участия в разработке плана лечения пациента. После обсуждения плана облучения медицинским физиком и врачом-радиотерапевтом при необходимости после внесения поправок и повторного заполнения чек-листа проверки плана выполняется печать чек-листа с набором пучков плана для каждой фракции. Данный документ заполняется рентгенолаборантом в процессе лечения пациента.

После авторизации плана лечения врачом-радиотерапевтом медицинский физик создает план QA (план гарантии качества), который в точности повторяет план лечения, но рассчитывается по данным КТ выбранного дозиметрического фантома. При выборе фантома для плана QA принимается во внимание:

- соответствие локализации облучения геометрии фантома;
- возможность использования идентичного лечебному плану метода навигации;
- возможность выбора подходящего детектора (в зависимости от размера и расположения мишени, коллимации пучка, коэффициента модуляции плана, дозного распределения плана и т.д.).

Для локализаций, использующих навигацию методами 6D Skull и Xspine, применяется Head and Neck phantom с вставками из PLA, выполненными с помощью FDM-печати (рис. 16а). Данные вставки предназначены для радиохромных пленок типа EBТЗ и EBТХD. В зависимости от расположения мишени внутри черепа могут быть использованы различные положения вставки с детектором. Для анализа и сравнения расчетного и измеренного дозного распределения в абсолютных значениях используется специализированное программное обеспечение, позволяющее выполнять DD-DTA и гамма-анализ [18, 21]. Сканирование пленок осуществляется, как правило, не ранее чем через 24 часа с момента облучения [19, 20]. Однако использование временных зависимостей оптической плотности от дозы и программного обеспечения eFilmQA позволяет снизить время получения результатов до 1 часа без снижения достоверности [21]. План лечения допускается к реализации в случае, если более 90% точек удовлетворяют условиям гамма-индекса 2% / 2 мм для области, ограниченной 20%-ной изодозой [15] (рис. 16б, 16г).

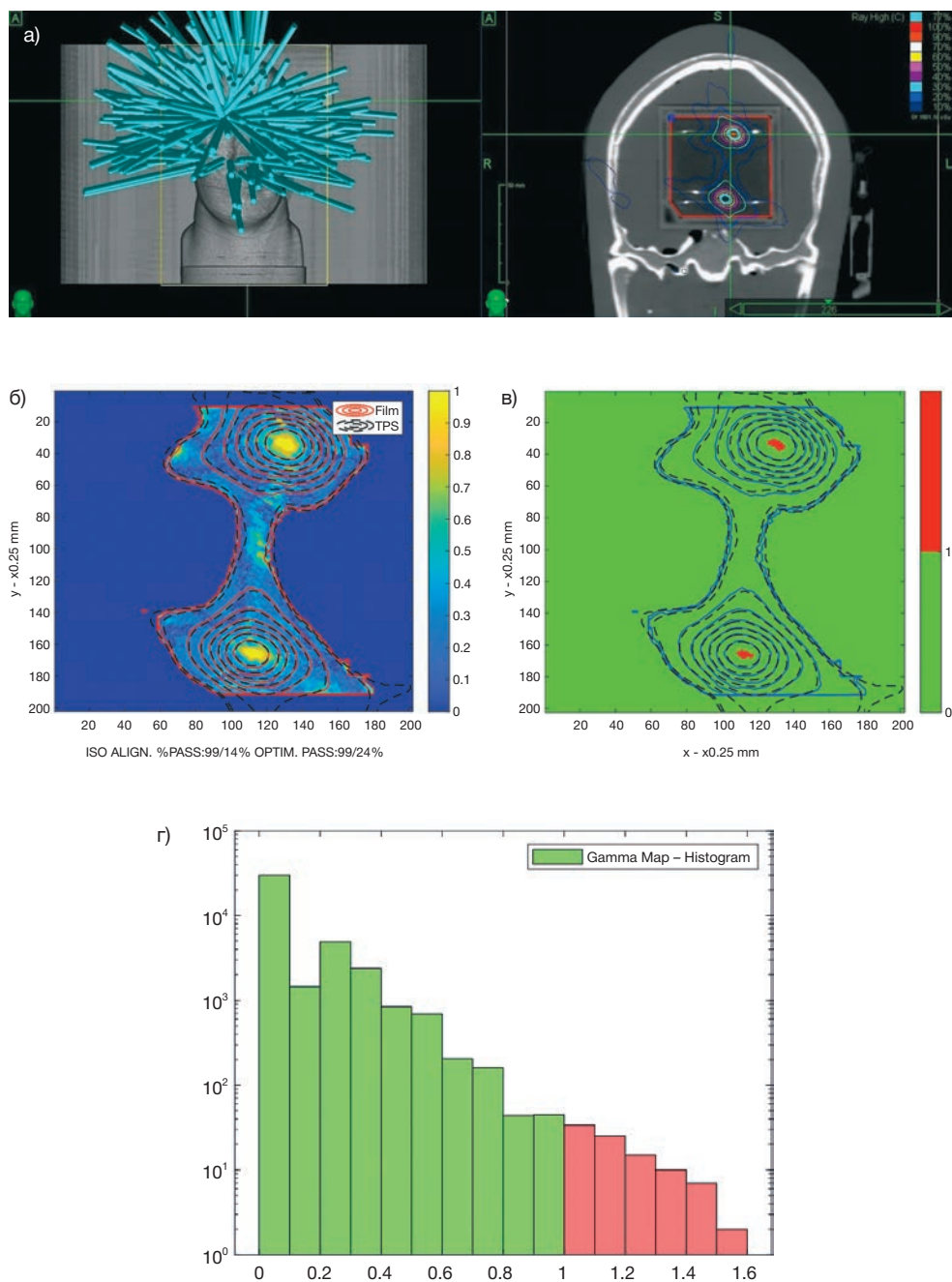


Рис. 16. а) план QA на Head and Neck фантоме со специальной вставкой для радиохромной пленки; б) распределение гамма-индекса, 99,24% точек удовлетворяют условиям 2% / 1 мм и THD = 20%, без нормирования дозы; в) распределение гамма-индекса в бинарном представлении без нормирования дозы. Красным указаны точки, превышающие 1 для критерия 2% / 1 мм, сосредоточенные в области максимума дозы (eFilmQA); г) гистограмма распределения значений гамма-индекса по количеству пикселей

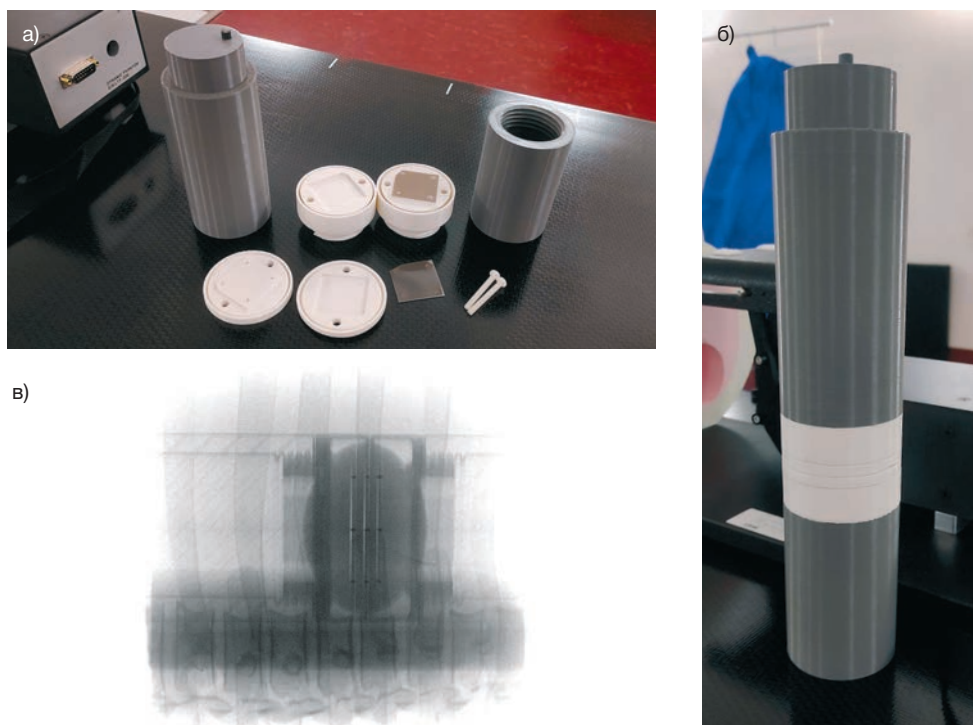


Рис. 17. а) специально разработанная в ЦЛТ «ОнкоСтоп» вставка для Xsight Lung phantom (с радио-хромными пленками, рентгеноконтрастными маркерами и рентгеноконтрастной мишенью); б) вид в сборе; в) вид на рентгеновском снимке на лечебном столе под углом 45 градусов

Для образований в легком используется Xsight Lung phantom (CIRS) со специально разработанной и изготовленной методом FDM печати вставкой для радио-хромных пленок. Данная вставка позволяет выполнять навигацию с синхронизацией по дыханию Synchrony как в режиме Xsight Lung, так и в режиме Fiducials (рис. 17а, 17б, 17в). Использование данного антропоморфного фантома, имитирующего плотности, близкие к плотностям грудной клетки, позволяет вносить неопределенности для расчета дозы, схожие с реальной анатомией пациента. Таким образом, данные планы QA так же, как и планы реальных пациентов, рассчитываются методом Монте-Карло. Согласно рекомендациям TG 135 AAPM [15], планы лечения с использованием Synchrony допускаются к реализации в случае, если более 90% точек удовлетворяют условиям гамма-индекса 3% / 3 мм для области, ограниченной 50%-ной изодозой (THD), однако мы придерживаемся более строгих критериев: 2% / 2 мм THD = 20%. Уменьшение порога THD, на наш взгляд, позволяет более точно оценивать ошибку в области толерантных доз основных критических структур для типичных локализаций и используемых предписаний.

Для планов QA экстракраниальных образований с использованием метода отслеживания Fiducials, как правило, используется Stereotactic Dose Verification Phantom совместно с ионизационными камерами различного объема (рис. 18а). Также в данном фантоме могут использоваться специальные пластины с установленными радио-хромными пленками EBТЗ или EBТХD (рис. 18б).

Данные результатов измерений планов QA записываются в CRM и прикрепляются к плану конкретного пациента за подписью медицинского физика, выполнившего

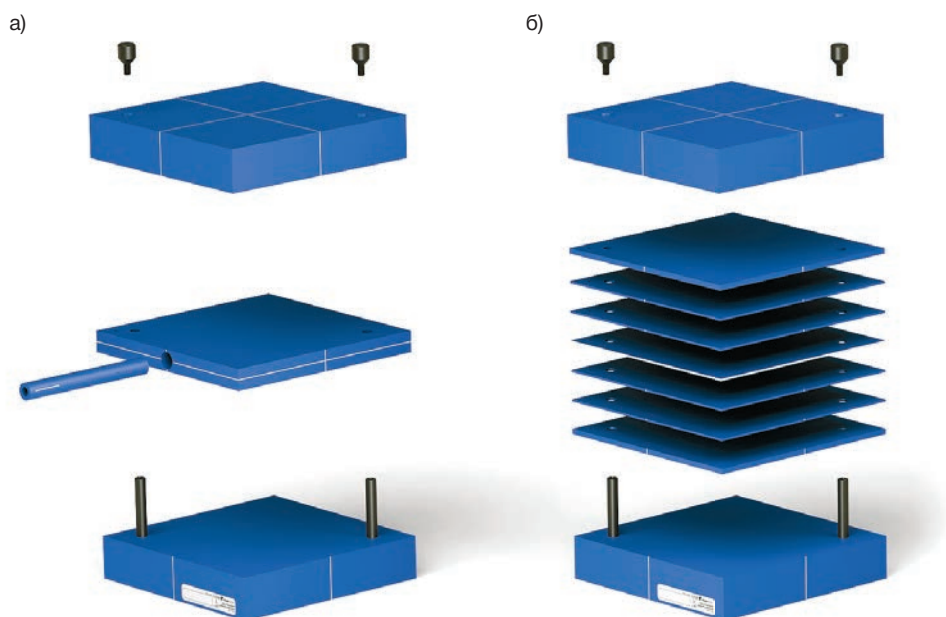


Рис. 18. Stereotactic Dose Verification Phantom (Standard Imaging) для гарантии качества планов пациента с помощью: **а)** ионизационной камеры; **б)** радиохромных пленок

проверку. Для сохранения высокой уверенности в правильности доставки дозы в ЦЛТ «ОнкоСтоп» принято проверять каждый план пациента без исключений, что отражено в рабочем процессе CRM — запись пациента на лечение недоступна до успешного выполнения всех этапов проверок.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Adler Jr J.R. et al.* The Cyberknife: a frameless robotic system for radiosurgery // Stereotactic and functional neurosurgery. — 1997. — Vol. 69. — №1–4. — P. 124–128.
2. *Antypas C., Pantelis E.* Performance evaluation of a CyberKnife® G4 image-guided robotic stereotactic radiosurgery system // Physics in Medicine & Biology. — 2008. — Vol. 53. — №17. — P. 4697.
3. *Chang S.D. et al.* An analysis of the accuracy of the CyberKnife: a robotic frameless stereotactic radiosurgical system // Neurosurgery. — 2003. — Vol. 52. — №1. — P. 140–147.
4. *Cashmore J.* The characterization of unflattened photon beams from a 6 MV linear accelerator // Physics in Medicine & Biology. — 2008. — Vol. 53. — №7. — P. 1933.
5. *Kilby W. et al.* The CyberKnife® robotic radiosurgery system in 2010 // Technology in cancer research & treatment. — 2010. — Vol. 9. — №5. — P. 433–452.
6. *Moeckli R. et al.* Dose indicator for CyberKnife image-guided radiation therapy // Medical physics. — 2020. — Vol. 47. — №5. — P. 2309–2316.
7. *Fu D., Kuduvali G.* A fast, accurate, and automatic 2D–3D image registration for image-guided cranial radiosurgery // Medical physics. — 2008. — Vol. 35. — №5. — P. 2180–2194.



8. *Muacevic A. et al.* Technical description, phantom accuracy, and clinical feasibility for fiducial-free frameless real-time image-guided spinal radiosurgery // *Journal of neurosurgery: Spine*. — 2006. — Vol. 5. — №4. — P. 303–312.
9. *Fu D., Kuduvali G.* Enhancing skeletal features in digitally reconstructed radiographs // *Medical Imaging 2006: Image Processing*. — International Society for Optics and Photonics, 2006. — Vol. 6144. — P. 61442M.
10. *Mu Z., Fu D., Kuduvali G.* A probabilistic framework based on hidden Markov model for fiducial identification in image-guided radiation treatments // *IEEE transactions on medical imaging*. — 2008. — Vol. 27. — №9. — P. 1288–1300.
11. *Murphy M.J.* Fiducial-based targeting accuracy for external-beam radiotherapy // *Medical physics*. — 2002. — Vol. 29. — №3. — P. 334–344.
12. *Nuytens J.J., Van De Pol M.* The CyberKnife radiosurgery system for lung cancer // *Expert review of medical devices*. — 2012. — Vol. 9. — №5. — P. 465–475.
13. *Ozhasoglu C. et al.* Synchrony-cyberknife respiratory compensation technology // *Medical Dosimetry*. — 2008. — Vol. 33. — №2. — P. 117–123.
14. *Urschel H.C.* Treating tumors that move with respiration. — Berlin Heidelberg: Springer, 2007.
15. *Dieterich S. et al.* Report of AAPM TG 135: quality assurance for robotic radiosurgery // *Medical physics*. — 2011. — Vol. 38. — №6. — Pt. 1. — P. 2914–2936.
16. *Lutz W., Winston K.R., Maleki N.* A system for stereotactic radiosurgery with a linear accelerator // *International journal of radiation oncology, biology, physics*. — 1988. — Vol. 14. — №2. — P. 373–381.
17. International Atomic Energy Agency. Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy. Technical Reports Series. No. 483. — Vienna: IAEA, 2017.
18. *Low D.A. et al.* A technique for the quantitative evaluation of dose distributions // *Medical physics*. — 1998. — Vol. 25. — №5. — P. 656–661.
19. *Cheung T., Butson M.J., Peter K.N.* Post-irradiation colouration of Gafchromic EBT radiochromic film // *Physics in Medicine & Biology*. — 2005. — Vol. 50. — №20. — P. N281.
20. *Das I.J. (ed.)*. Radiochromic film: role and applications in radiation dosimetry. — CRC Press, 2017.
21. *Dunn L. et al.* A method for time-independent film dosimetry: Can we obtain accurate patient-specific QA results at any time postirradiation? // *Journal of applied clinical medical physics*. — 2022. — Vol. 23. — №3. — P. e13–34.

ГЛАВА 2

МАРКИРОВАНИЕ ОПУХОЛЕЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОГО ЛУЧЕВОГО ЛЕЧЕНИЯ НА РОБОТИЗИРОВАННОМ ЛИНЕЙНОМ УСКОРИТЕЛЕ «КИБЕРНОЖ»

| МАРКИРОВАНИЕ ПОД КОНТРОЛЕМ УЗИ И КТ

В.Ю. Косырев, В.Н. Шолохов, Р.В. Москаленко

Одним из основных преимуществ системы «КиберНож» является высокая точность наведения. Точность обеспечивается за счет отслеживания движения мишени путем выполнения рентгеновских снимков и уточнения ее координат. Опухоль должна быть хорошо видимой для системы, что особенно актуально для смещаемых и деформируемых при дыхании органов и тканей [1]. Однако в ряде случаев визуализируемость опухоли оказывается недостаточной для робота и требуется установка дополнительных ориентиров. В качестве таких ориентиров используют специальные маркеры — миниатюрные кусочки медицинского золота, чаще цилиндрической формы или в виде спирали, размерами 1 мм × 3–5 мм.

Поверхность маркеров имеет разнообразные шероховатости и зазубрины для минимизации смещения. Маркеры имплантируются пункционно через иглу 18G. Реже используют маркеры в виде микроскопической золотой спирали, которая в ткани скручивается в клубочек, обеспечивая достаточный точечный объем для визуализации. Такие маркеры имплантируют через иглы меньшего диаметра — 19G–25G.

Установленные маркеры должны находиться на расстоянии не менее 20 мм и не более 50 мм между собой под минимальным углом 15 градусов друг от друга и быть видимыми на рентгеновских проекциях под углами 315 и 45 градусов. Количество маркеров зависит от размеров опухоли. Для небольших узловых новообразований диаметром до 1,5 см в большинстве случаев достаточной является установка одного (но максимально центрального) маркера. При опухолевых узлах больших размеров имплантируется не менее 3 маркеров.

С целью наведения при имплантации маркеров в поверхностно расположенные опухоли и узлы абдоминальной локализации в подавляющем большинстве случаев используется УЗИ [2, 3]. ТРУЗИ применяется для маркировки опухолей предстательной железы и некоторых новообразований, локализующихся параректально. Во всех остальных случаях для навигации применяют КТ-флюороскопию [4].

Имплантация маркеров выполняется за 1,5–2 недели до начала лечения. Накануне имплантации пациент предоставляет данные биохимического и общего клинического анализов крови, коагулограмму, ЭКГ и другие медицинские документы для планирования предстоящего вмешательства и оценки степени риска развития осложнений.



Имплантация маркеров выполняется под местной анестезией 0,5%-ного раствора лидокаина. При трансректальном доступе используют катеджель (100 г геля содержат: лидокаина гидрохлорид 2,0 г, хлоргексидина дигидрохлорид 0,05 г). В ряде случаев (при глубоко расположенных опухолях, при установке 5–7 маркеров и др.) требуется предварительная премедикация. После имплантации пациент должен находиться под наблюдением врача в течение 1–3 часов в зависимости от травматичности вмешательства. За 1–2 дня до имплантации и в течение 2–3 дней после целесообразно назначить пероральный прием антибактериальных препаратов широкого спектра действия (Ципрофлоксацин 0,5 г × 2 раза в день).

Через 7–10 дней после имплантации выполняется предварительная КТ-разметка, в ходе которой оценивается адекватность положения маркеров и решается вопрос о необходимости их дополнительной установки. Это требуется крайне редко в случае существенной миграции одного/нескольких маркеров. Для минимизации вероятности смещения рекомендуется при их установке избегать точек с пониженной плотностью (зоны тканевого распада), полостей, содержащих жидкость, и крупных сосудов.

Имплантация маркеров — хорошо переносимое, безопасное, малоинвазивное вмешательство, выполняемое, как правило, амбулаторно. Тем не менее всегда следует учитывать специфику пунктируемой зоны и ее анатомо-физиологические особенности.

Так, маркирование опухолей легких примерно у трети пациентов сопровождается минимально выраженным пневмотораксом, чаще при пункции нижних отделов. Однако дренирования плевральной полости, как правило, не требуется (по данным зарубежной литературы, дренирование выполняется менее чем у 1% пациентов) [5].

При маркировании опухолей печени необходимо учитывать возможность внутрибрюшного кровотечения, субкапсулярных гематом, желчеистечения в брюшную полость. Несмотря на очень редкую частоту подобных осложнений (по нашим данным, менее 1%), следует учитывать вероятность их развития при планировании вмешательства и подготовки пациента к нему путем своевременного прерывания приема антикоагулянтов, коррекции в системе коагуляции (прием витамина К, переливание тромбоцитарной массы и т. д.) и др. [3].

Те же предосторожности следует соблюдать и при маркировании опухолей почки и надпочечников. В случае установки маркеров в надпочечник необходимый перечень анализов дополняется консультацией эндокринолога и анализами на определение ренина, АКТГ, свободного метанефрина в плазме крови и моче, альдостерона, кортизола, а также дексаметазоновой пробой; следует также учитывать, что, помимо болевого синдрома, возможно развитие артериальной гипертензии. В целом, как уже отмечалось, частота развития тяжелых осложнений мала, и в большинстве случаев консервативная терапия дает положительный эффект.

На рис. 1–9 приведены примеры имплантированных маркеров.

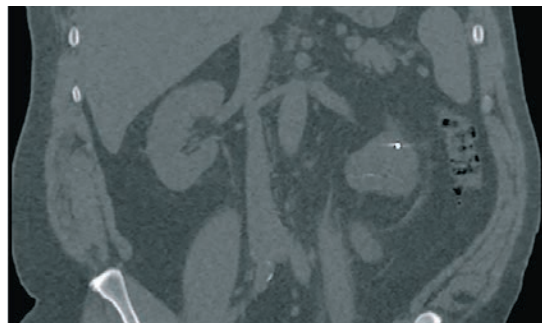
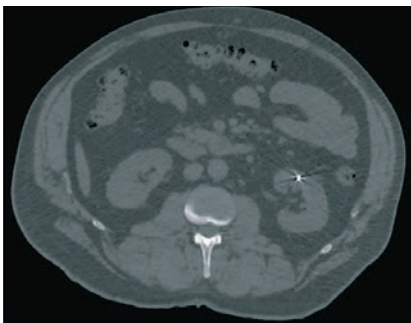


Рис. 1. Маркирование опухоли почки

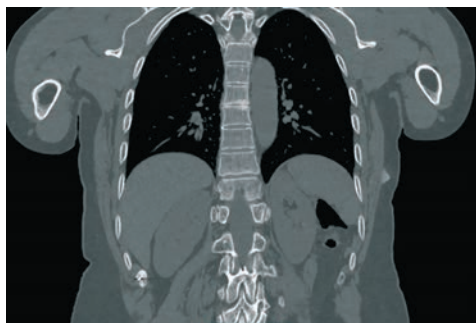


Рис. 2. Маркирование опухоли XI ребра справа

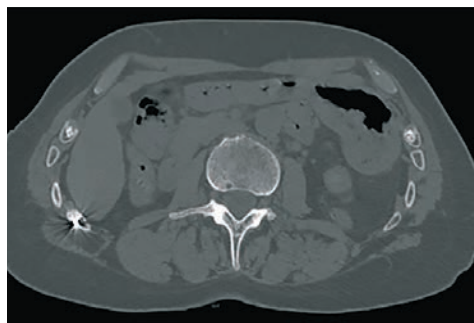


Рис. 3. Маркирование предстательной железы



Рис. 4. Маркирование опухоли поджелудочной железы

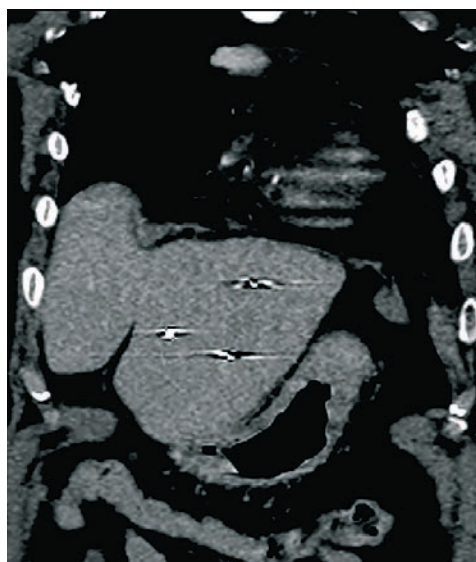


Рис. 5. Маркирование опухоли печени

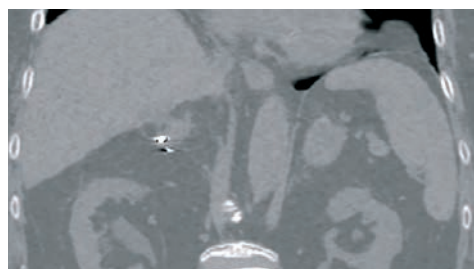


Рис. 6. Маркирование опухоли надпочечников

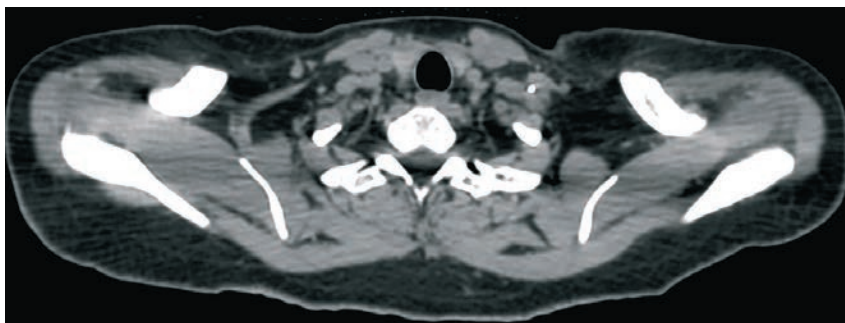


Рис. 7. Маркирование опухоли надключичного лимфоузла

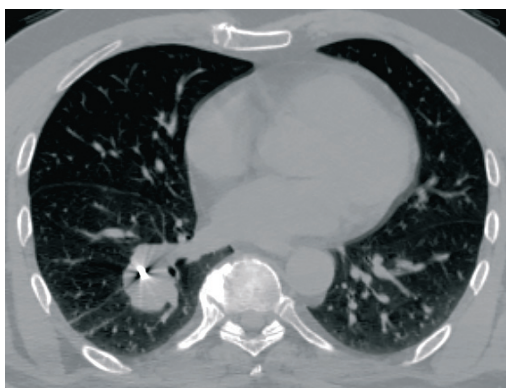


Рис. 8. Маркирование опухоли легкого

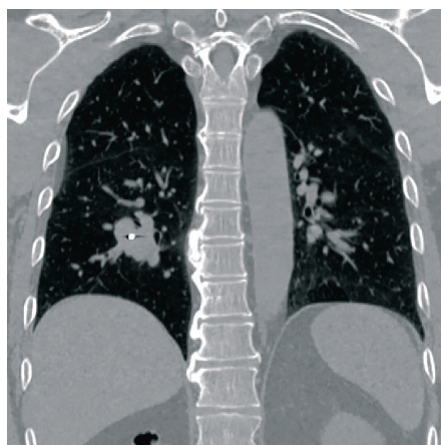
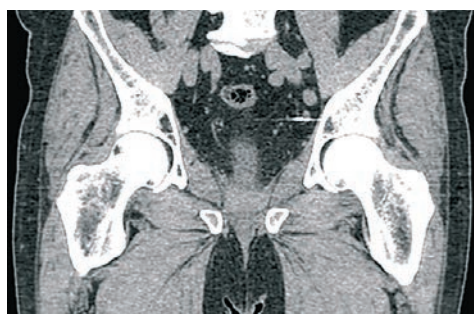


Рис. 9. Маркирование лимфоузлов в малом тазу



ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ ТРАНСБРОНХИАЛЬНАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ МАРКЕРОВ

*Л.В. Черкес, О.А. Малихова, Ю.А. Герасимов,
Р.Р. Файзуллин, Д.С. Романов*

Традиционная установка рентгеноконтрастных маркеров с использованием трансторакального доступа под контролем КТ не всегда возможна. При выполнении маркирования данным способом остается достаточно высокая вероятность пневмоторакса. Это представляет проблему для пациентов с высокой частотой серьезных нарушений функции легких. Также этот подход неоптимален для поражений центральной части грудной полости и средостения, учитывая необходимость пересечения большого количества легочных и грудных структур, чтобы достичь области поражения. Это приводит к более высокому риску развития пневмоторакса и кровотечения. Таким образом, маркирование опухолей легких центральной локализации и средостения следует выполнять эндобронхиально посредством эндоскопического оборудования [6, 7].

В соответствии с общепринятыми эндоскопическими принципами в условиях онкологического центра операция выполняется под тотальной внутривенной анестезией с интубацией трахеи в положении пациента лежа на спине. Операционная бригада состоит из врача-эндоскописта, ассистента, медицинской сестры, врача-анестезиолога и анестезиста. На первом этапе всем пациентам выполняется стандартная видеобронхоскопия, визуализируются точное расположение новообразования, его размер и форма. При отсутствии прямого визуального контакта в области интереса выполняется эндобронхиальное УЗИ (EBUS) с помощью конвексного эхоэндоскопа с рабочим каналом диаметром 2,2 мм. Далее используется доплеровское изображение для поиска любого промежуточного сосуда между иглой и мишенью.

С помощью стерильных пинцетов рентгеноконтрастная метка диаметром от 0,3 до 0,5 мм помещается в кончик иглы для тонкоигольной аспирации EBUS TBNA 22G с удаленным стилетом на 2 см. Если рентгеноконтрастная метка находится в стерильной игле с мандреном для трансторакальной имплантации 25G, она может быть перенесена в иглу для тонкоигольной аспирации EBUS TBNA 22G путем помещения кончика первой, более тонкой иглы в кончик второй и выдавливания метки мандреном. Для предотвращения произвольного выпадения маркера при дальнейших манипуляциях кончик иглы запечатывается стерильным костным воском (Ethicon, Somerville, NJ), после чего игла с установленной меткой помещается в рабочий канал конвексного эхоэндоскопа и под ультразвуковым контролем вводится в толщу опухоли. Стиллет продвигается к концу иглы, чтобы продвинуть метку от иглы в опухоль. Успешная установка подтверждается с помощью эндоскопического ультразвукового исследования и мультиспиральной компьютерной томографии (КТ), выполняемой на следующий день после процедуры имплантации. С момента имплантации маркеров до выполнения топометрической компьютерной томографии, используемой для дозиметрического расчета плана стереотаксического облучения, для снижения вероятности миграции метки и уменьшения возможного отека должно пройти не менее 10 дней.

КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР

Пациентка Н., 62 года (рис. 10а, 10б)

Диагноз: ПМЗО: 1) рак левой молочной железы T2N3M0, состояние после комплексного лечения в 2003 году, ремиссия; 2) меланома хориоидеи правого глаза T3N0M0,

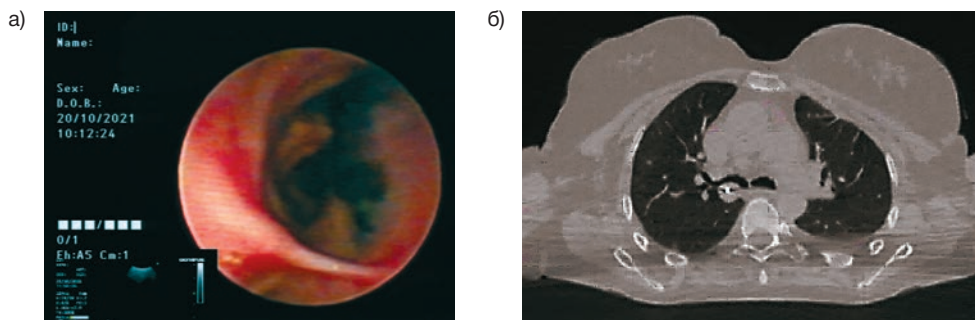


Рис. 10. а) видеобронхоскопия новообразования; б) контрольная мультиспиральная компьютерная томография пациентки Н., выполненная для подтверждения расположения рентгеноконтрастного маркера

состояние после брахитерапии. Прогрессирование заболевания: метастатическое поражение легких, головки поджелудочной железы, лимфатических узлов средостения. Состояние после химиотерапии: прогрессирование — рост лимфоузлов средостения. Состояние: в процессе иммунной терапии.

По данным КТ наблюдается узел на уровне задней стенки правого главного бронха размерами $2 \times 1,5$ см, суживающий его просвет на 1/2.

С целью предупреждения развития компрессии правого главного бронха и коллапсирования правого легкого пациентке рекомендовано проведение стереотаксической лучевой терапии на область очага совместно с иммунотаргетной терапией: ленватиниб (20 мг в сутки ежедневно) и пембролизумаб (200 мг 1 раз в день, курс 21 день).

По данным КТ-исследования маркер четко визуализируется рентгеновскими методами и установлен близко к центру узла, что позволяет использовать его в алгоритме навигации Fiducials совместно с системой отслеживания дыхания Synchrony при стереотаксической лучевой терапии на аппарате «КиберНож».

20.10.2021 проведена эндоскопическая трансбронхиальная тонкоигольная пункция узла на уровне задней стенки правого главного бронха с одномоментной имплантацией 1 рентгеноконтрастной метки (рис. 10а). После проведенной процедуры выполнено контрольное КТ-исследование для подтверждения расположения маркера (рис. 10б). Манипуляция прошла без осложнений. На следующий день пациентка выписана из стационара.

08.11.2021 для дозиметрического планирования стереотаксической лучевой терапии выполнена топометрическая компьютерная томография с иммобилизацией пациента в вакуумном матрасе. В процессе планирования рентгеноконтрастные метки отмечались на референсных рентгенограммах (рис. 11), полученных в результате цифровой реконструкции КТ, для последующего вычисления отклонений на рентгеновских изображениях в процессе стереотаксической лучевой терапии.

С 15.11.2021 по 19.11.2021 проведен курс стереотаксической лучевой терапии на аппарате «КиберНож» на опухолевом образовании на уровне задней стенки правого главного бронха, РОД 6 Гр за 5 фракций с предписанием дозы по краю мишени (рис. 12). В ходе проведенной стереотаксической лучевой терапии ранней лучевой токсичности не отмечено. После лечения пациентке рекомендовано выполнение контрольного КТ органов грудной клетки через 2 месяца, лекарственная терапия согласно рекомендациям химиотерапевта.

План лечения пациентки Н. Визуализация направлений пучков ионизирующего излучения; диаграмма доза — объем; таблица показателей дозной нагрузки; дозное распределение на топометрическом КТ, рассчитанное методом Монте-Карло (рис. 12).