



Алматинский Онкологический Центр отделение лучевой терапии

Технические основы лучевой терапии и радиационная терапевтическая техника. Источники фотонного и корпускулярного излучения для лучевой терапии.

Лучевой терапевт PhD Ишкинин Евгений Иванович
Медицинский физик: Датбаев Каиргельды Даулетович



Казакский Национальный Университет имени Аль - Фараби
Специальность 7M05311-Ядерная медицина 7M05317 Ядерная медицина (МИФИ)
Название дисциплины - Лучевая терапия

Начало применения радиации в медицине

рентгеновские аппараты
препараты радия

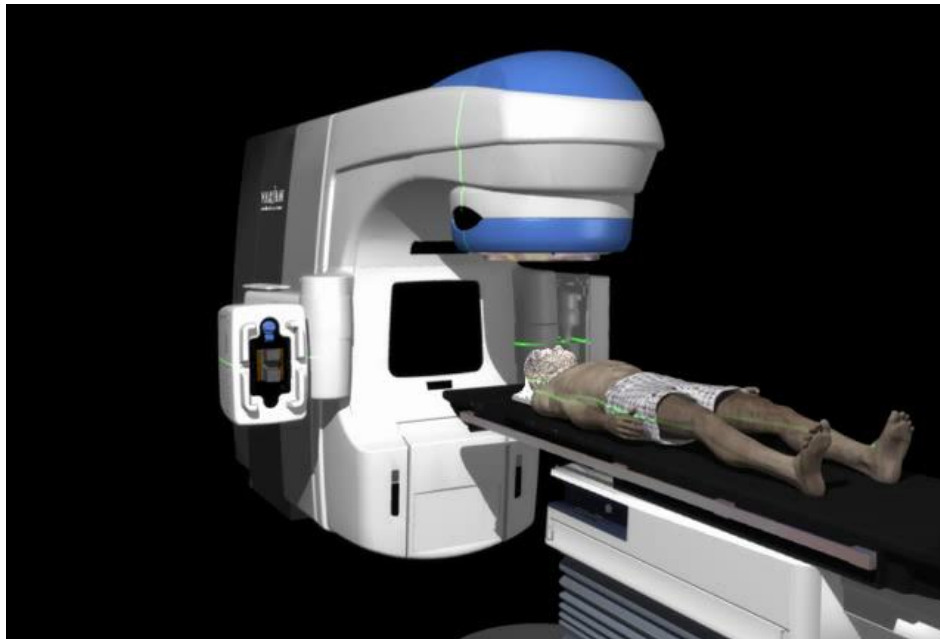


ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ

Дистанционная лучевая терапия

Источник излучения находится на некотором расстоянии от пациента

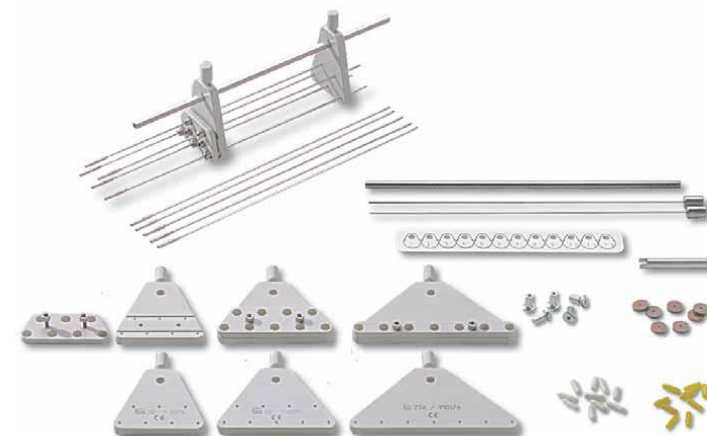
Рентгенотерапевтические аппараты, гамма-аппараты, ускорители



Контактная лучевая терапия (брахитерапия)

Источник помещается в тело пациента
(в контакте с опухолью)

Внутриполостная, внутритканевая, внутрисветная, поверхностная



БРАХИТЕРАПИЯ



РЕНТГЕНОТЕРАПИЯ



Дистанционные гамма-терапевтические аппараты

TERAGAM



Theratron Equinox™



Источники Co-60 высокой активности 6000 - 8000 Ки

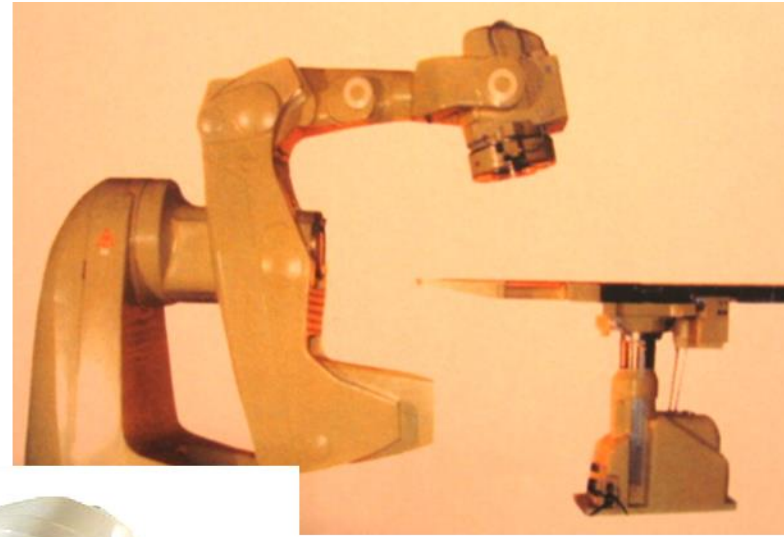
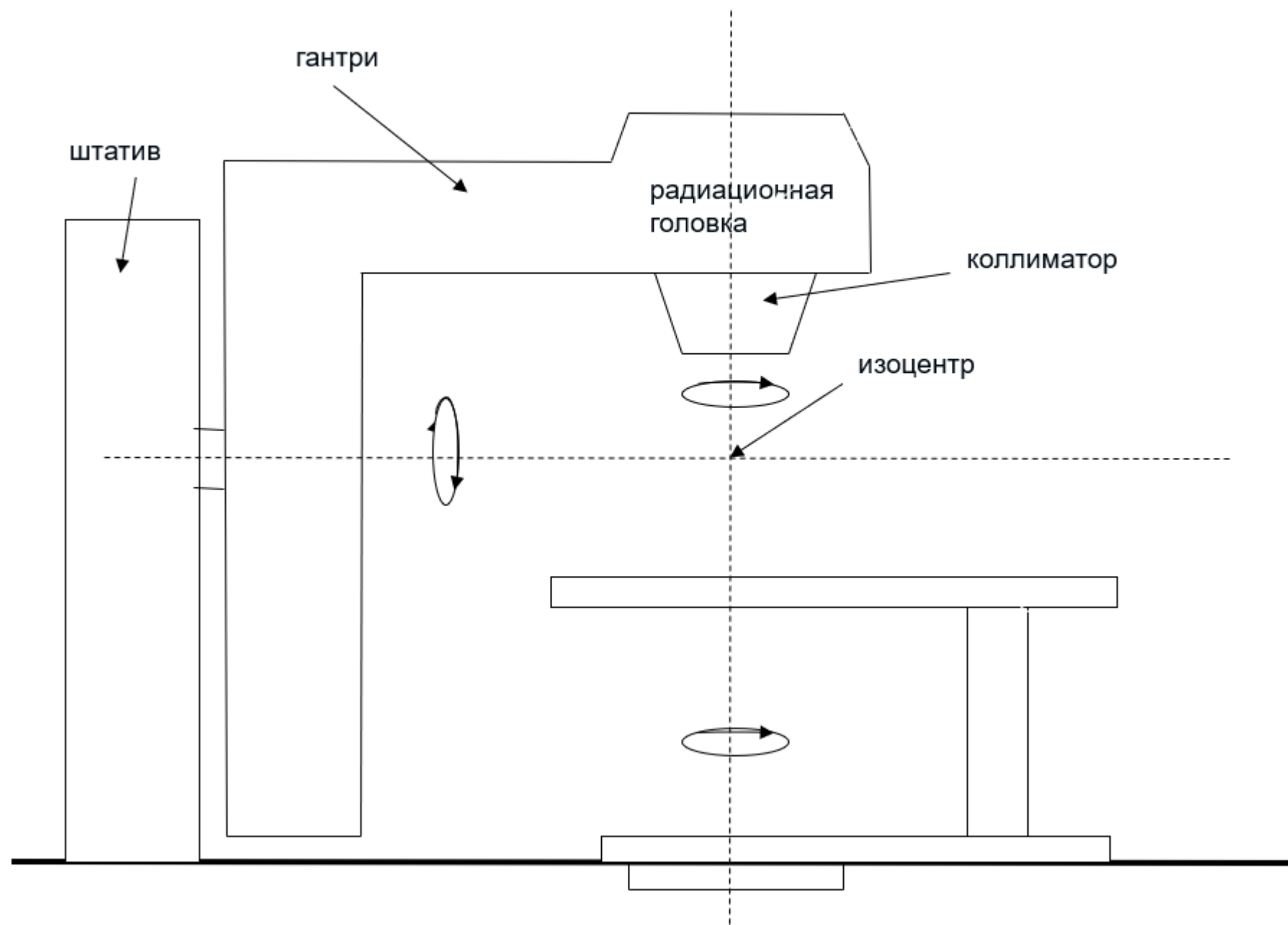


Схема дистанционного гамма-аппарата



Линейные ускорители



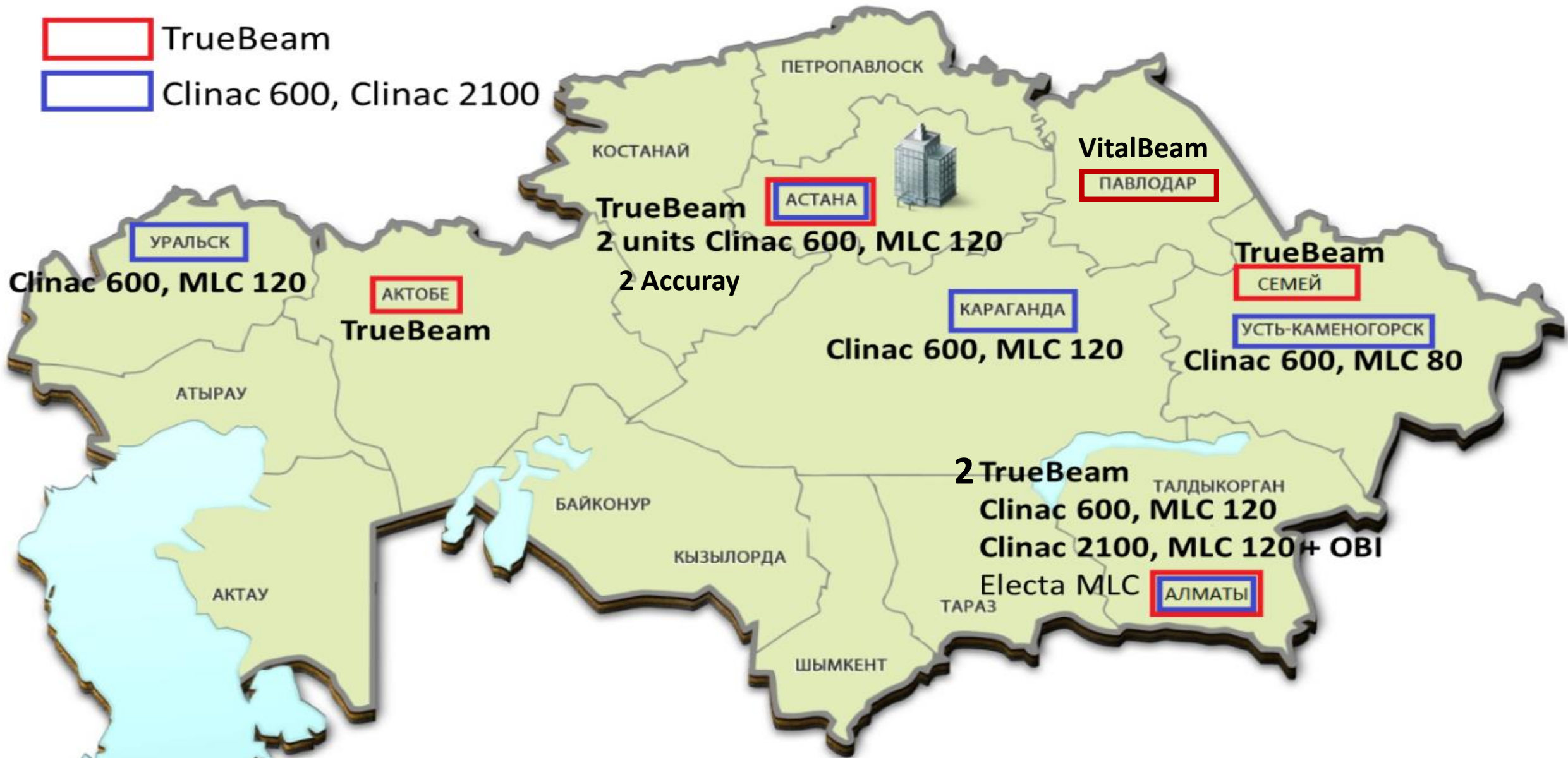
Линейные ускорители в Казахстане



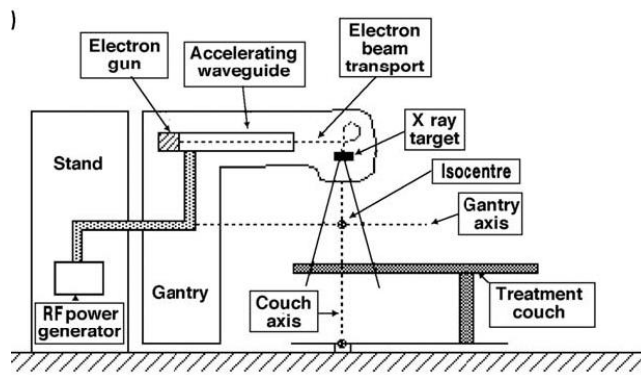
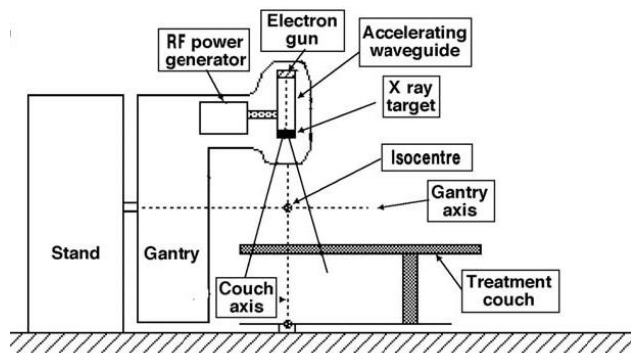
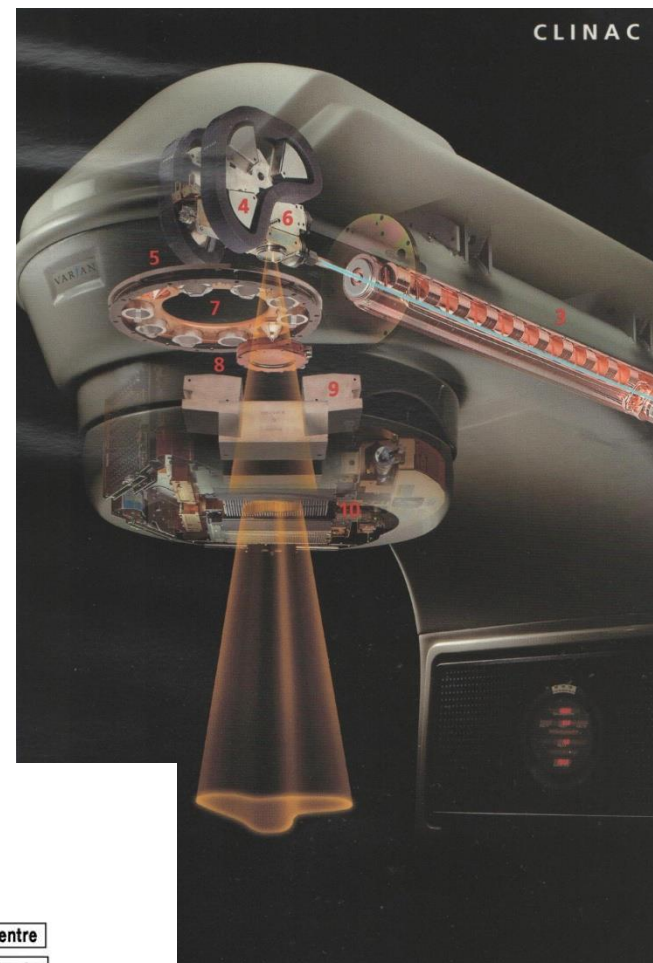
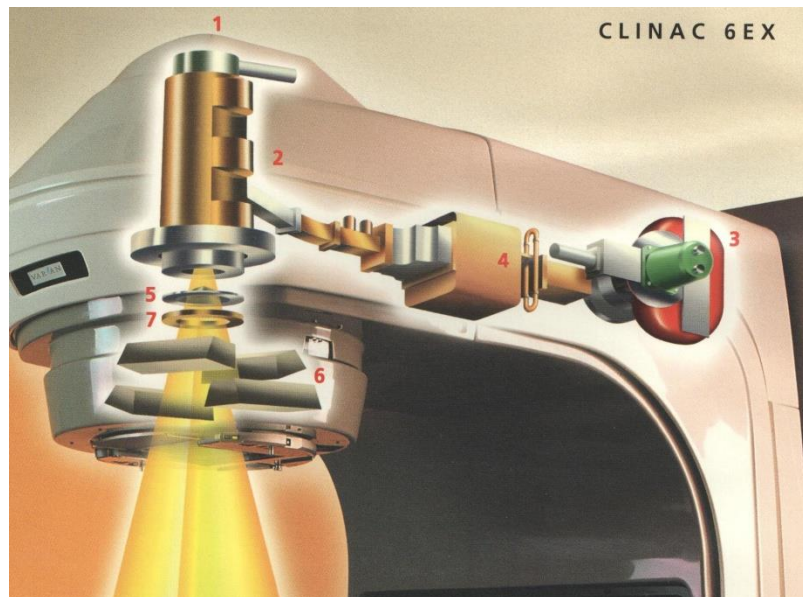
TrueBeam



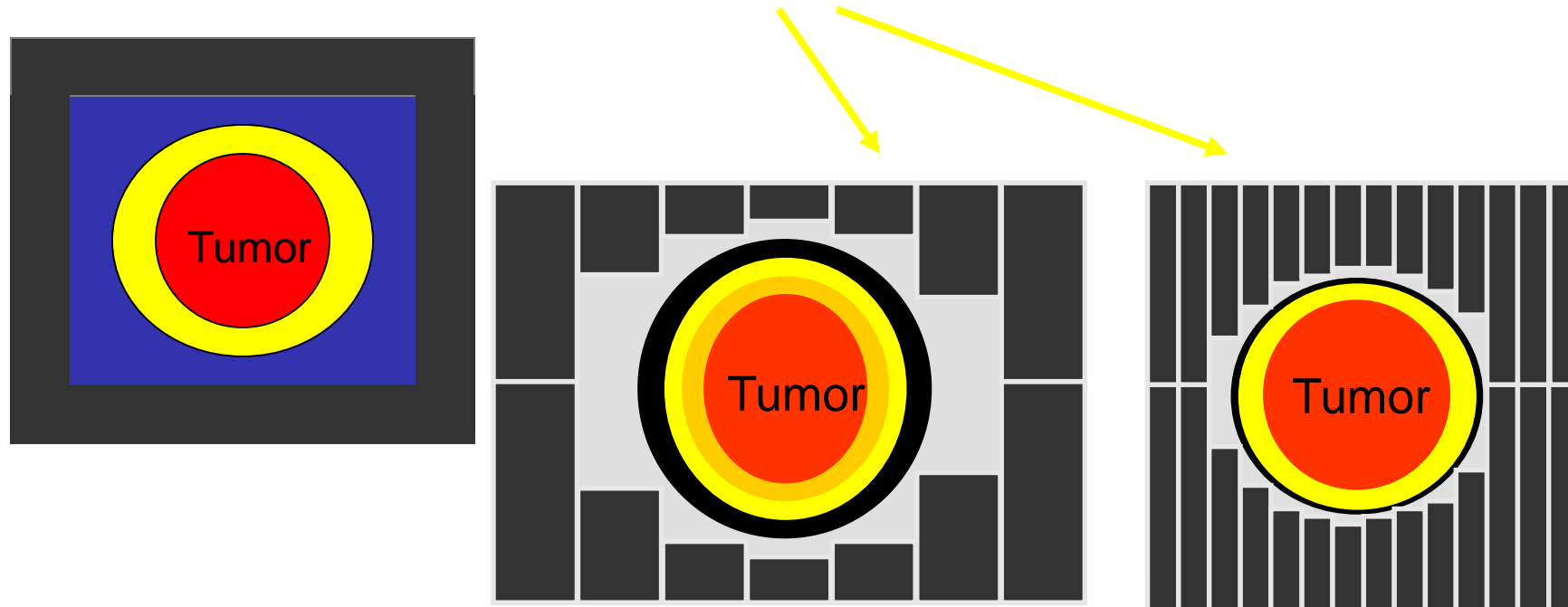
Clinac 600, Clinac 2100



Низко- и высокоэнергетические ускорители



Многолепестковый коллиматор



Формирует пучок излучения соответственно
форме очага

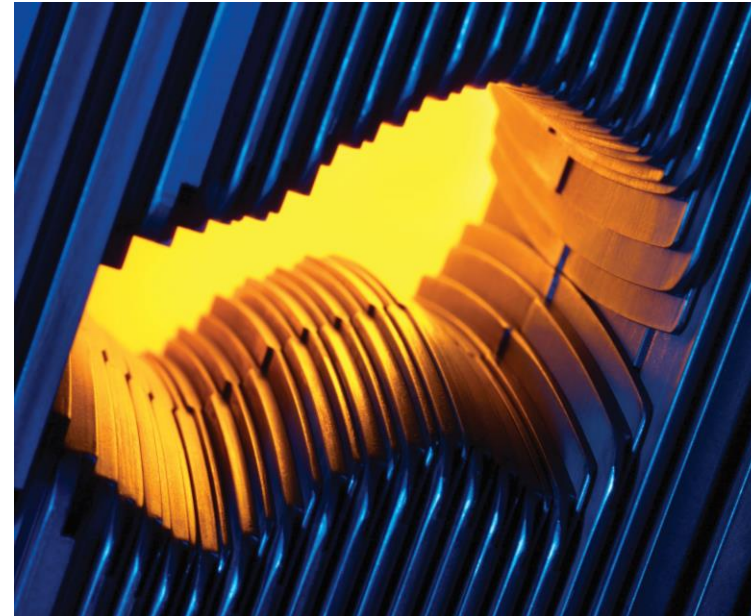
Многолепестковый коллиматор

Millennium™ MLC-120



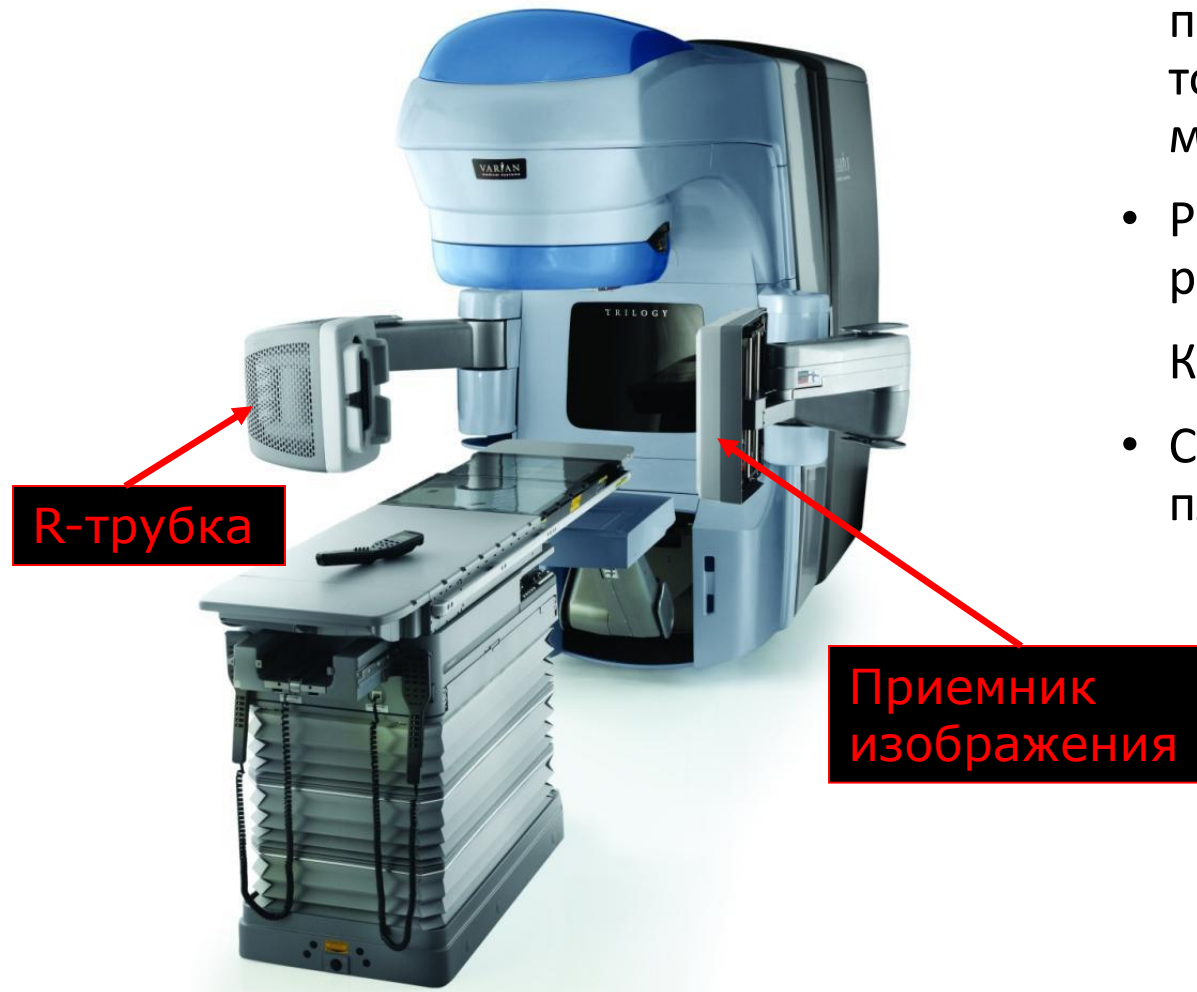
Размер поля: 40*40 см²
Центр поля (20 см): 5 mm
Края: 10 mm

High-Definition HD120™ MLC



Размер поля: 40*22 см²
Центр поля (8 см): 2.5 mm
Края: 5 mm

Установка рентгеновской системы визуализации On Board Imager (OBI) на ускорителе Clinac-2100C/D



- Для контроля позиционирования пациента и точности подведения пучка к мишени
- Рентгеноскопия, рентгенография, КТ в коническом пучке
- Сравнение полученных КТ с планировочными

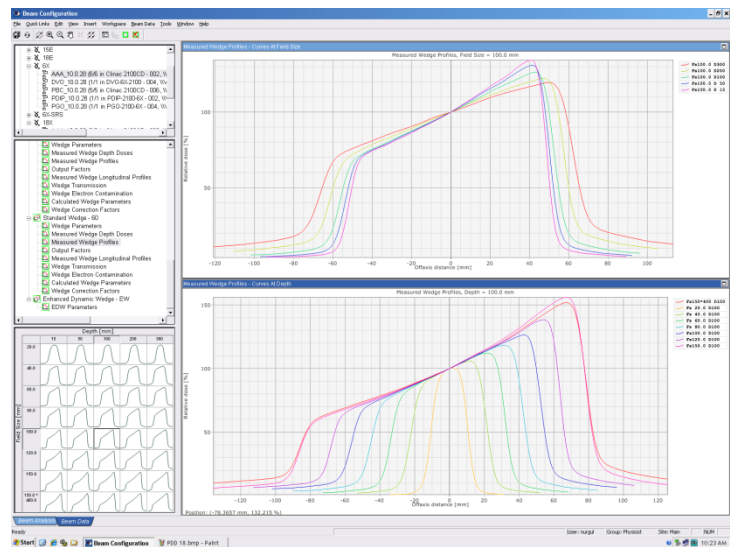
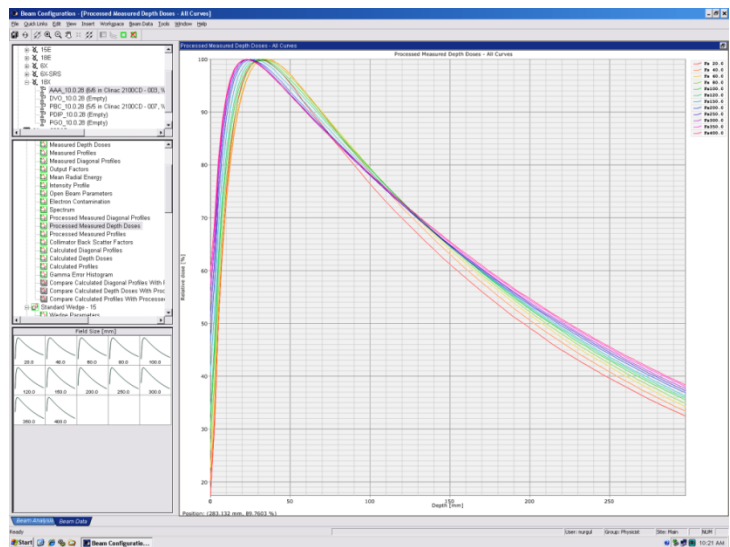
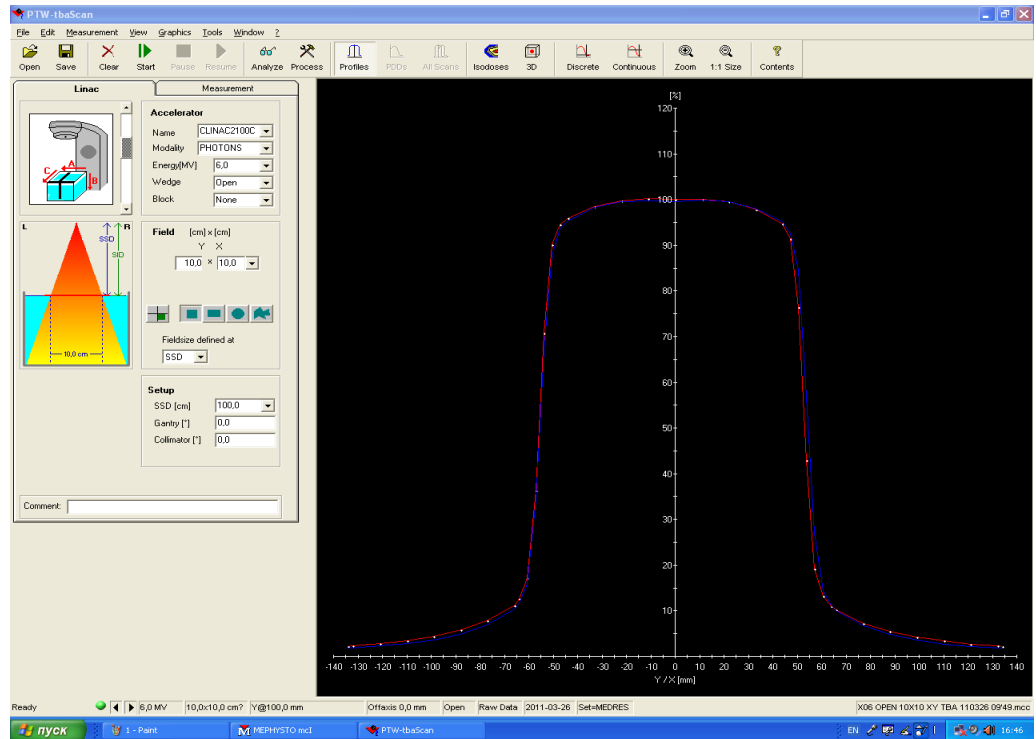
Чтобы использовать радиотерапевтическую установку для лечения больных, сначала физики должны сделать измерения всех характеристик радиационных пучков (**клиническая дозиметрия**), ввести данные в компьютерную систему планирования лучевой терапии

Дозиметрическое оборудование:

- клинические дозиметры
 - ионизационные камеры и другие детекторы излучений
 - фантомы (водные и пластиковые)
 - системы сканирования пучков
 - программное обеспечение
- вспомогательные принадлежности (барометр, термометр и др.)

Дозиметрическое оборудование





Предлучевая подготовка – компьютерный томограф или симулятор с КТ



2. Формирование оптимального дозного распределения для подведения предписанной дозы к очагу и минимизации облучения здоровых тканей – **выполняет физик**

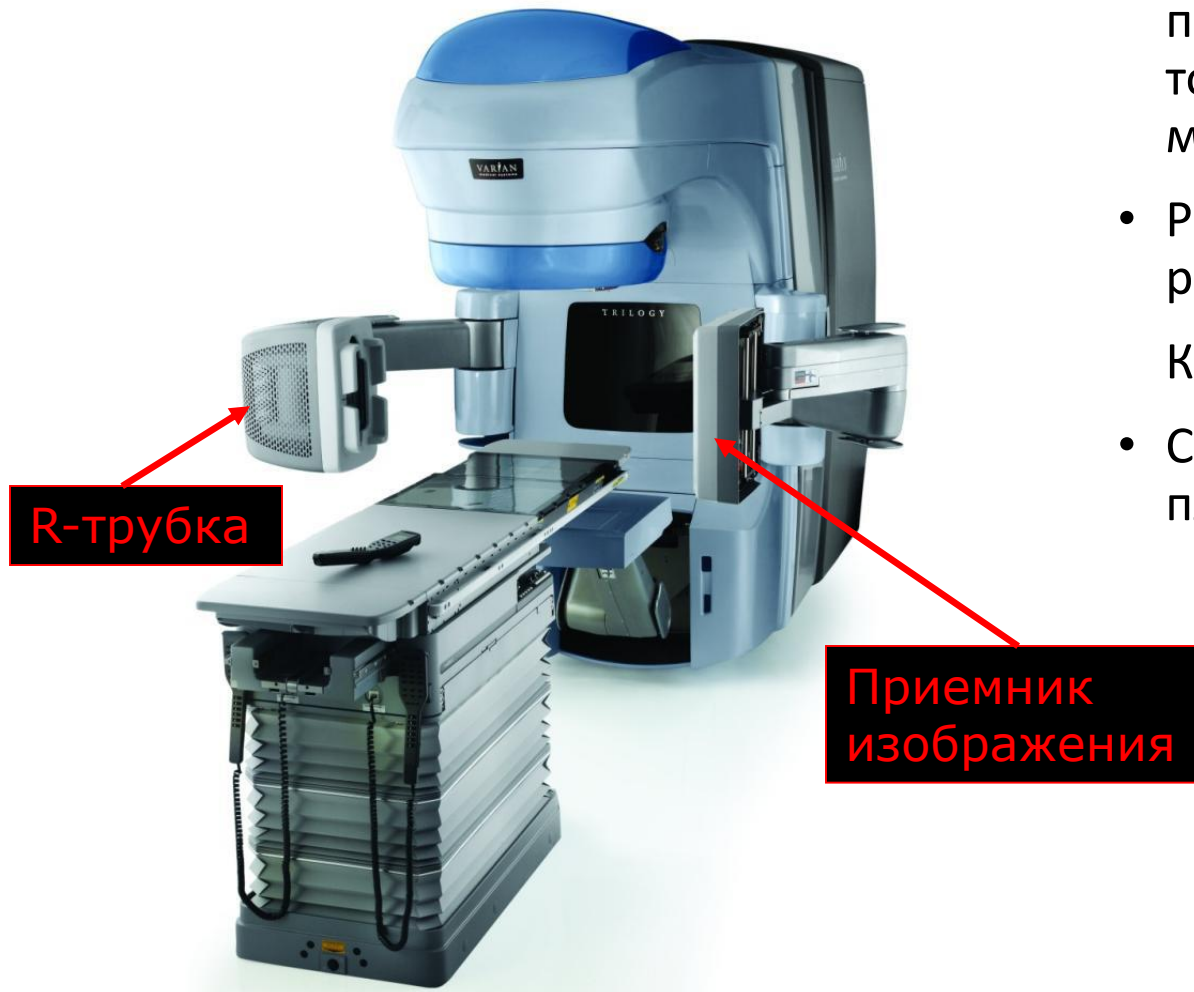
- Выбор излучения (фотоны, электроны), выбор энергии
- Подбор направлений пучков
- Применение МЛК / индивидуальных блоков
- Применение клиновидных фильтров
- Соотношение вкладов (весовых факторов)
- Нормализация

EPID - электронное устройство порталных изображений

- порталные изображения используют для проверки и коррекции положения пациента
- достижение точности положения пациента в сравнении с планируемым положением



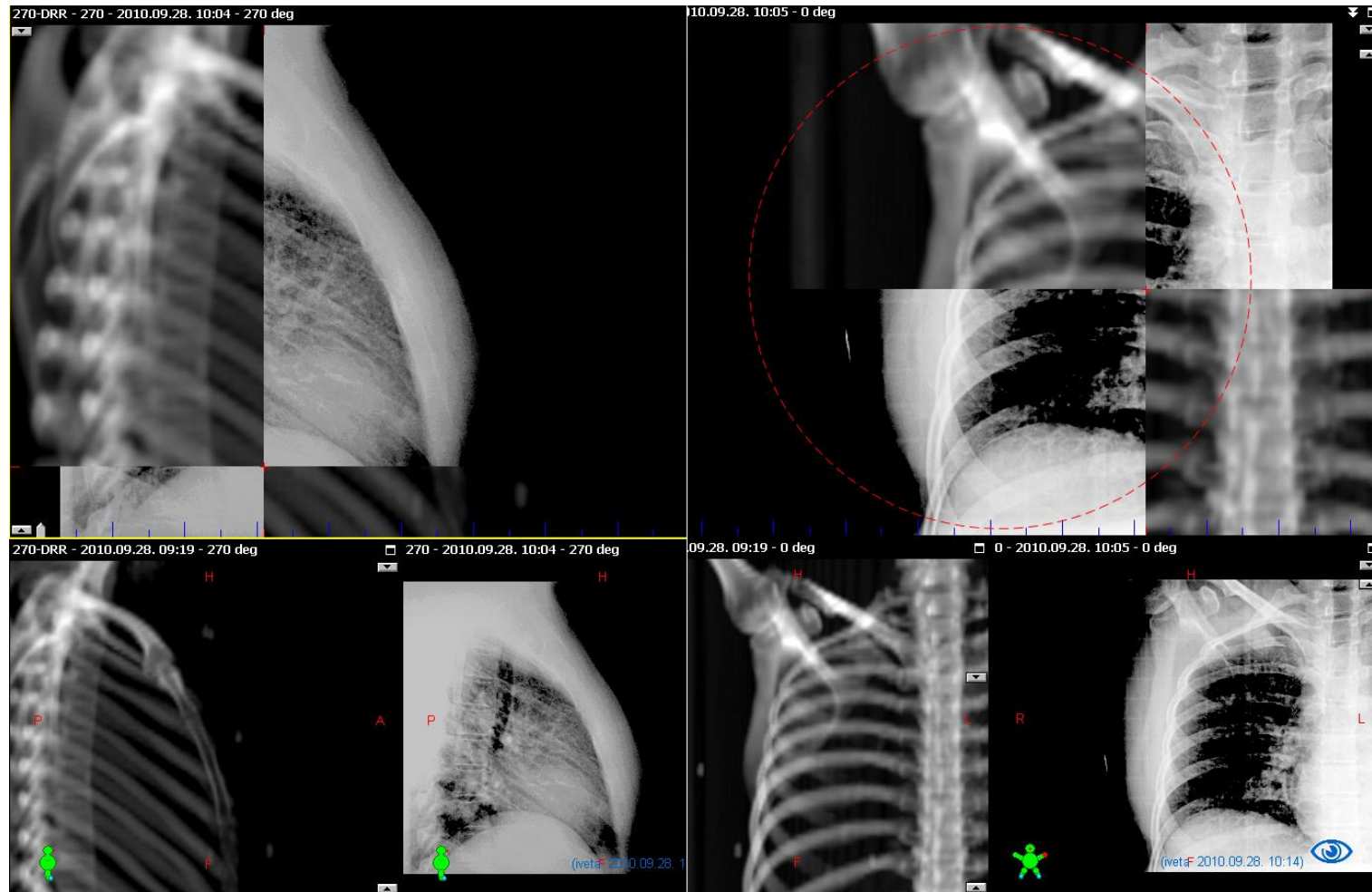
Установка рентгеновской системы визуализации On Board Imager (OBI) на ускорителе Clinac-2100C/D



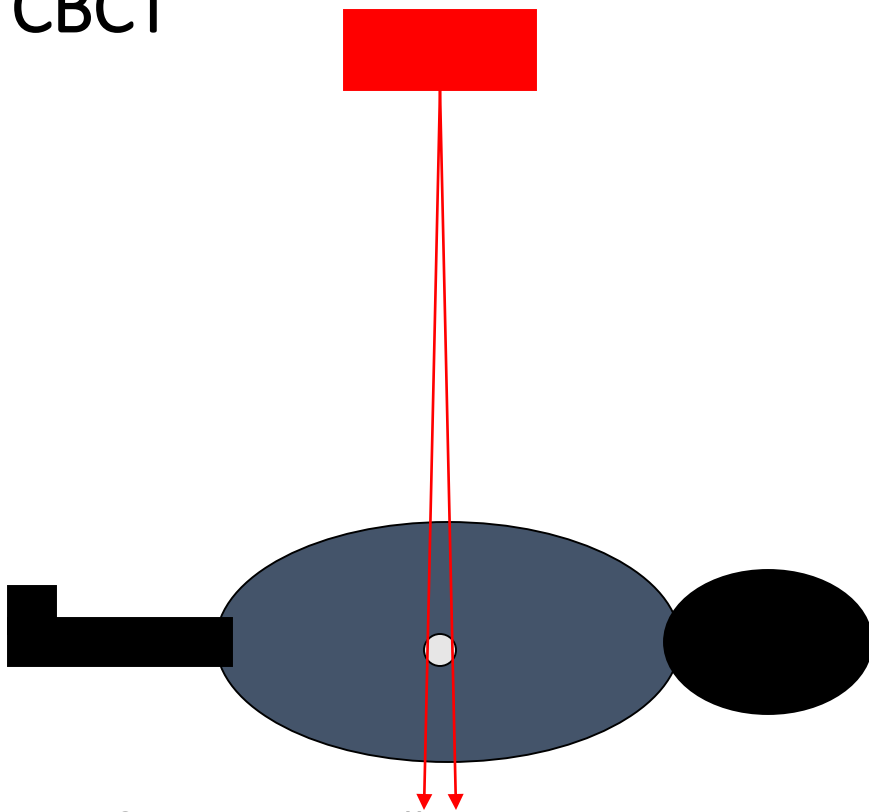
- Для контроля позиционирования пациента и точности подведения пучка к мишени
- Рентгеноскопия, рентгенография, КТ в коническом пучке
- Сравнение полученных КТ с планировочными

ЛТ управляемая изображениями (IGRT)

Точность укладки

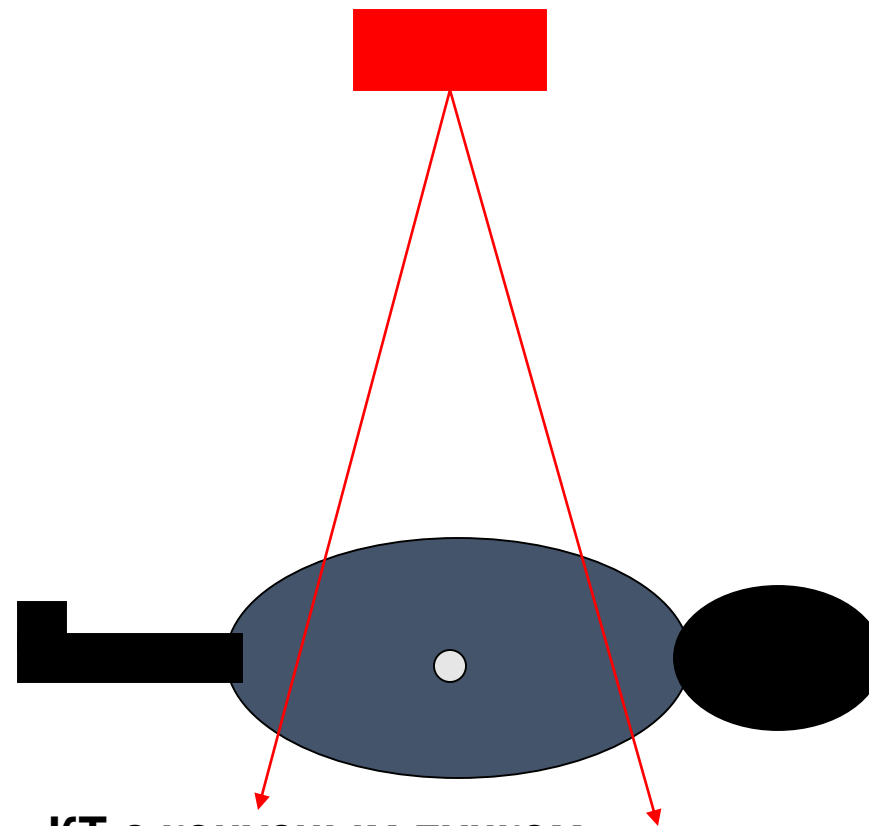


СВСТ



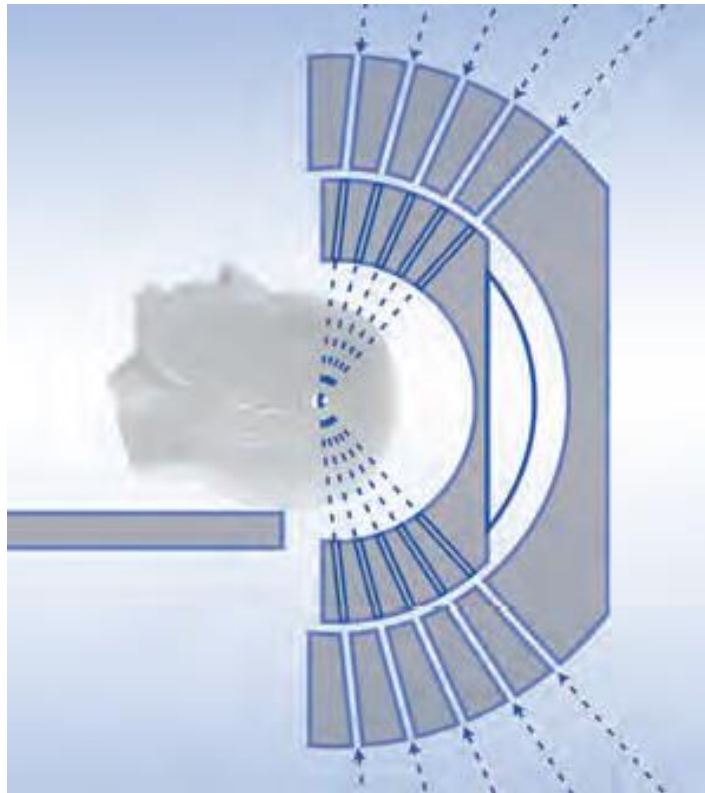
Стандартный КТ:

- Многочисленные вращения штатива с линейной цепочкой детекторов
- пучок сильно диафрагмирован



КТ с конусным пучком:

- Одно вращение штатива с 2D плоскостью детекторов
- 'конусный пучок' плохо диафрагмирован, вследствие чего увеличивается рассеяние и ухудшается качество изображения



Гамма-нож



Стереотаксическая ЛТ в исполнении *Novalis Tx*



Кибернож (Accuray)





VERO-system
Япония, Германия

- Фотонный пучок 6 MV
- Роботизированный стол с 6 степенями свободы
- kV-система контроля позиционирования

Выбор оборудования



NOVAC 11

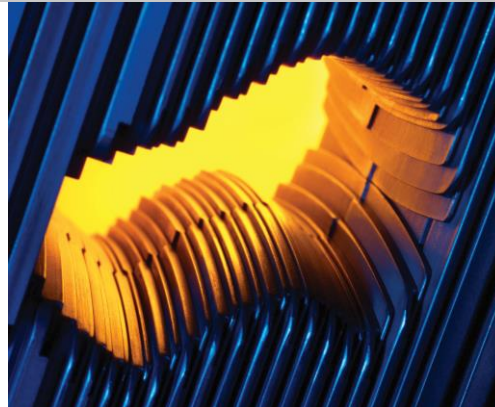


Intrabeam PRS 500

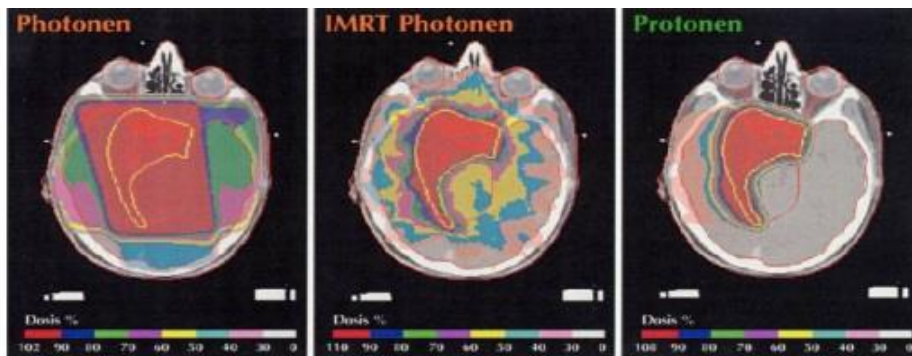
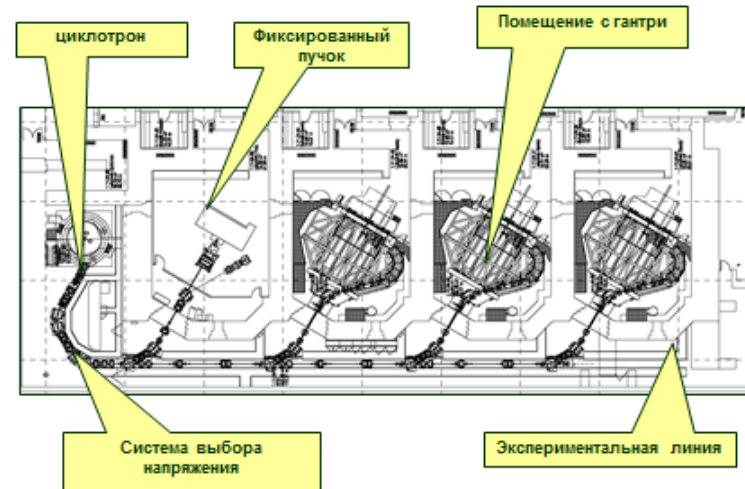
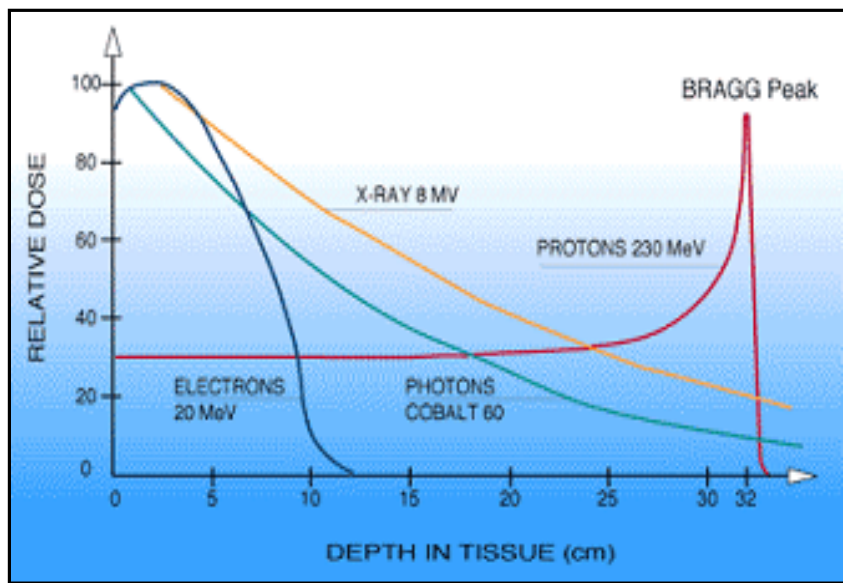
Новое поколение ускорителей – TrueBeam Varian



- 5 фотонных пучков
- Высокая мощность дозы
- Пучки без выравнивающего фильтра
- 6 электронных пучков
- Субмиллиметровая точность
- Система слежения за положением очага в реальном времени
- kV-mV система контроля позиционирования



Протонная терапия



Алгоритмы расчета дозы

Точность – скорость

На основе измерений(РВС -Карандашный пучок) 2D

На основе модели

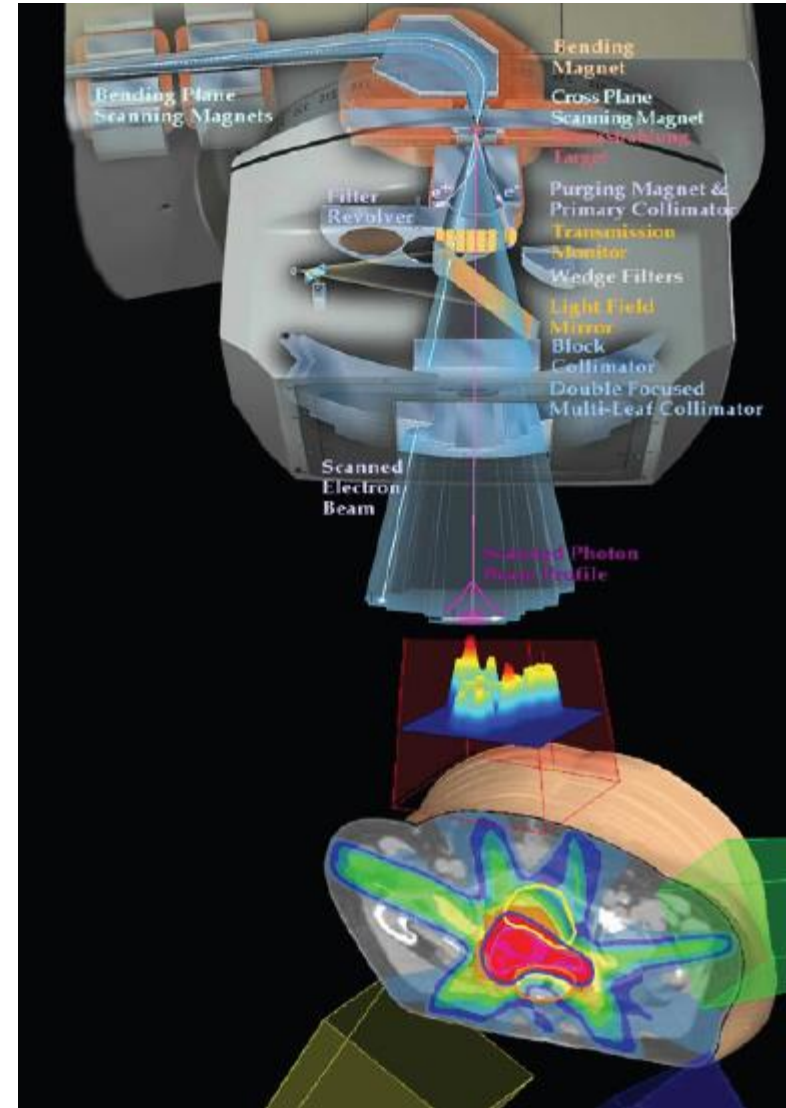
- свертки-суперпозиции (**AAA**)
- **MC** *Метод Монте Карло (Acuros)*
 - Информация получается симулированием большого числа случайно сгенерированных частиц (историй)
 - Результатная доза
 - Самый точный, но занимает много времени

Рекомендуется использовать современные алгоритмы!

Задачи IMRT

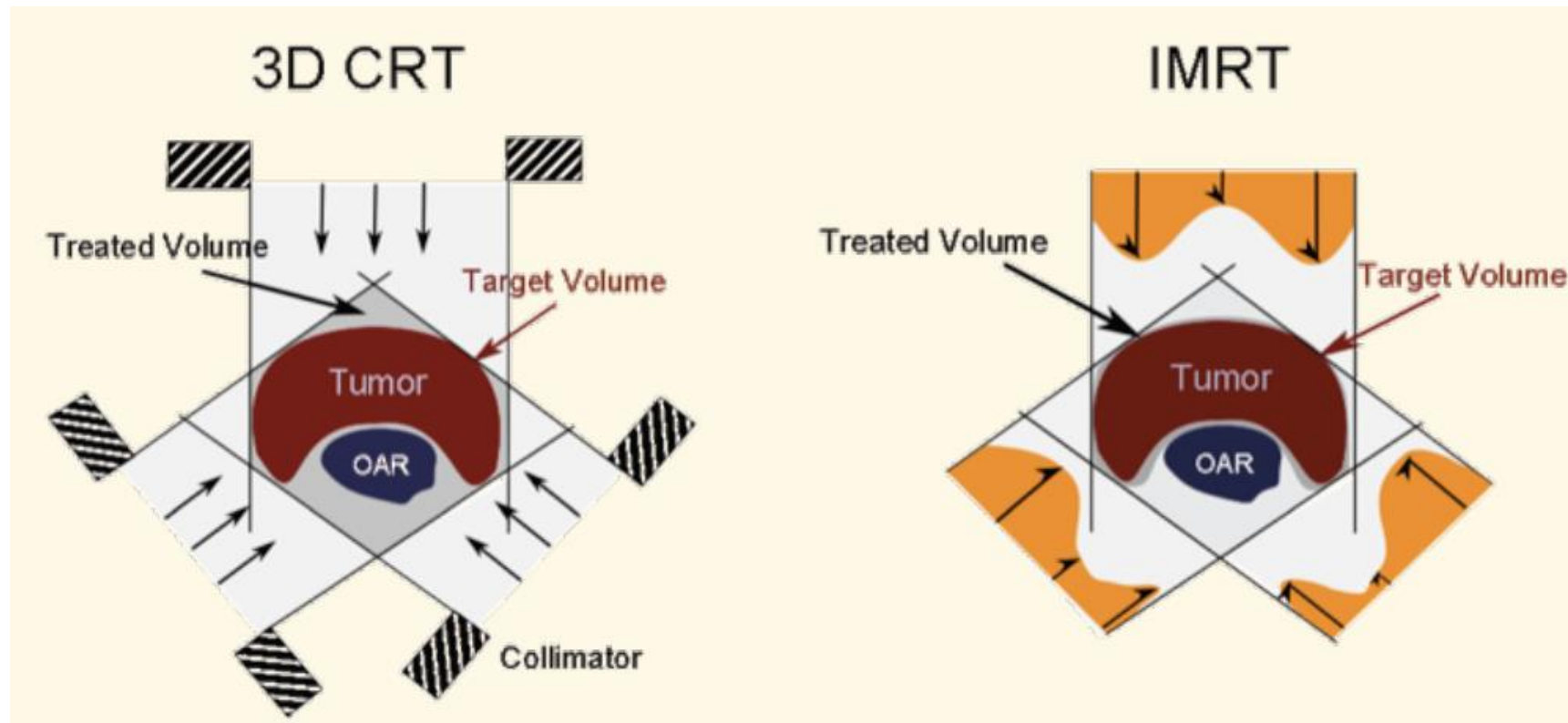
- Модулирование потока энергии для достижения конформного дозного распределения в мишени (PTV)
- Лучшая защита нормальных тканей
- Становится возможным увеличение дозы
- IMRT это комбинация программного обеспечения (планировочной системы) и аппаратуры (ускорителей)

Риск забыть “основы”

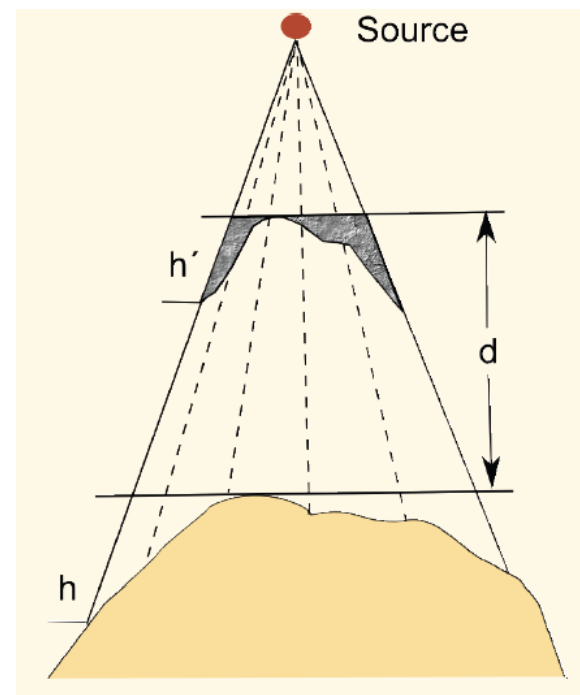
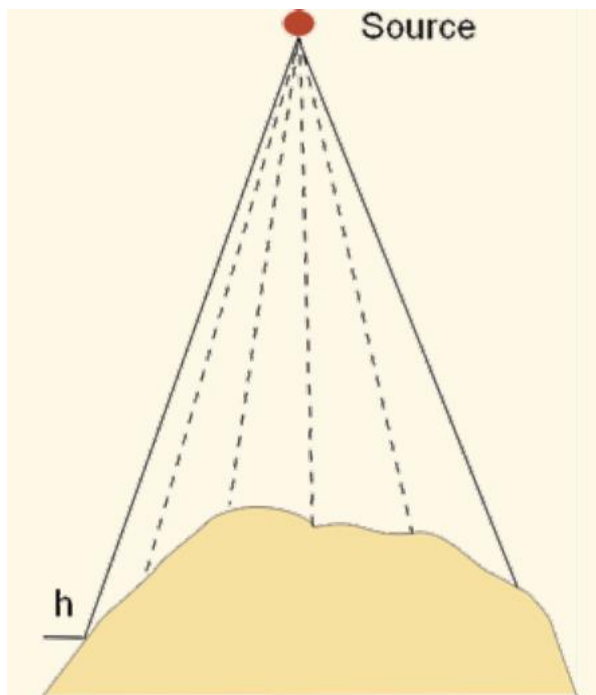


IMRT: достижение конформного дозного распределения в мишени.

Лучшая защита нормальных тканей



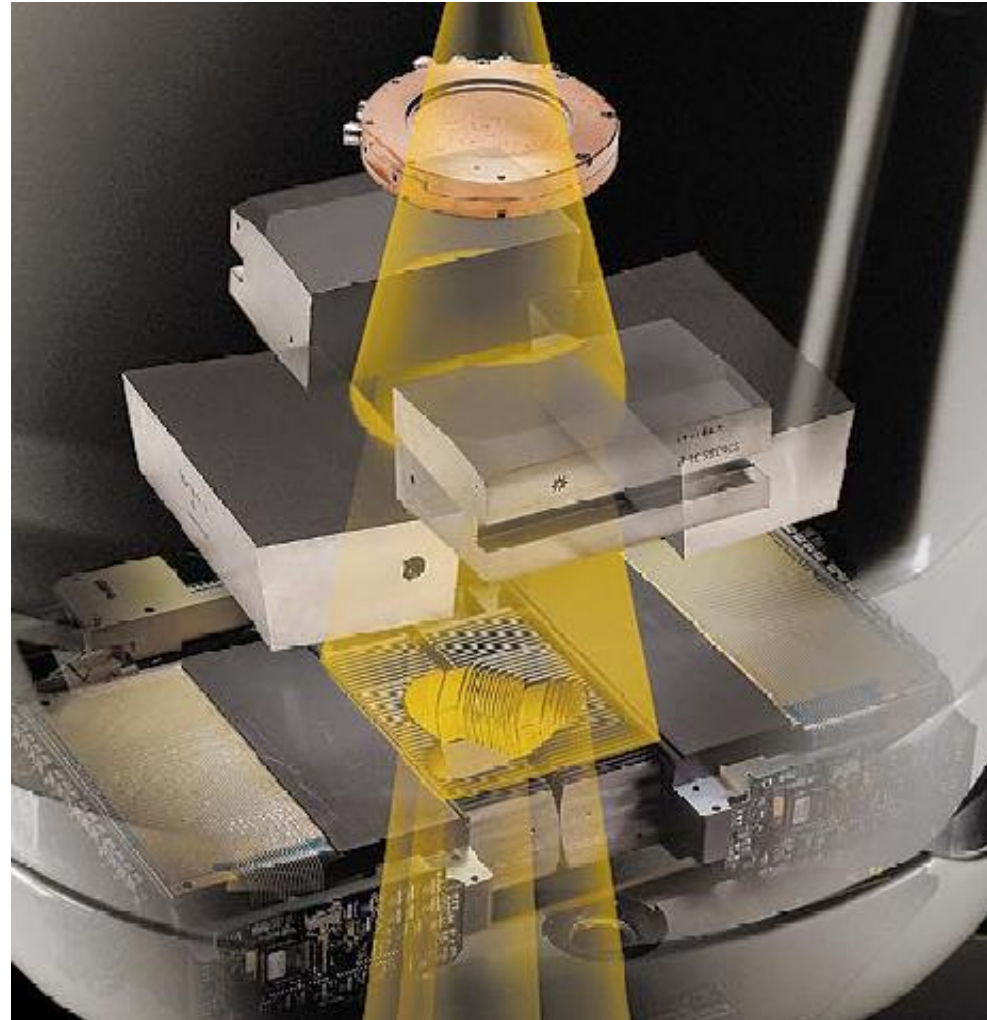
Модуляция потока: блоки



Модуляция потока: MLC



- Программный расчет движения лепестков для каждого плана



Модуляция потока.

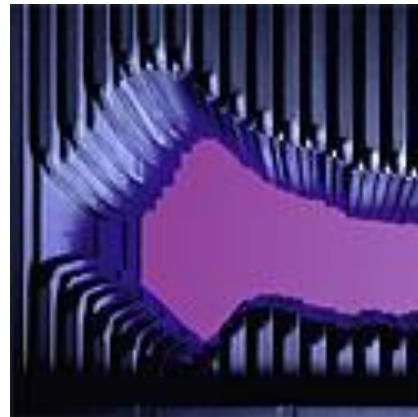
Блоки

- Дополнительная работа (изготовление)
- Тяжелые для установки во время лечения
- Индивидуальные для каждого поля/пациента



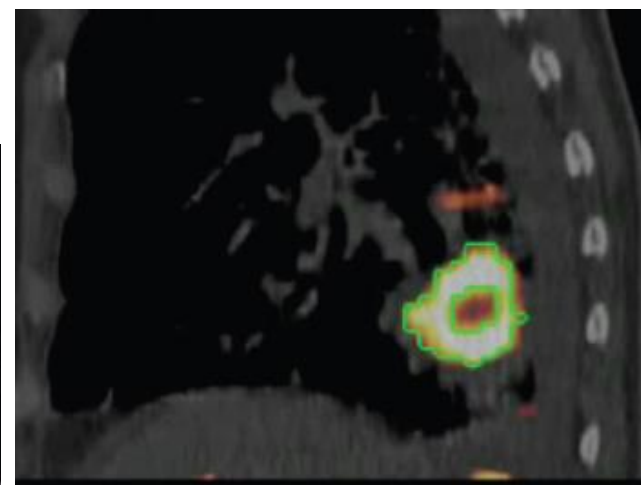
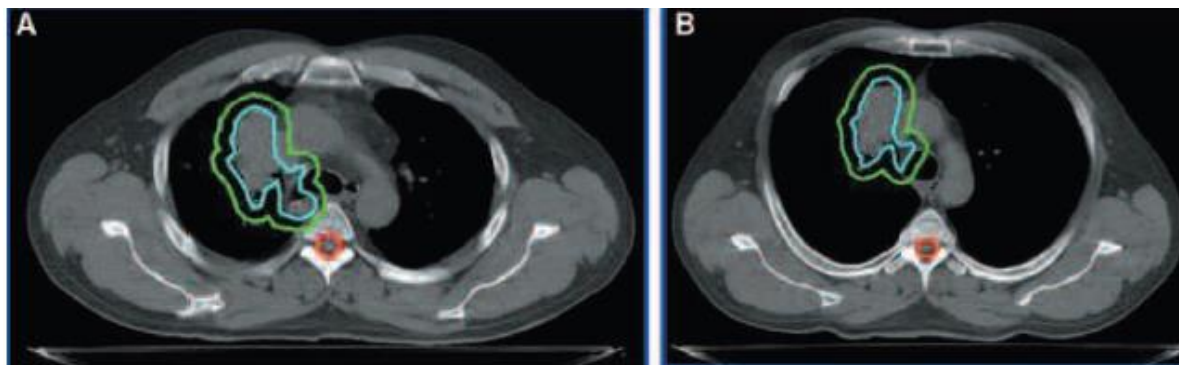
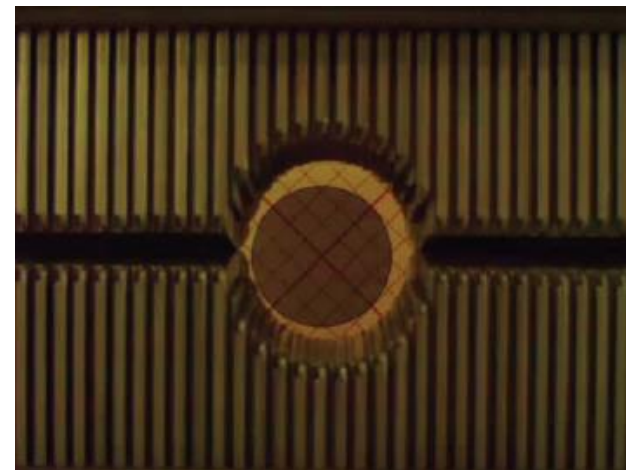
MLC

- Многоразовое использование
- Необходимо для IMRT
- Не требует дополнительных издержек для пациентов



Дыхание и движение органов.

- Конформная доза IMRT/RapidArc
- Дыхание может привести к потере части облучаемой цели
- **Решение:** контроль дыхания, отступы, техника задержки дыхания
- Любое решение приводит к дополнительному контролю



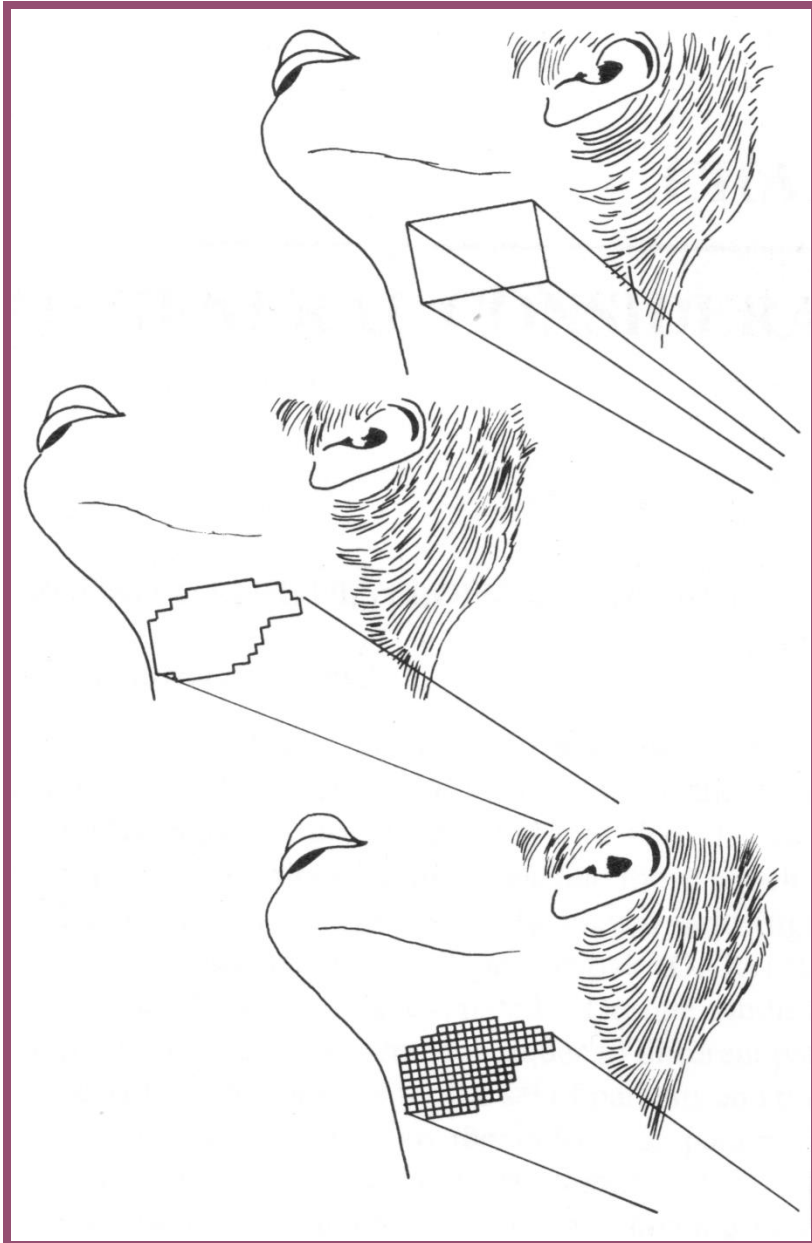
Доставка дозы: Novalis Tx и TrueBeam STx

- Несколько энергий фотонов, FFF пучки, MLC высокого разрешения, MV портальные изображения, kV плоскостные изображения, kVCBCT.
- Автоматическая регистрация изображений, удаленное позиционирование пациентов, отслеживание движения, доставка с учетом дыхания. Точность позиционирования в пределах 1 мм.



IMRT&VMAT

- IMRT/VMAT это комбинация программного обеспечения и аппаратуры
- *Не все* желаемые дозные распределения технически выполнимы
- Ограничение по MLC, такие как область полутени, правильное смыкание, размер поля, скорость, точность позиционирования, утечка и др. Уровень выполняемости различных техник
- Различные несоответствия/движения пациента во время и между процедурами может уменьшить очевидно лучший эффект от процедуры
- *Нет существенного* отличия в дозном распределении доставленном IMRT или VMAT



Лучевая терапия

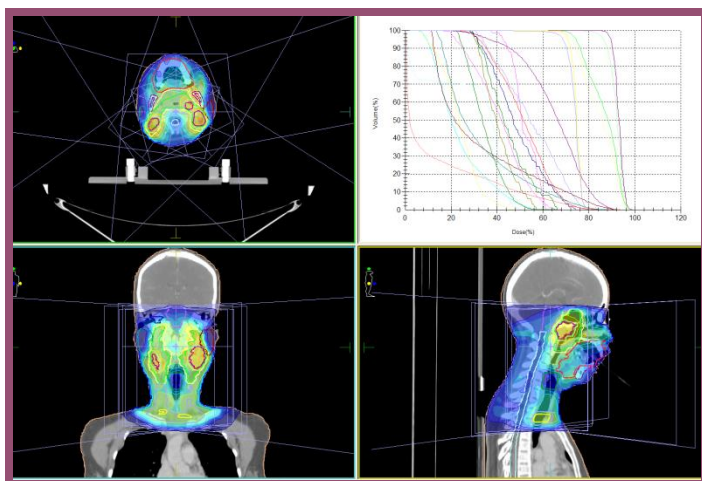
- Стандартная ЛТ
- 3-х мерная конформная ЛТ
- ЛТ с модуляцией интенсивности (ЛТМИ)

S. Webb, 2001

ЛТМИ

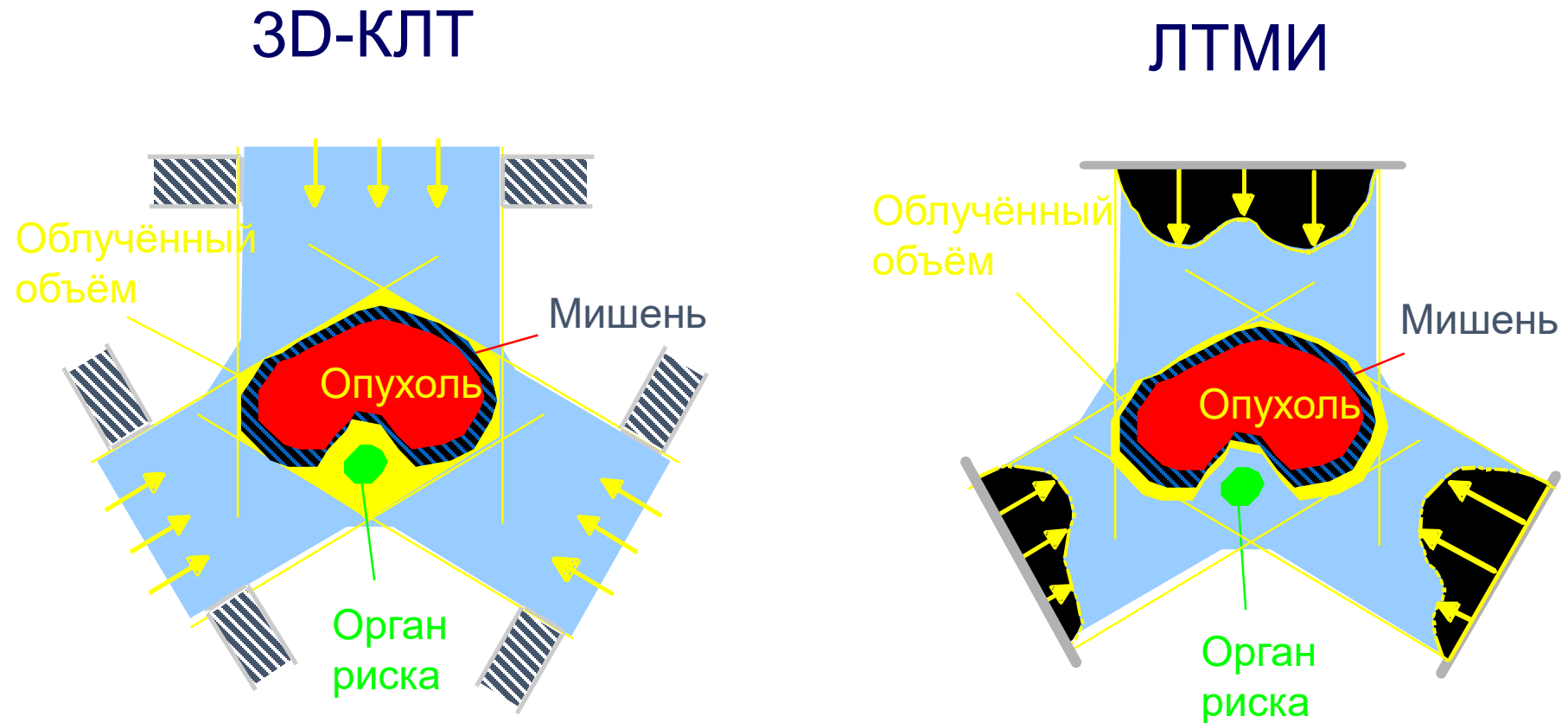
Лучевая терапия с модуляцией интенсивности (ЛТМИ):

Передовая форма 3D-конформной лучевой терапии (3D-КЛТ), которая использует падающий на пациента **не однородный пучок интенсивности**, определённый с помощью различных **методов компьютерной оптимизации**.



(Рапорт Совместной Рабочей Группы по ЛТМИ:
Int J Radiat Oncol Biol Phys 51: 880 – 914, 2001)

Разница между 3D-КЛТ и ЛТМИ



- Модуляция интенсивности позволяет более точное формирование дозного поля для защиты органов риска
- Улучшение щажения обеспечивает уменьшение токсичности

Методы планирования ЛТМИ

Прямое ЛТМИ

- Статическая МЛД
- Ручная оптимизация
- Стандартная 3D СПЛТ
- Несколько сегментов

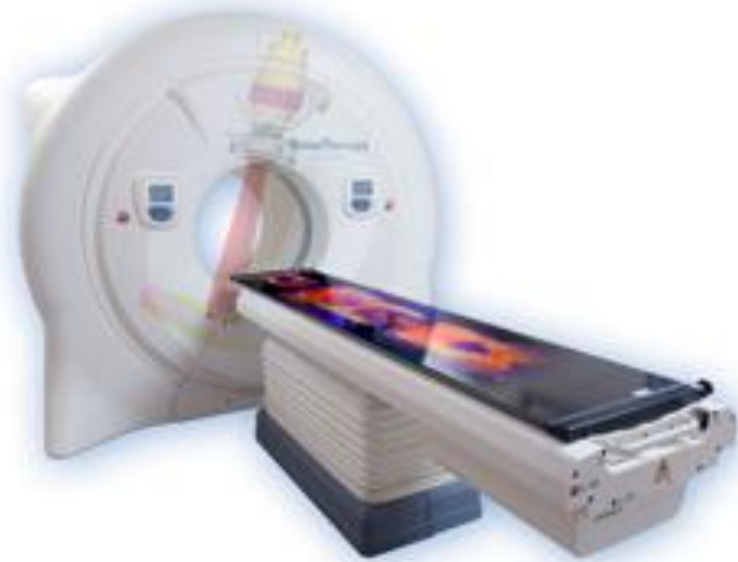


млд

Инверсное планирование в ЛТМИ

- Динамическая или статическая МЛД
- Компьютерная оптимизация
- Обратная СПЛТ
- Много сегментов

Томотерапия

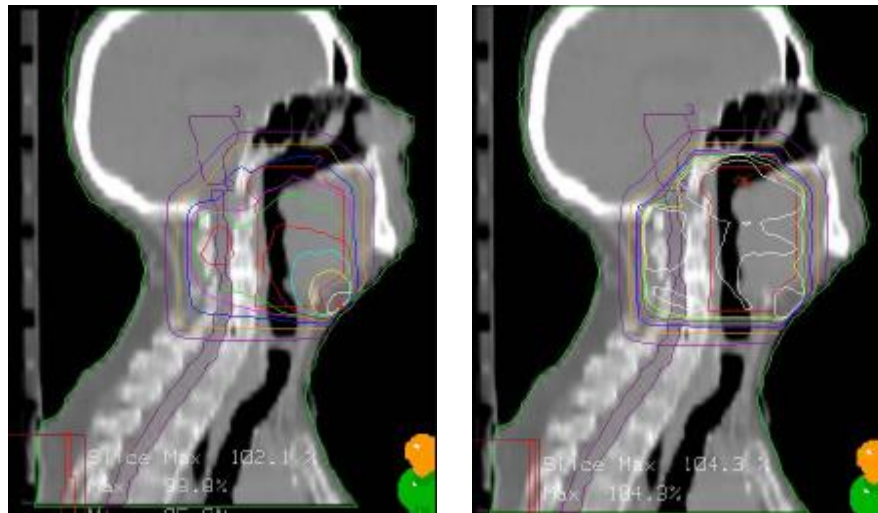
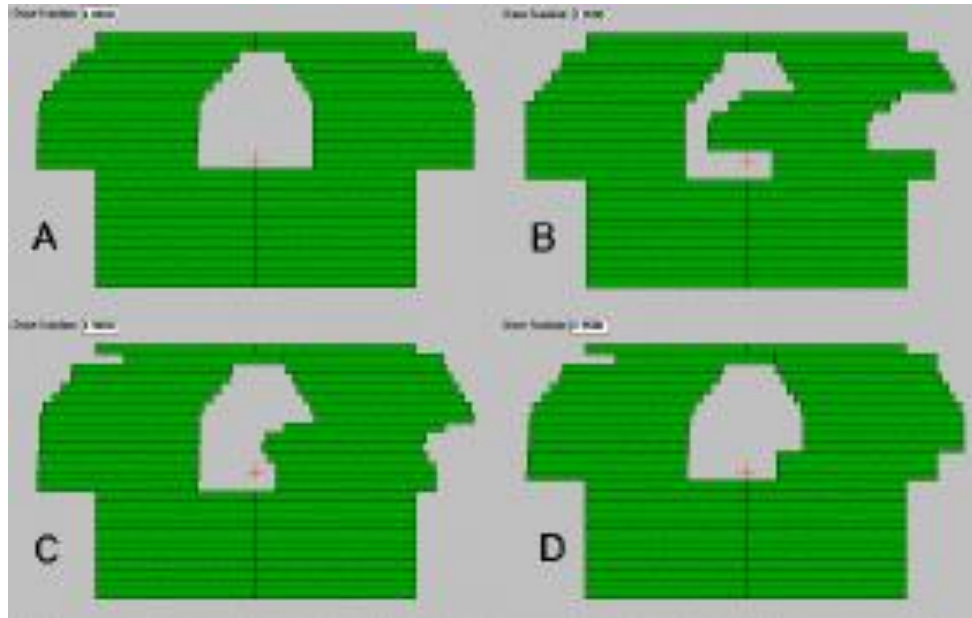


Accuray TomoTherapy
Hi-Art

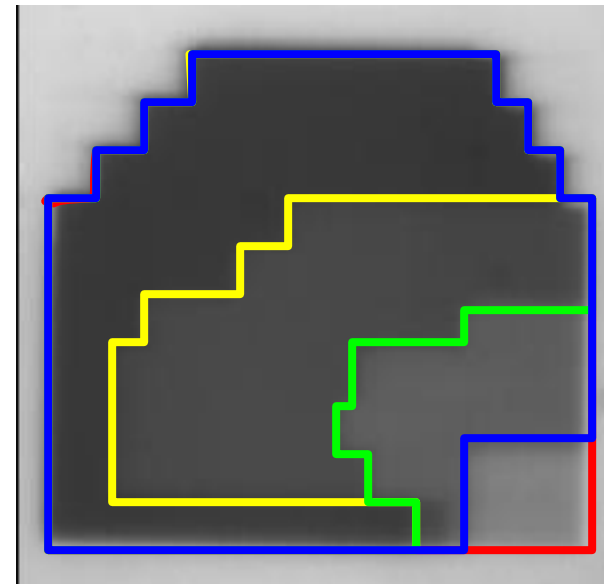


BrainLab VERO

Прямое планирование в ЛТМИ

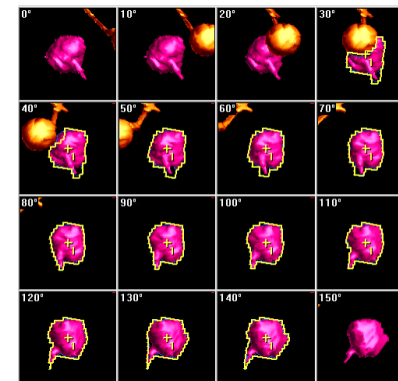
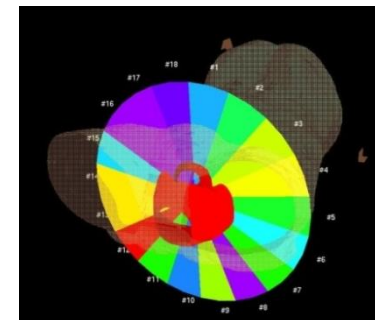


W. Parker, 2009



Ротационная лучевая терапия и модуляция интенсивности

- **Динамическая ротация:** адаптация положения лепестков форме мишени для составляющих дуг, постоянный угол наклона коллиматора, постоянная мощность дозы
- **IMAT:** ротационная ЛТМИ, выполняемая на стандартном ЛУЭ со стандартной МЛД.
- **RapidArc:** решение фирмы Varian для реализации IMAT за один оборот ротации.
- **VMAT:** решение фирмы Elekta для реализации IMAT.
- **Smart Arc:** Методика планирования для СДПЛ Pinnacle.
- **Hybrid Arc:** Методика планирования для СДПЛ iPlan.
-



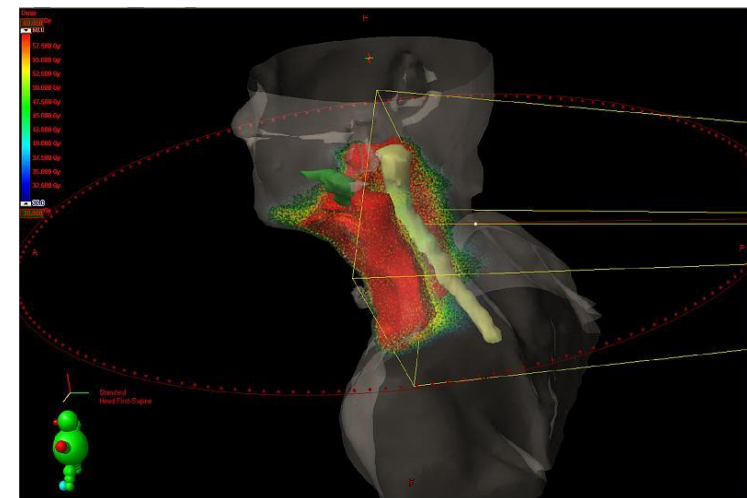
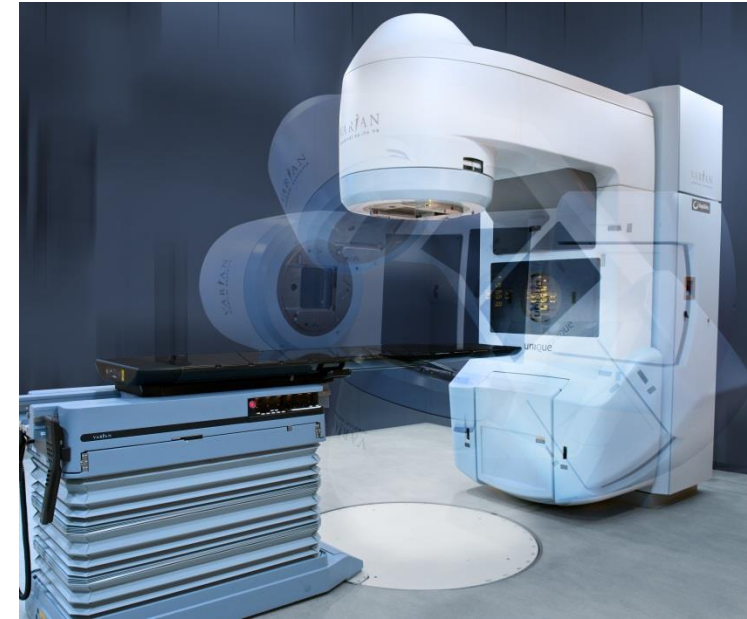
Ротационная лучевая терапия и модуляция интенсивности

Преимущества:

- Меньшее время доставки
- Меньшее число мониторных единиц

Недостатки:

- «Размывание области малых доз»
- Более сложный контроль качества



SRS

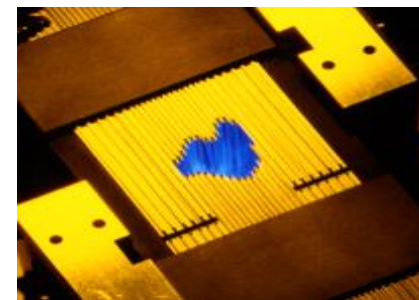
SRS **стереотаксическая радиохирургия**, означает одноразовая, высокой дозы, высокой точности процедура лечения

Техники:

- Стандартные конусы (5-30мм)
- Колиммирование в движении формы пучка
- MMLC (<5мм) IMRT, VMAT

Системы планирования:

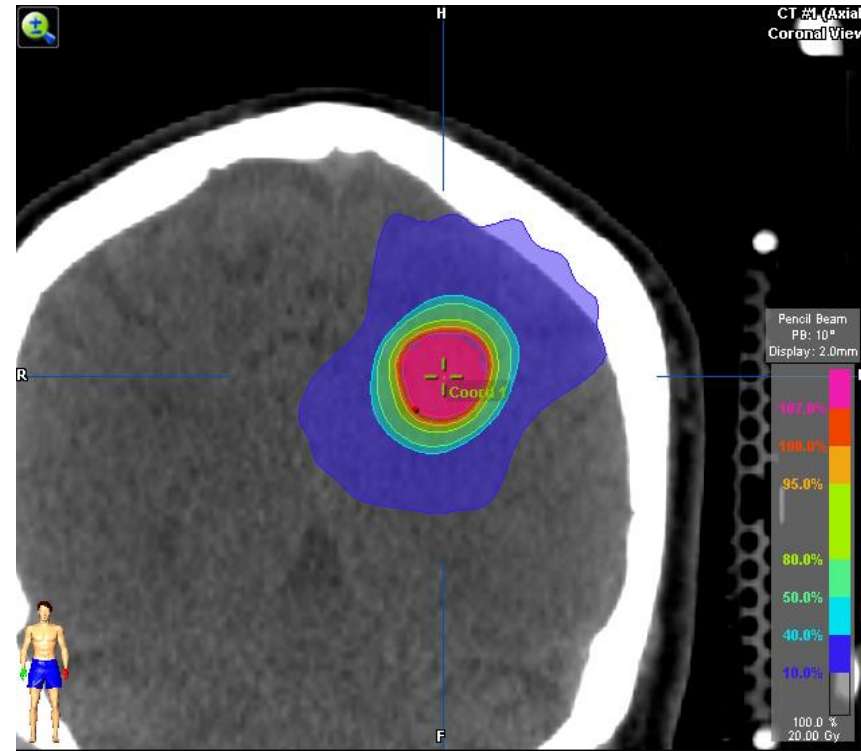
- Должны иметь функцию регистрации изображений MR,CT,ангиографии.
- Используются такие же алгоритмы расчета как для «нормальной



терапии

SRS. Дозное планирование и нормализация

- Доза предписывается на минимальную изолинию, охватывающую весь объем
- Минимальная изолиния должна максимально плотно прилегать к целевому объему
- Обычно для достижения конформности нормализацию выполняют на 50%-80%
- Этим уменьшается доза на нормальные органы/ткани
- Область высокой дозы находится внутри опухоли



Радиохирургия руководимая изображениями. Novalis Tx, TrueBeam STx



BrainLab
ExacTrack



Varian,
CBCT

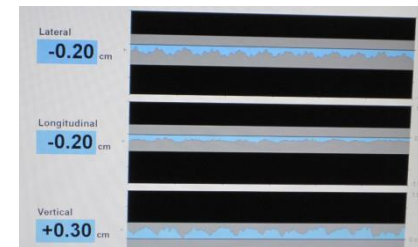
Радиохирургия руководимая изображениями. EDGE



EDGE
Первая процедура
Февраль 2014



Calypso®



on-line отслеживание

Разница между системами ротационной лучевой терапии

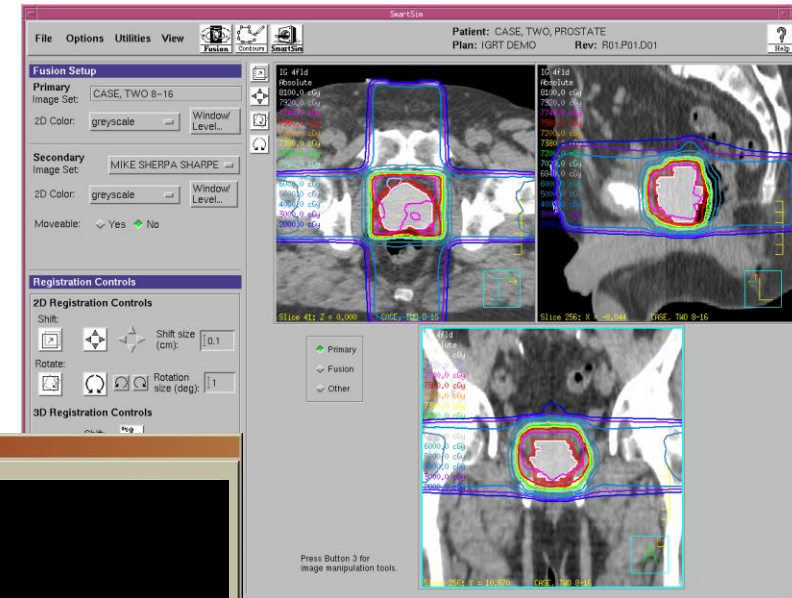
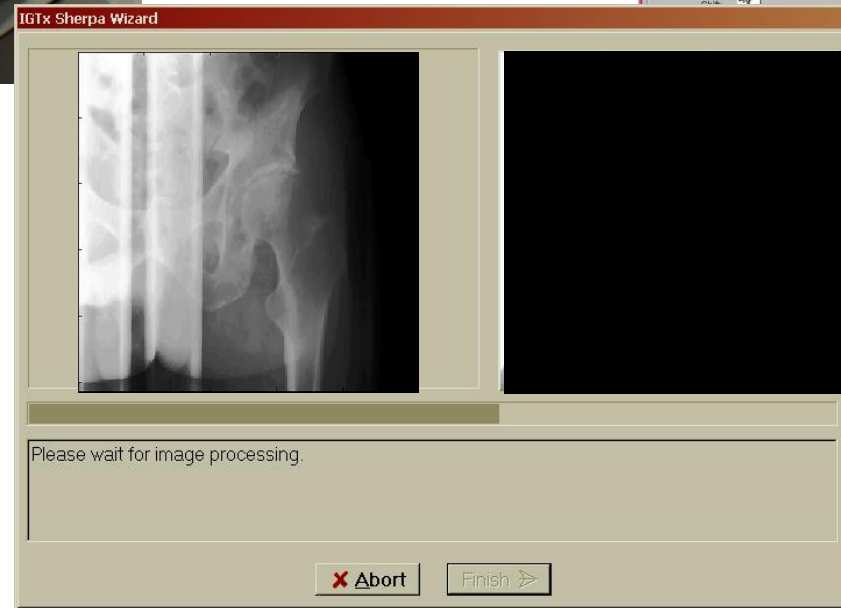
- **Доставка лечения** (томотерапия – узкий пучок, стандартный ускоритель – широкий пучок)
- **Параметры** (изменение положения лепестков МЛД, изменения мощности дозы, скорости вращения штатива, ...)
- **Количество описываемых дуг** (одна - несколько)
- **Неоднородные дуги** (возможность поворота стола)
- **Концепция оптимизация** (наибольшая скорость вращения гантри, ...)

Управляемая визуализацией лучевая терапия (IGRT)



Уложить
больного и
сделать КТ с
коническим
пучком

Оценить
смещение и
скорректировать,
если смещение
> допуска



Совместить с
опорным
изображением

Управляемая визуализацией лучевая терапия (IGRT)

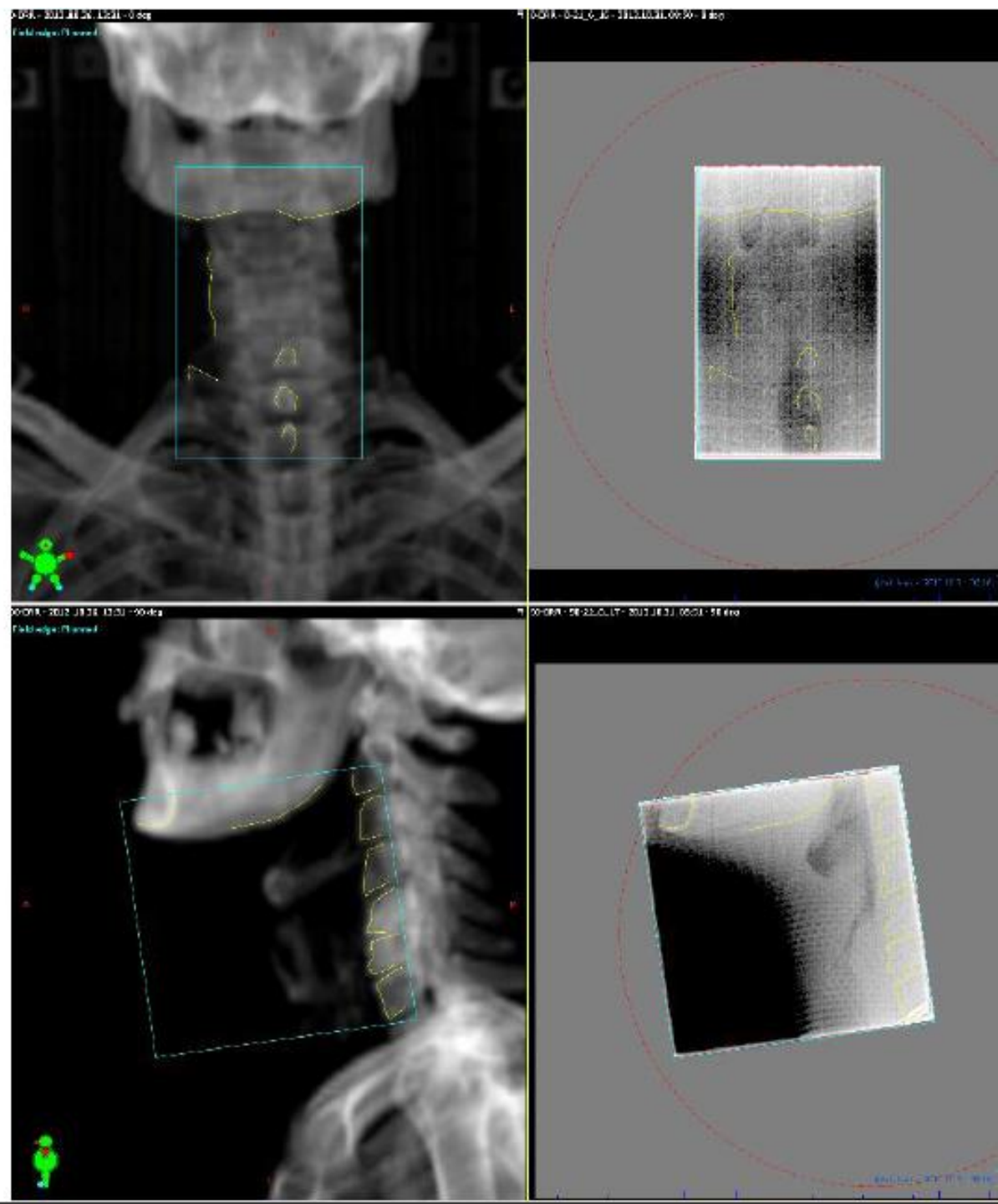
- Качество пучков
 - МэВ (3 – 6 МэВ)
 - кэВ (80 – 130 кэВ)
- Диафрагмирование
 - СВСТ (широкий пучок)
 - ФВСТ (узкий пучок)
- Размерность
 - 2D
 - 3D
- Рельсовые, потолок/пол-, ... М



портальные
снимки EPID
(electronic
portalimaging
device)

Мегавольтажные
изображения

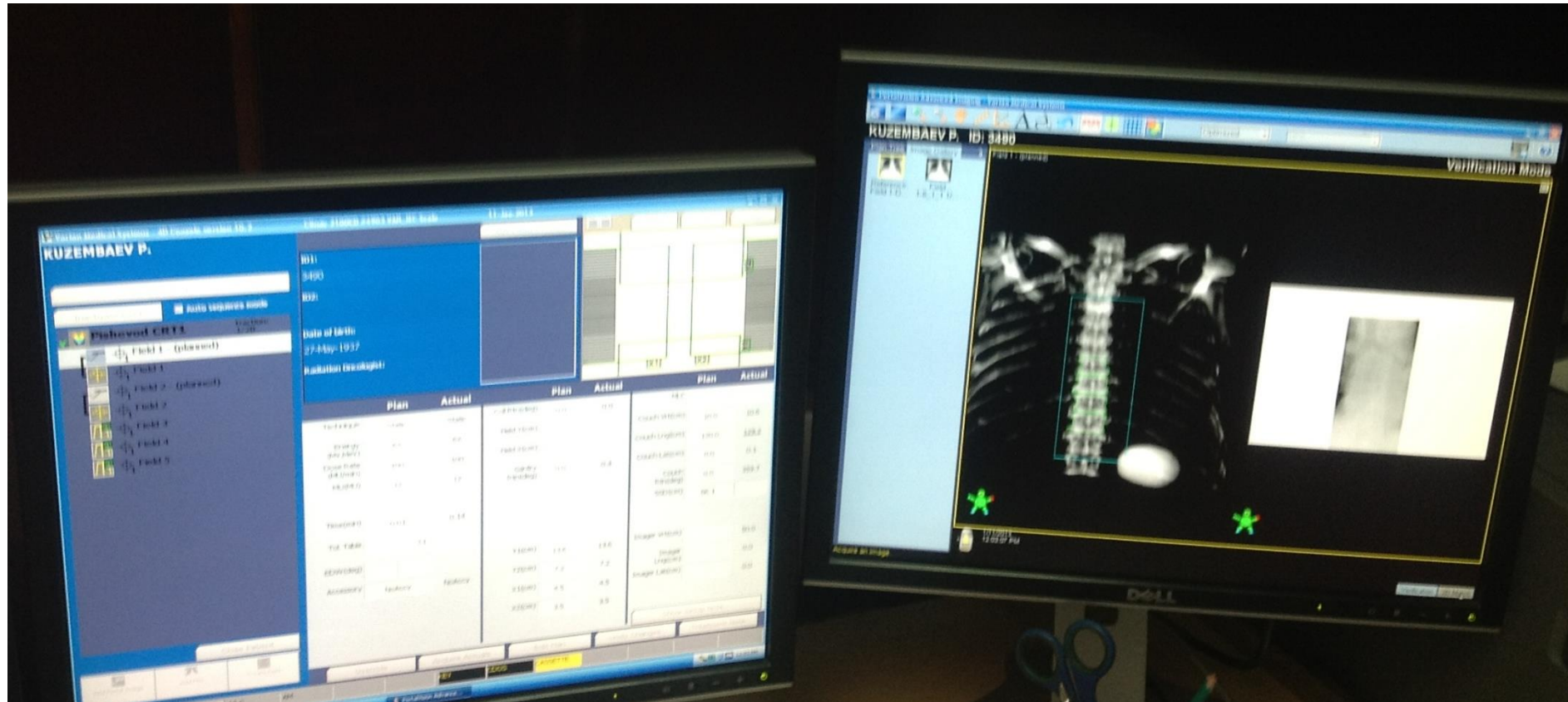
Сравнение с DRR,
используя
опорные
структуры





1A

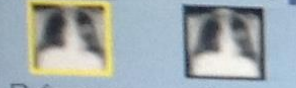
Руководимая изображениями ЛТ (IGRT)



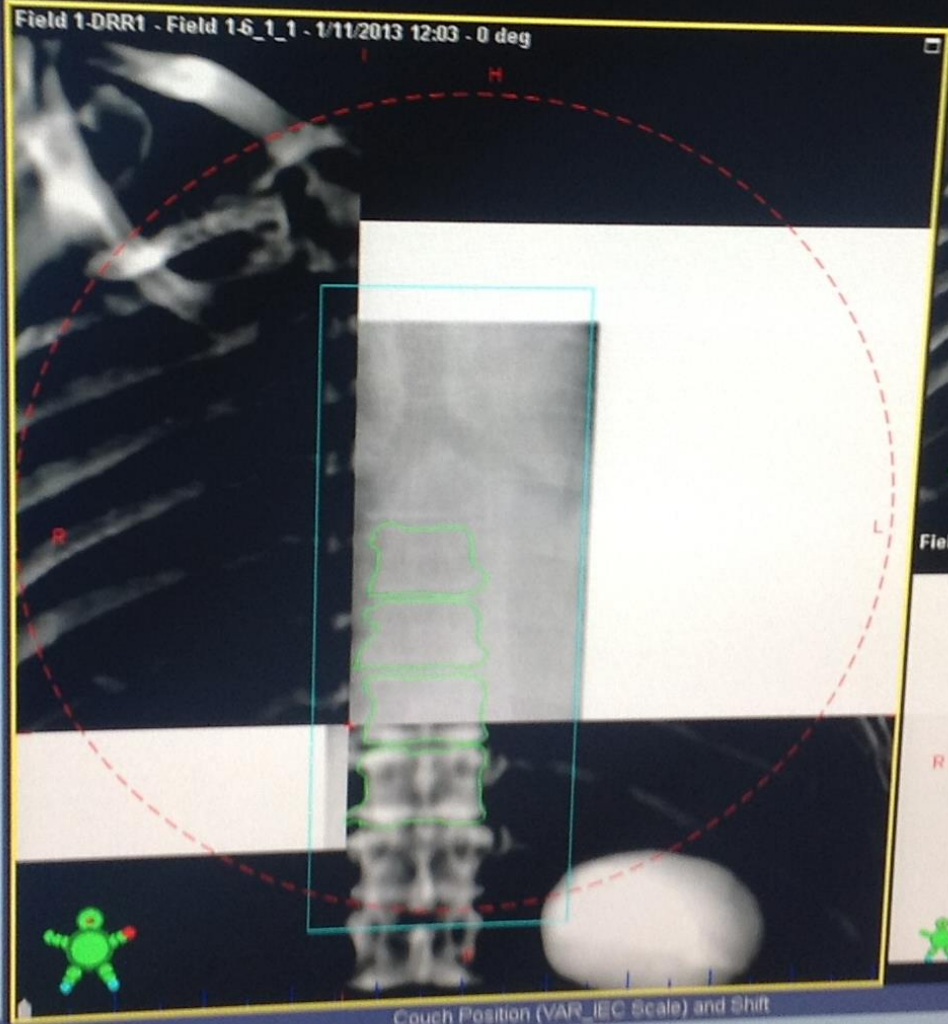
KUZEMBAEV P. ID: 3490

Optimized

Plan Tree Image Gallery



Reference: Field 1-D...
Field 1-6_1_1 V...



Simple 2D M

Couch Position (VAR_IEC Scale) and Shift

	TARGET	ACTUAL	SHIFT		TARGET	ACTUAL	SHIFT	
Couch Vrt	10.8	10.8	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> Include	Couch Lat	0.4	0.4	0.0 <input checked="" type="checkbox"/> Include
Couch Lng	128.3	128.3	0.0	<input checked="" type="checkbox"/> Include	Couch Rtn	359.7	359.7	0.0 <input checked="" type="checkbox"/> Include

All units in cm and degrees

1 Acquire 2 Analyze Cancel

BRYNKIN YU.L. ID: 2952

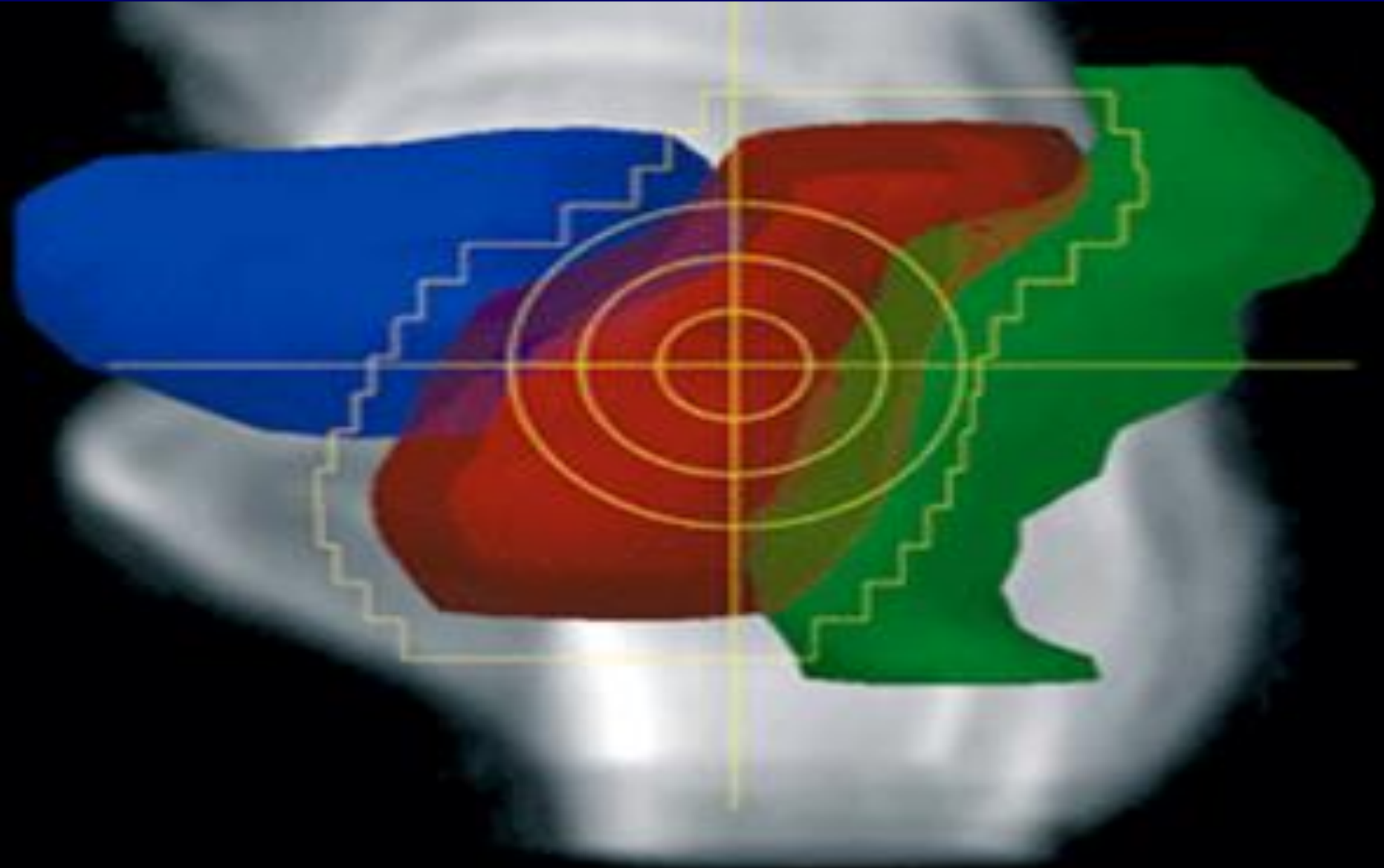
Optimized

Tree Image Gallery

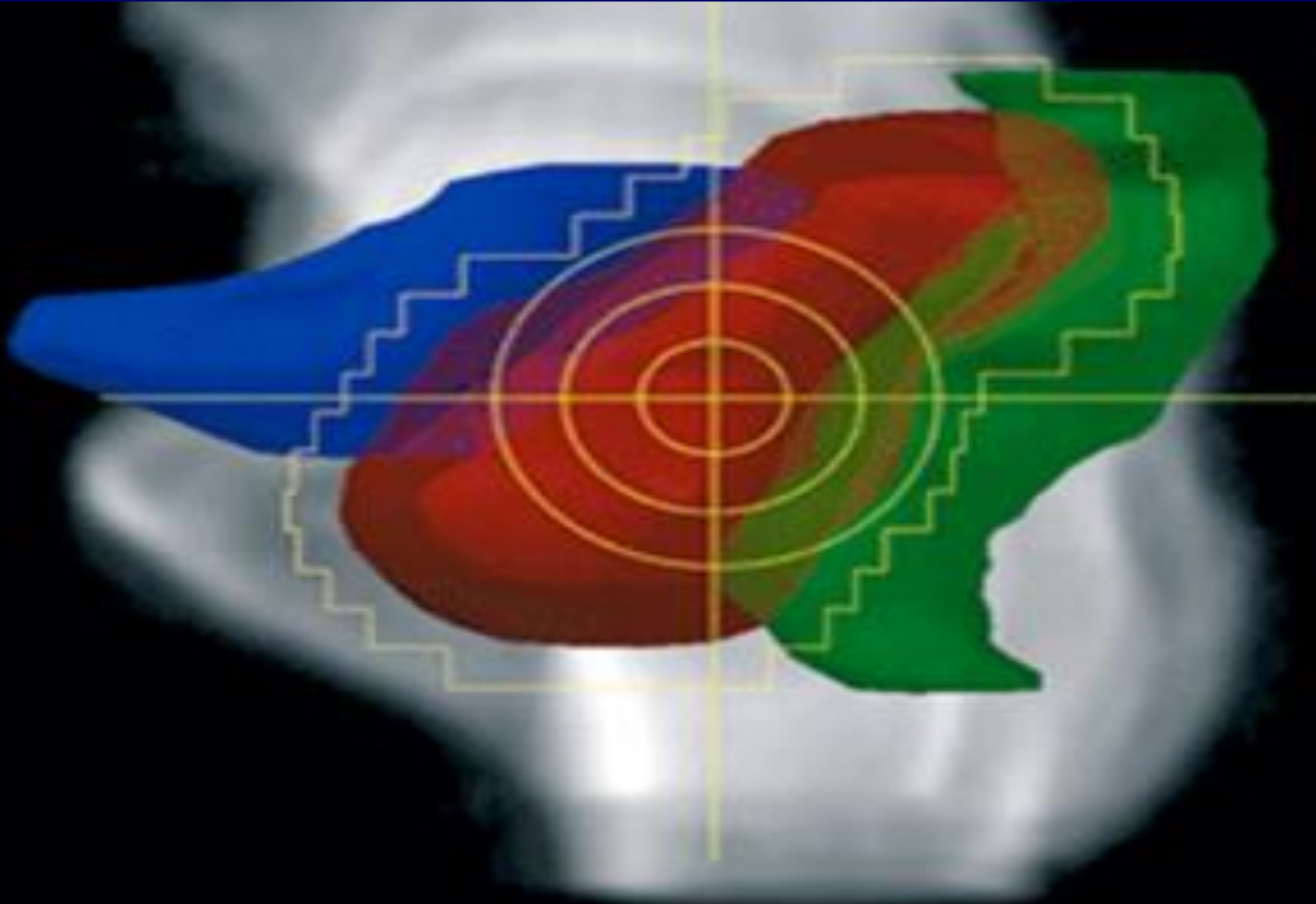
Reference: Field
d 10-D... 10-14_1_...



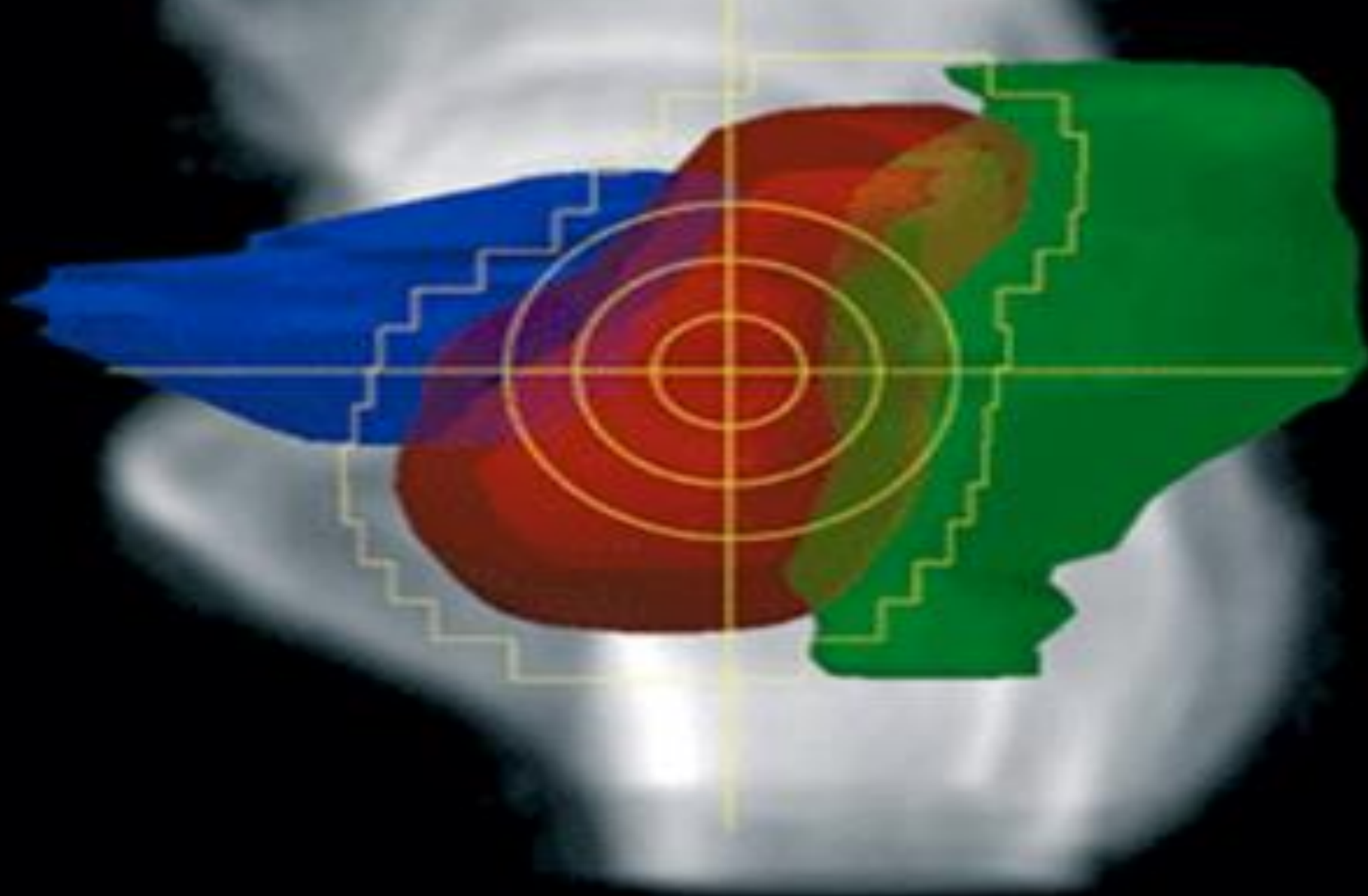
Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



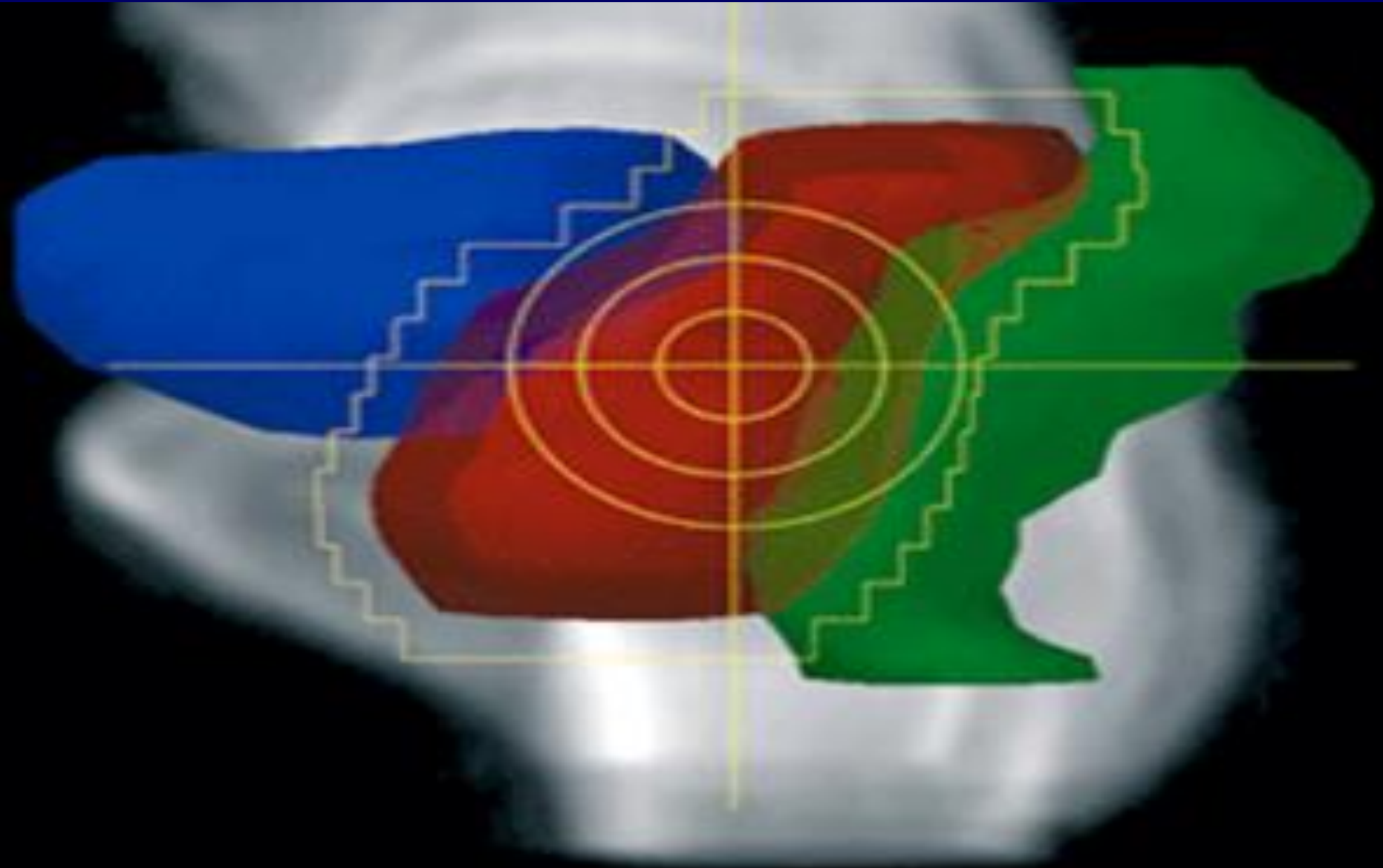
Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



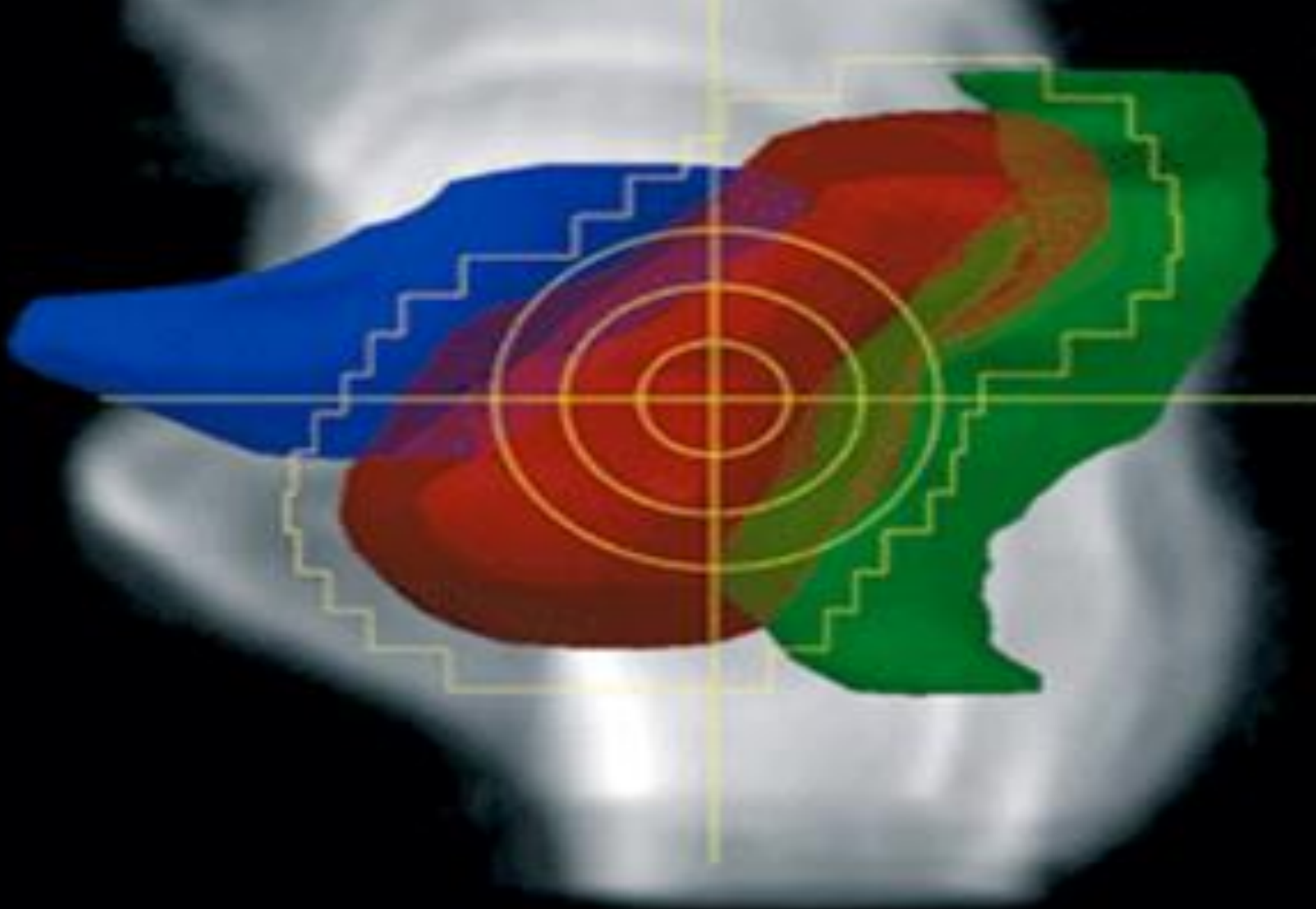
Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



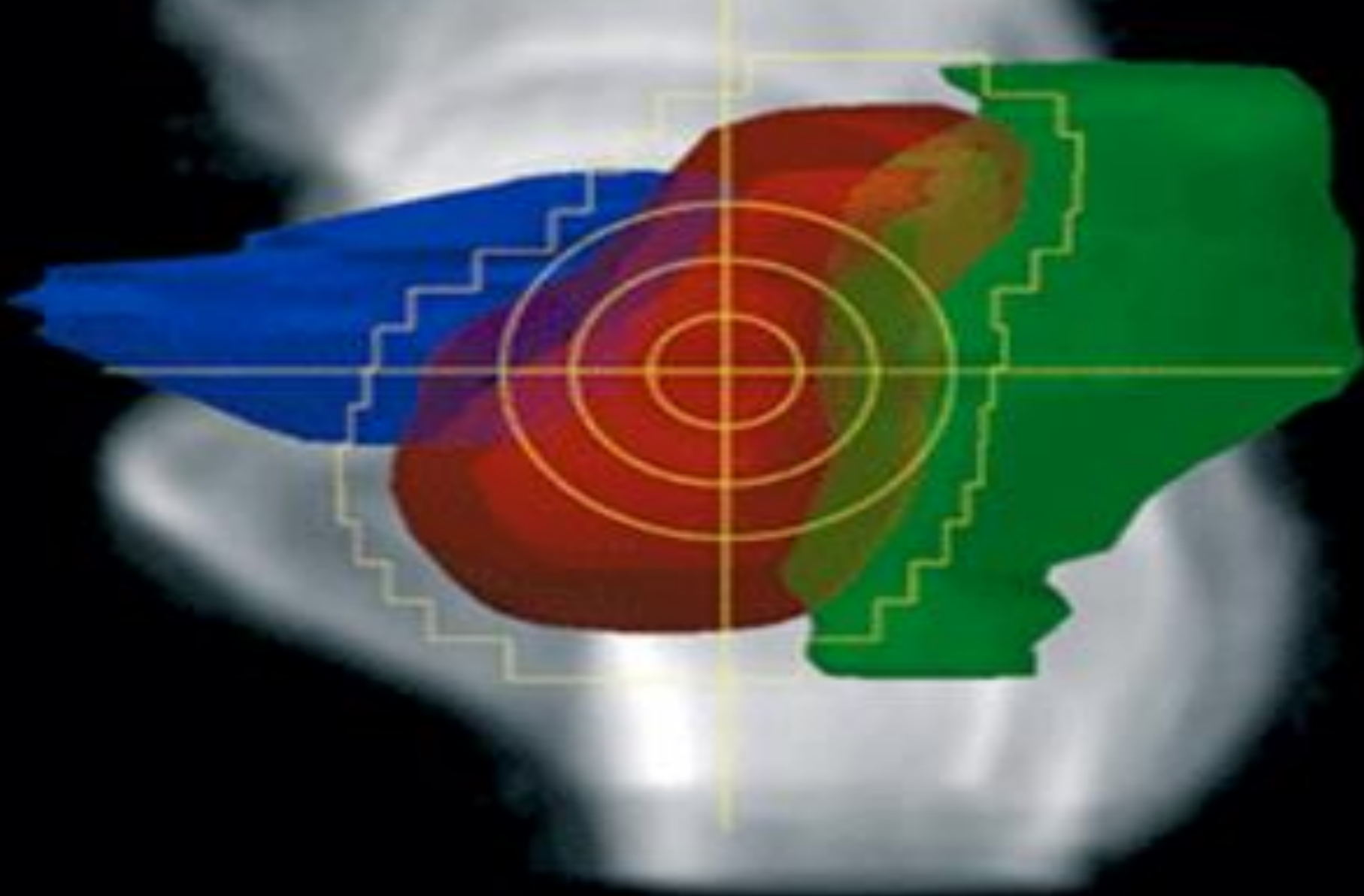
Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



Варианты взаиморасположения простаты, мочевого пузыря, прямой кишки



КТ в коническом пучке (IGRT)

Перед каждой процедурой облучения 3D реконструкция и позиционирование по мягким тканям и внутренним органам



Управляемая по изображениям ЛТ КТ в коническом пучке (IGRT)

Primary User: 09:57 AM 19-May-2015
Service:
PATIENT ORIENTATION: Head First, Supine

CHERNOV N.
15.04.06-S
22-Aug-1941

Dose Details
Fraction: 2 of 15

Beam Details
Field 1: 0.0/339.7
Field 2: 0.0/338.9

Beam Parameters

Beam	Plan	Actual	Geometry	Plan	Actual
Beam Type	KV CBCT		Gantry Rtn	175.5E	225.7
Energy Type	kV		Gantry Stop	184.5E	
MU <	0.0	0.0	Coll Rtn	356.1	356.1
Dose Rate	0	0	Y1	-4.6	-4.6
Time	0.00		Y2	+5.1	+5.1
EDW	None	None	X1	-5.2	-5.2
Int Mount	No Accy	No Accy	X2	+4.0	+4.0
Acc Mount	No Accy	No Accy	Couch Vrt	-10.50	-10.46
e-Aperture	No Accy	No Accy	Lng	+157.60	+159.74
Comp Mount	No Accy	No Accy	Lat	+0.70	+1.33
Bolus	None		Rtn	0.0	0.0
			Pitch	0.0	0.0
			Roll	0.0	0.0
			Tot. Table	T2	

Beam's Eye View

CT Parameters

Couch Shift [cm]
Vrt: -0.30
Lng: +0.10
Lat: -0.61

Couch Shift [°]
Rtn: 0.0
Pitch: 0.0
Roll: 0.0

Couch Representation: Isocentric Standard

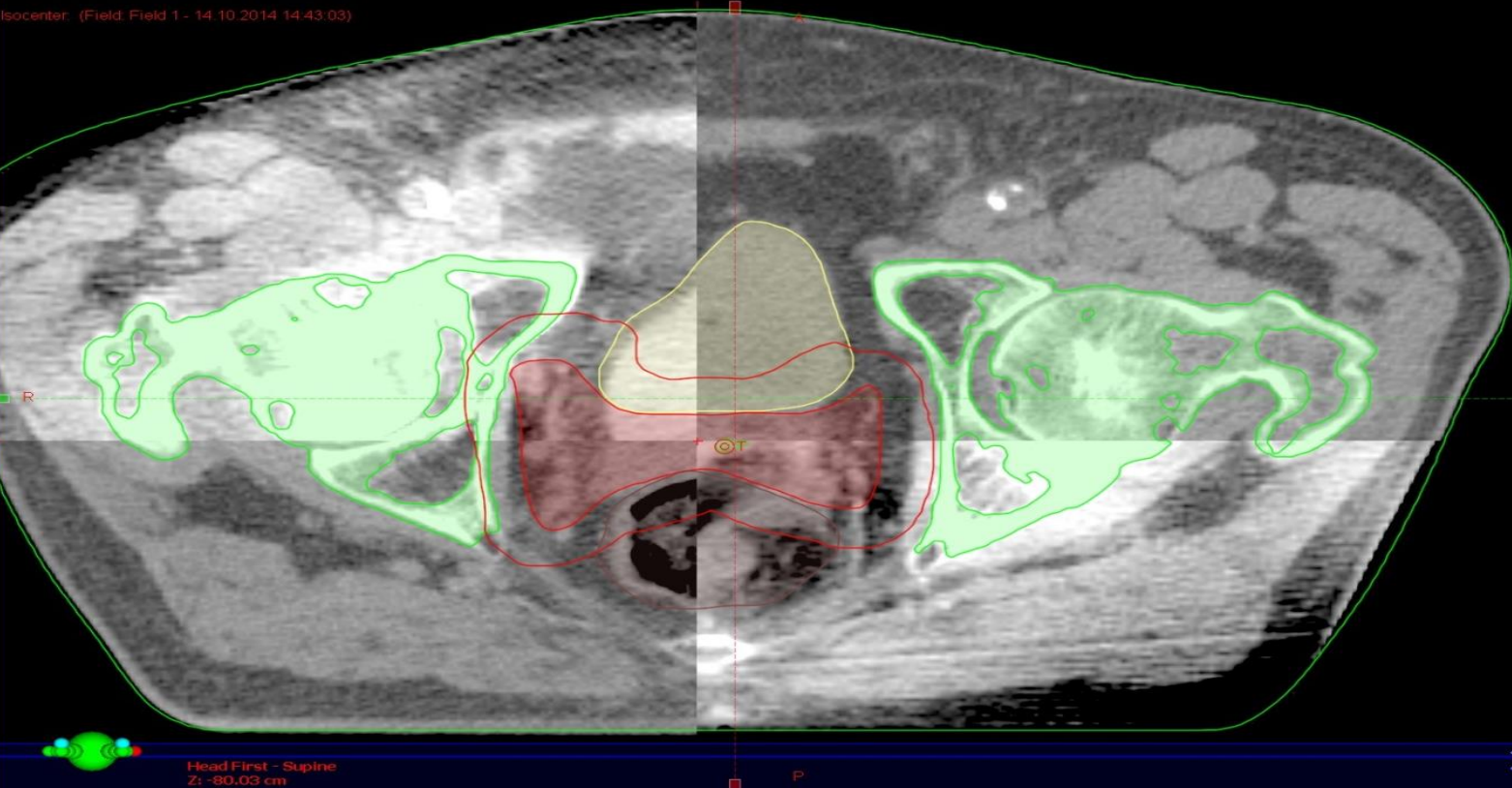
Apply
• For Session
• Permanently

CT Images: Transverse, Frontal, Sagittal views showing target and organ at risk contours.



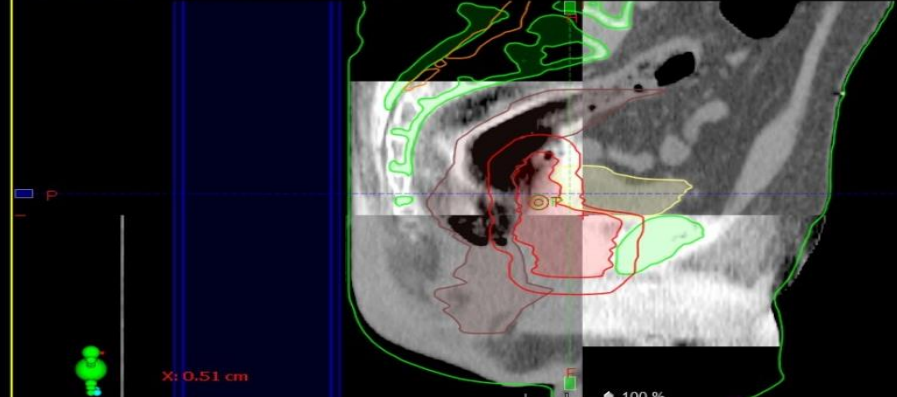
Transversal - CT_1 - CBCT_14 - 14.10.2014 14:35

Isocenter: (Field: Field 1 - 14.10.2014 14:43:03)



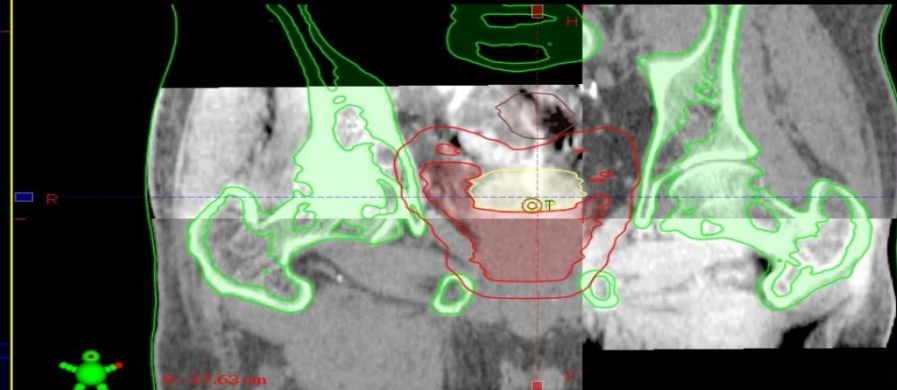
Head First - Supine
Z: -80.03 cm

Sagittal - CT_1 - CBCT_14 - 14.10.2014 14:35



X: 0.51 cm

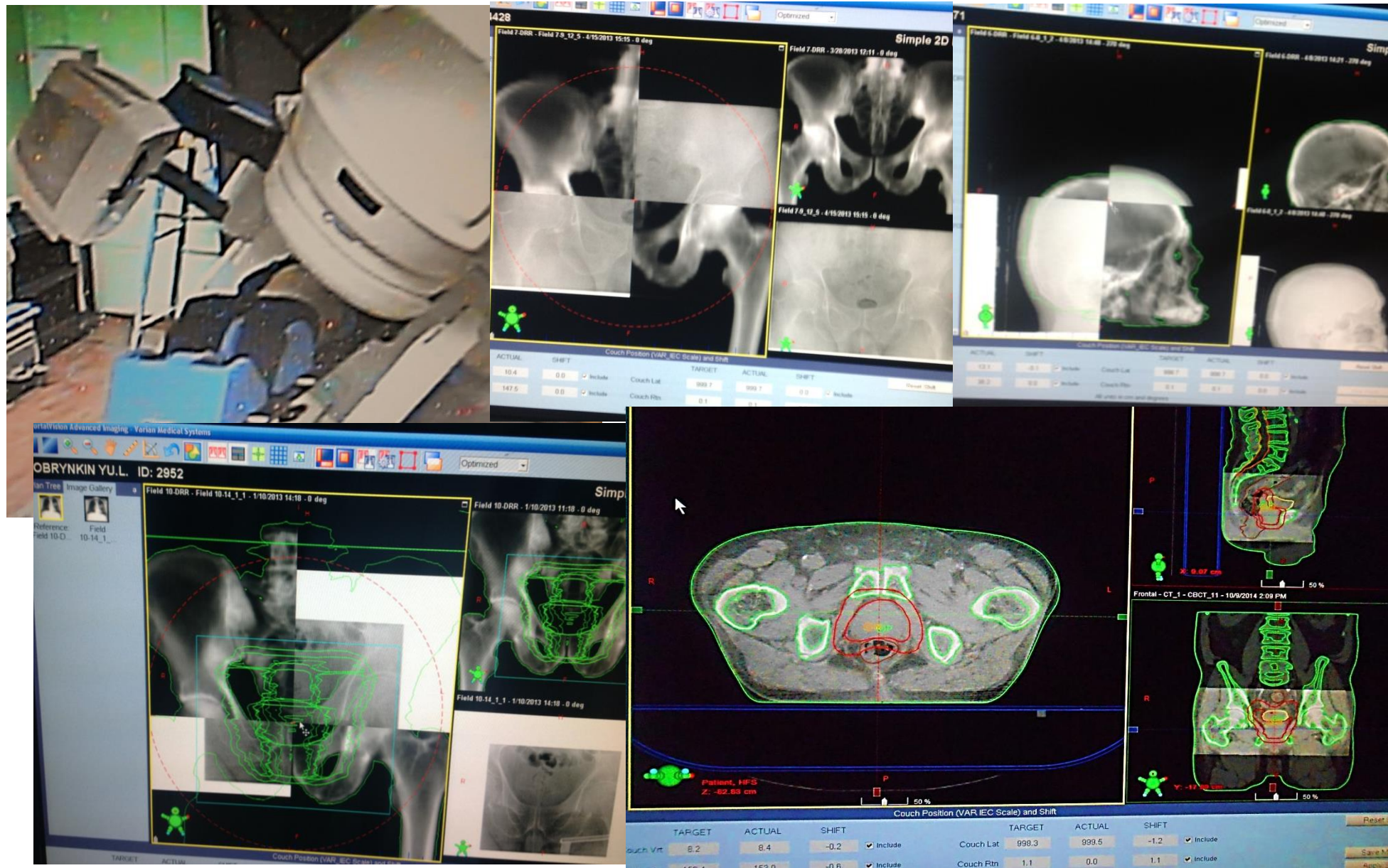
Frontal - CT_1 - CBCT_14 - 14.10.2014 14:35



X: 17.68 mm

*из личного архива автора

Согласно плану медсестры проводят визуализацию (кV, MV, СВСТ) и коррекцию положения пациента.



Медсестра делает запись о проведении сеанса в журнале регистрации и ставит свою подпись в карте лучевой терапии. После окончания курса лучевой терапии радиологическая карта вместе с планом передается в архив.



Logbook deviations IGRT

(руководимой по изображению лучевой терапией)

ФИО пациента _____

Отделение _____ №ИБ _____ ID _____

Метод визуальной верификации положения пациента для IGRT:

- Portal vision (PV)
- OBI Rtg – графия/скопия (kv)
- Cone Beam Computed Tomography (CBCT)

№ п/п	Дата процедуры IGRT	Вид IGRT	Отклонение по длине (lng), см	Отклонение по ширине (lat), см	Отклонение по высоте (vrt), см	Смещение да/нет	Подпись врача
1							
2							
3							
4							
5							

Все медсестры, работающие на дистанционной терапии имеют навыки работы на всех аппаратах. Владеют техникой укладок больных с различными локализациями, поэтому периодически происходит перестановка медсестер с одного аппарата на другой.

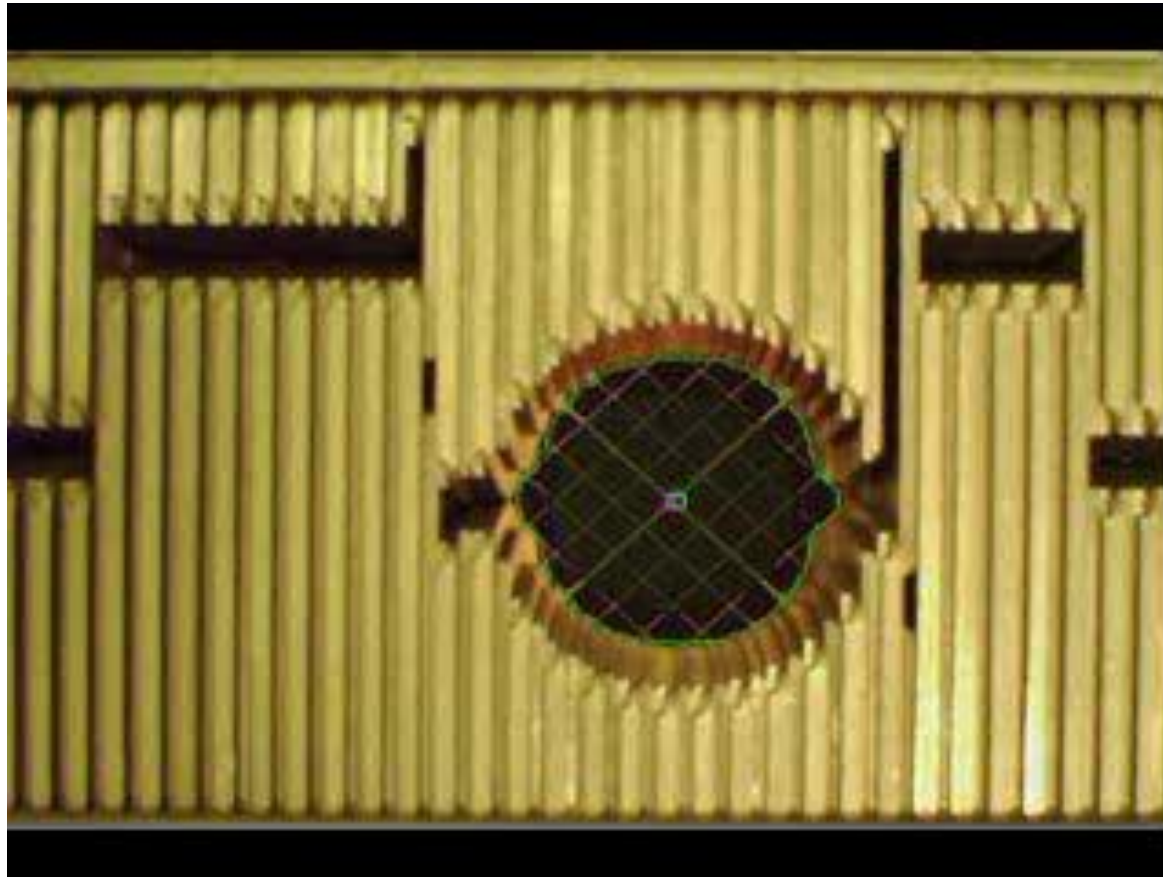


Контроль движения



E. Worm, Aarhus

Контроль движения (отслеживание)



4D-RT – лучевая терапия под контролем дыхания

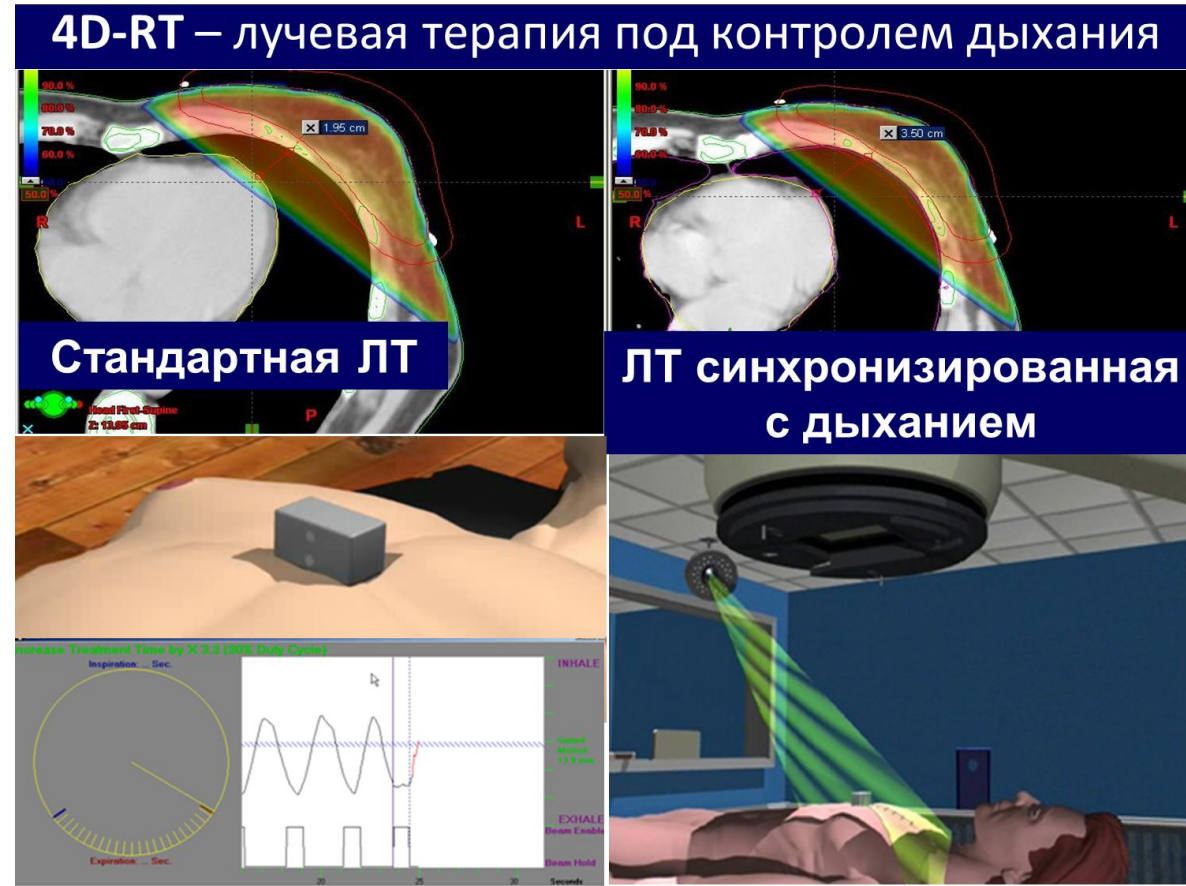


Показания, противопоказания, побочные явления, срок эксплуатации технологии (в вашем случае, это может быть срок эксплуатации оборудования).

Показания: технология используется когда требуется абсолютная точность для тех частей тела, где дыхательные движения критически изменяют внутреннюю анатомию: у больных рака молочной железы, легких, средостения, пищевода,

поджелудочной железы, шейки матки, желудка, почек, предстательной железы, мочевого пузыря, печени, местно-распространенного и рецидивного рака прямой кишки, забрюшинных новообразований, поражения костей скелета.

Противопоказаний – нет
побочные явления – нет
срок эксплуатации технологии: 10 лет службы линейного ускорителя



Keall PJ, Mageras GS, Balter JM, et al. The management of respiratory motion in radiation oncology report of AAPM Task Group 76, Med Phys , 2006, vol. 33 (pg. 3874-900)

Cuijpers, J., 2011. 50 speaker STATE OF ART ON 4DRT-THE PHYSICIST POINT OF VIEW. *Radiotherapy and Oncology*, 99, p.S21.

Review of the actual reference curve

Patient Motion

Amplitude



Auto Scale

Scale [cm]

4.0

Beam Enabled

Beam Hold

Duty Cycle [%]

Gated Motion [cm]

Inspiration [s]

Expiration [s]

00:00.00 [minsec.cs] Speed: 1x

Planned gating thresholds

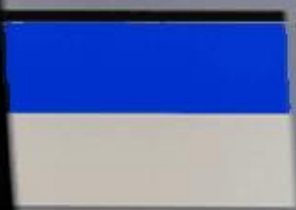
Upper Threshold [cm]

Lower Threshold [cm]

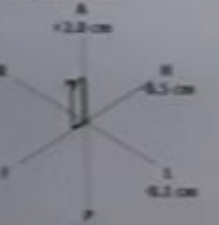
Record a new reference curve

- Original gating thresholds from reference curve
- Planned gating thresholds

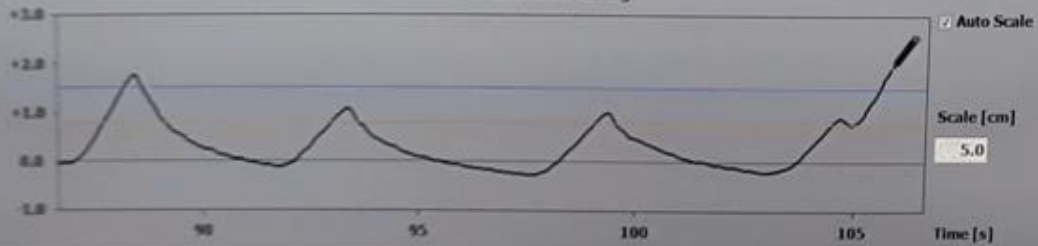
Clawing



Patient Motion



Breath-hold Gating



Auto Scale

Scale [cm]

5.0

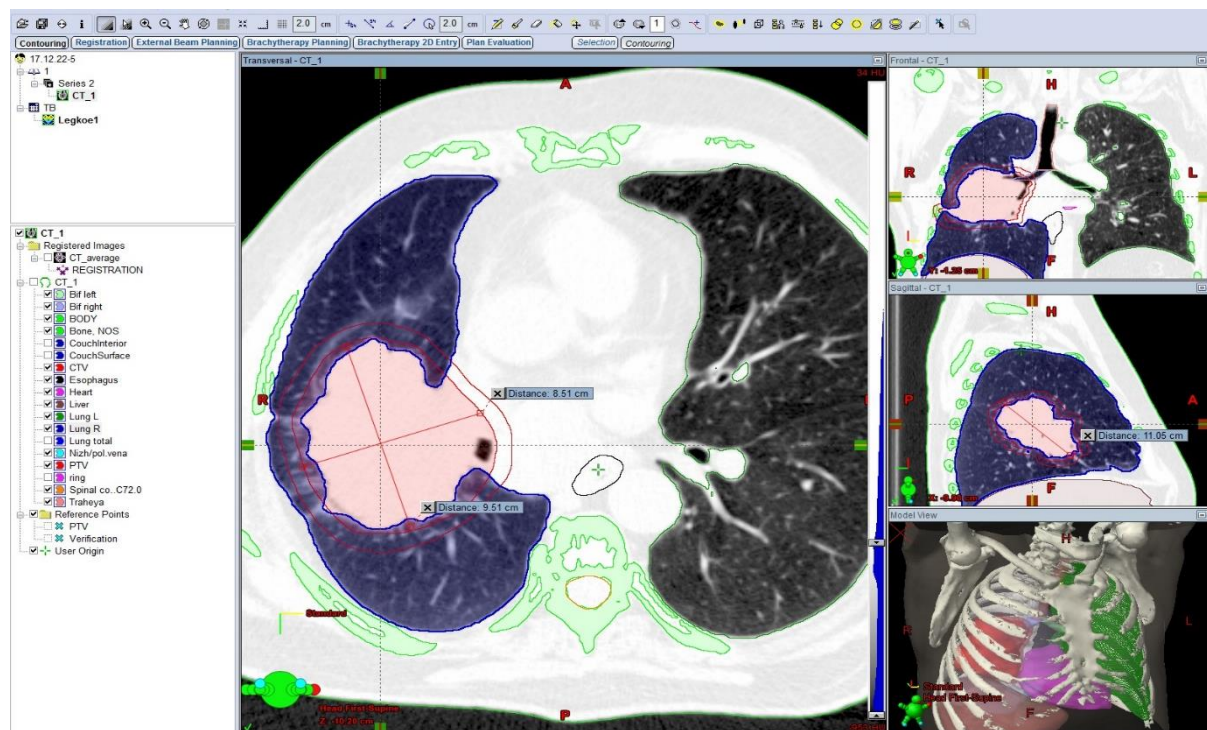
Total MV Dose [mGy]

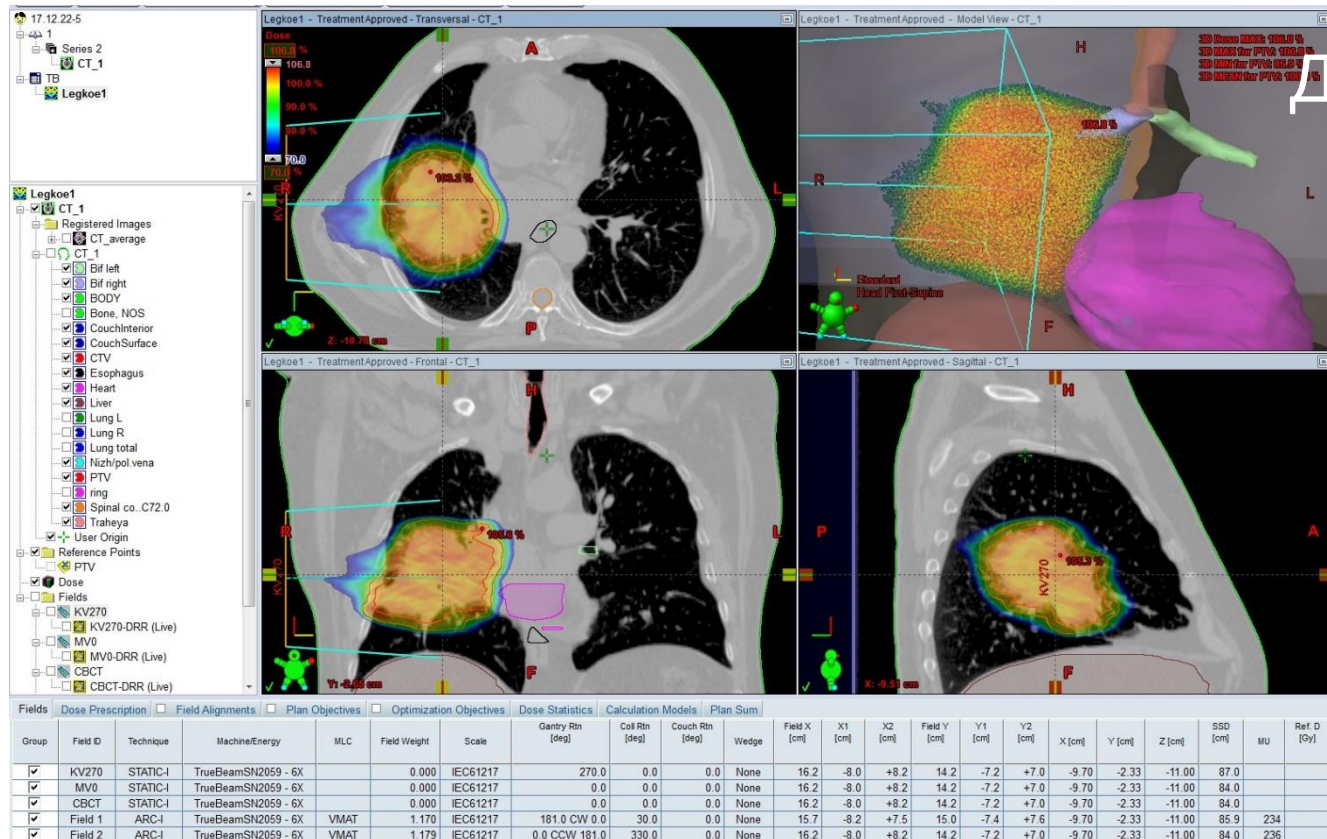
Timer [min]

HU%: Anode Housing

Опыт использования в Казахстане.

В начале 2018 года в КазНИИОиР было проведено около 80 сеансов лучевого лечения синхронизации с дыхательными движениями (на задержке дыхания) 3 пациентам с раком молочной железы и 1 пациенту раком легкого. В центре ядерной медицины и онкологии города Семей проводится данная технология при опухолей различных локализаций. В Алматинском онкологическом центре в отделении лучевой диагностики планируется приобретение соответствующего оборудования и применение этой методики с ноября 2019 года.





Ожидаемый эффект от внедрения

Эффективность метода подтверждена многочисленными рандомизированными исследованиями, методика активного управления дыханием при проведении ЛТ уменьшают смертность на 4,7% вследствие уменьшения кардиогенной дозы. Данная методика включена в руководство NCCN, рекомендации RTOG, ESTRO

Yukinori Matsuo, Hiroshi Onishi, Keiichi Nakagawa, Mitsuhiro Nakamura, Takaki Ariji, Yu Kumazaki, Munefumi Shimbo, Naoki Tohyama, Teiji Nishio, Masahiko Okumura, Hiroki Shirato, Masahiro Hiraoka, Guidelines for respiratory motion management in radiation therapy, *Journal of Radiation Research*, Volume 54, Issue 3, May 2013, Pages 561–568, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrs122>



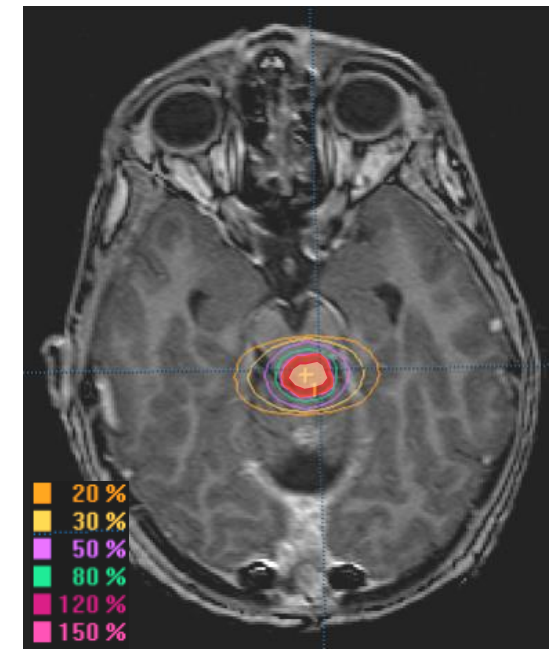
Облучение

Стереотактические системы

- Доставка **высокой дозы за фракцию** в малый объём
- Доза доставляется используя **специальные насадки или МЛД** с многих направлений
- **Локализация мишени** является сверхважной задачей



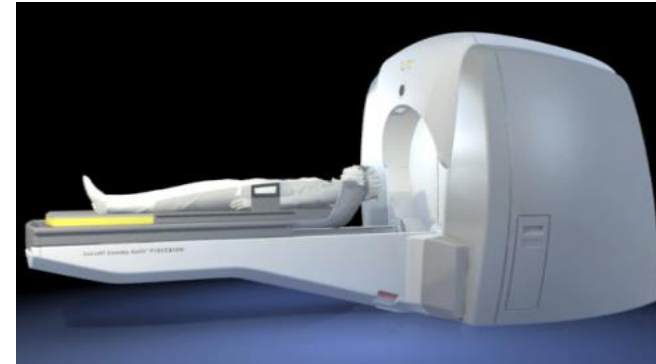
Lars Leksell



Стереотактические системы



Кибер-нож



Гамма-нож



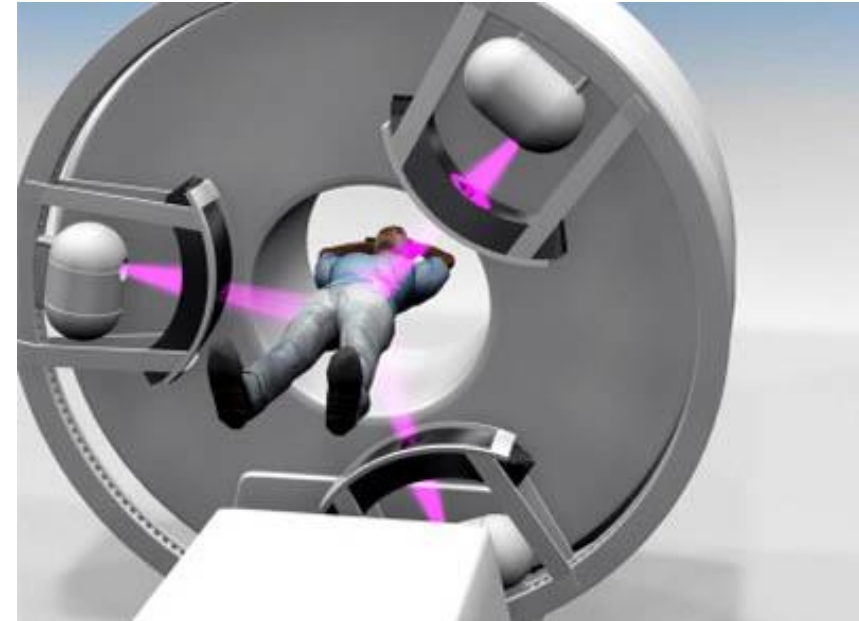
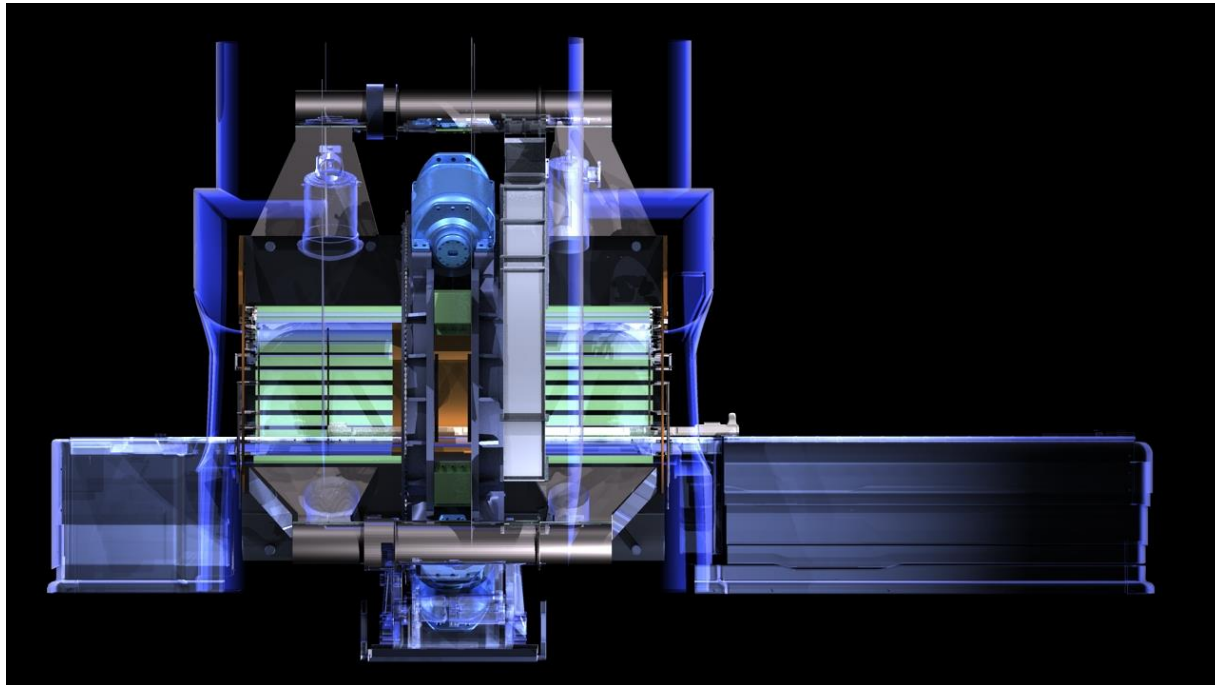
Varian TrueBeam STx



BrainLab Novalis

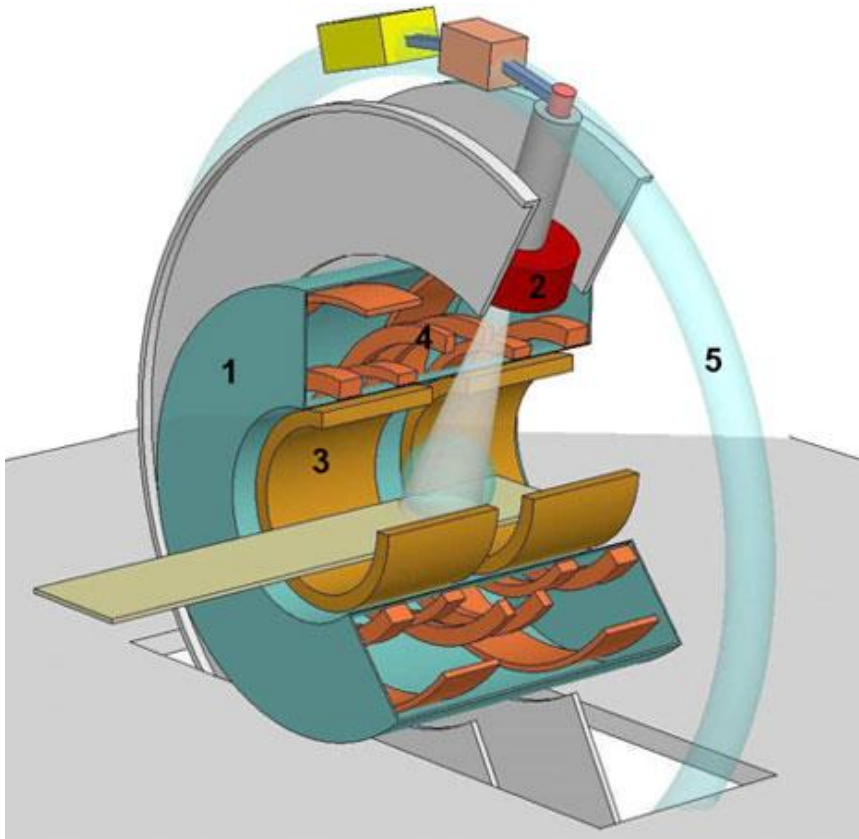
Визуализация с использованием МРТ

- Постоянная МРТ визуализация
- Дистанционная лучевая терапия
- Програмное обеспечение для адаптивной лучевой терапии



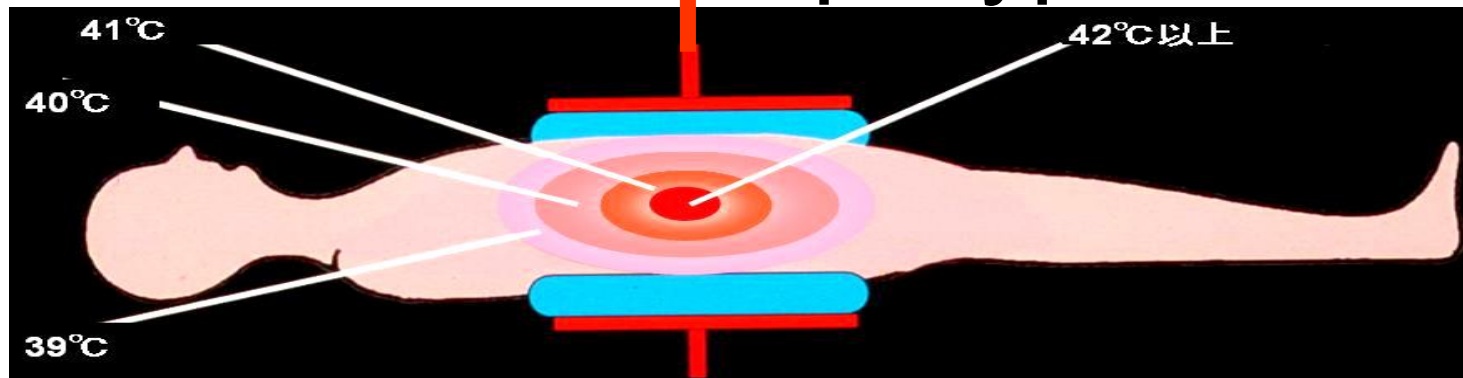
ViewRay Inc.

МРТ-ускоритель



- Напряжённость магнитного поля 1.5 Т
- Требуемая высота помещения 5 м

Гипертермия это - нагрев
опухолевых
тканей до температуры 38-44°C.



В зависимости от поставленной задачи выделяют 3 зоны гипертермии:

- 1) температура 43 - 44°C - прямого уничтожения опухоли,
- 2) температура 40 - 42°C - сенсibilизации (радиомодификация)
- 3) температура 38 - 40°C - возможно усиление роста опухоли.

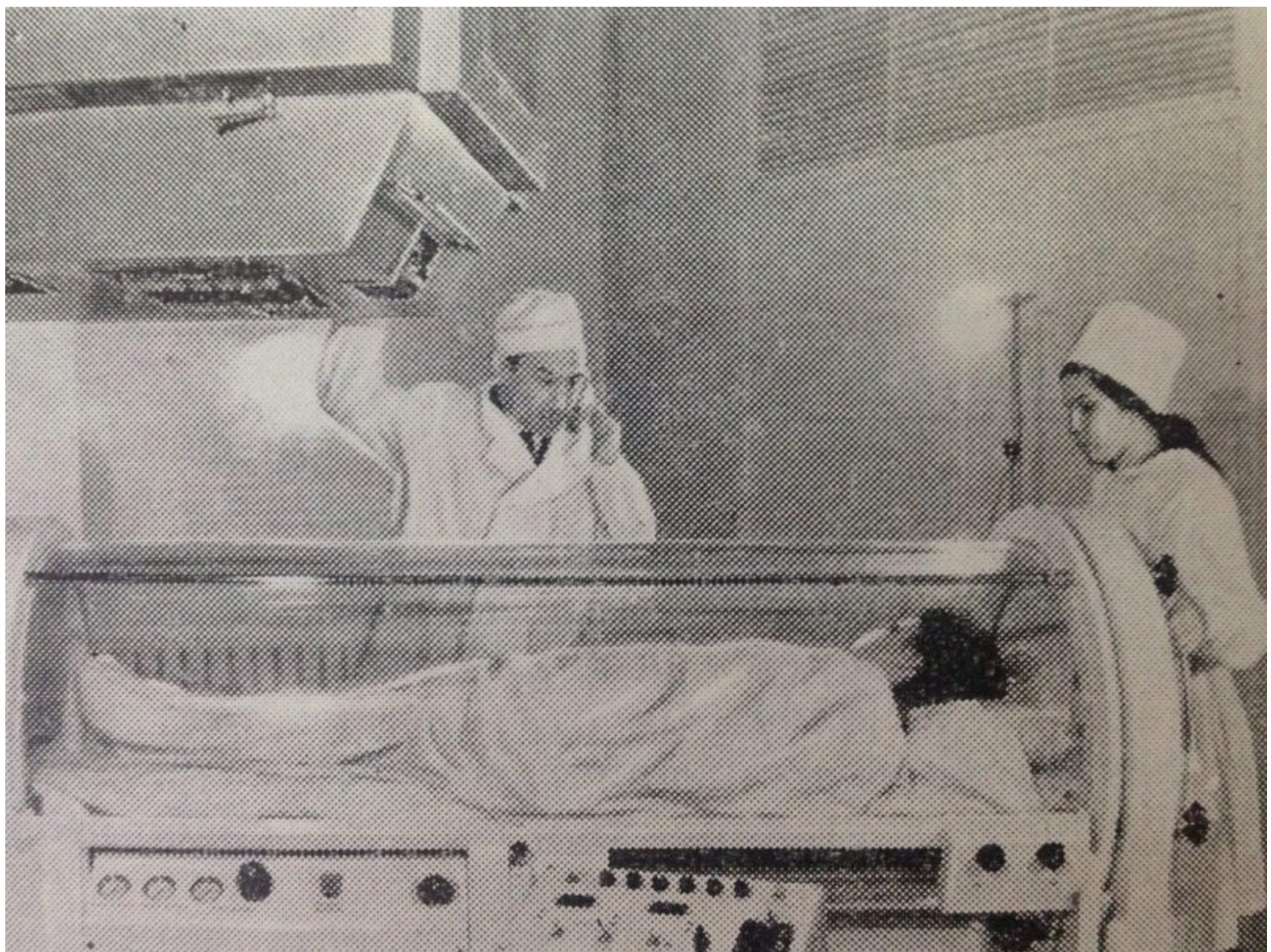
Кабинет гипертермии в Томском НИИ онкологии на базе отд. радиологии аппарат Celsius TCS

- **Используемая частота: 13,56 МГц, мощность до 600Вт.**
- **Глубина прогрева до 19 см.**
- **Температура в опухоли 43 – 45**
- **Возможность поддержания стабильной температуры прогрева в опухоли без побочных эффектов**
- **2 этапа термометрического контроля (неинвазивный и инвазивный).**
- **Планирование процедуры пациента.**
- **Управление с помощью специального компьютерного блока.**



Локальная гипертермия для опухолевых процессов

- Обладает собственным повреждающим действием на клеточном уровне
- Позволяет преодолеть радиорезистентность гипоксических опухолевых клеток
- «идеальный» адьювант, сглаживающий колебания в выживаемости клеток в зависимости от стадии клеточного цикла
- Характеризуется значительным радиосенсибилизирующим эффектом вследствие временного нарушения процессов репарации
- Вызывает изменение кровотока в области нагрева.
- Сочетание Гт с ЛТ, ХТ позволит, не увеличивая сроков лечения, а также частоты и выраженности побочных явлений, улучшить непосредственные и отдаленные результаты лечения, качество жизни, а также выживаемость пациентов.



Локальная гипертермия для опухолевых процессов

Наименование МЭТ	Прямые затраты				Накладные расходы (косвенные затраты)		Стоимость МЭТ на один пролеченный случай, тенге **
	Заработная плата	Налоги и другие обязательные платежи в бюджет	Лекарственные средства и изделия медицинского назначения	Медицинские услуги	%	тенге	
					8	9	
2	3	4	6	7	8	9	10
Локальная гипертермия для опухолевых процессов	7 149	719	632	123 465	36,36%	2 861	134 825

ежегодное Техническое Обслуживание с обязательной заменой

- мешочный фильтр
- опреснитель охлаждающей жидкости
- бактерицидный водоочиститель
- ионизатор воды (2 шт)

Ежегодное ТО с заменой перечисленных компонентов 7000- 8000 евро

Низкодозная брахитерапия (LDR)

Доза доставляется через недели и месяцы,
реакции наступают через месяцы

Зерна:
Йод (I-125)
Палладий (Pd-103)
Цезий (Cs-131)



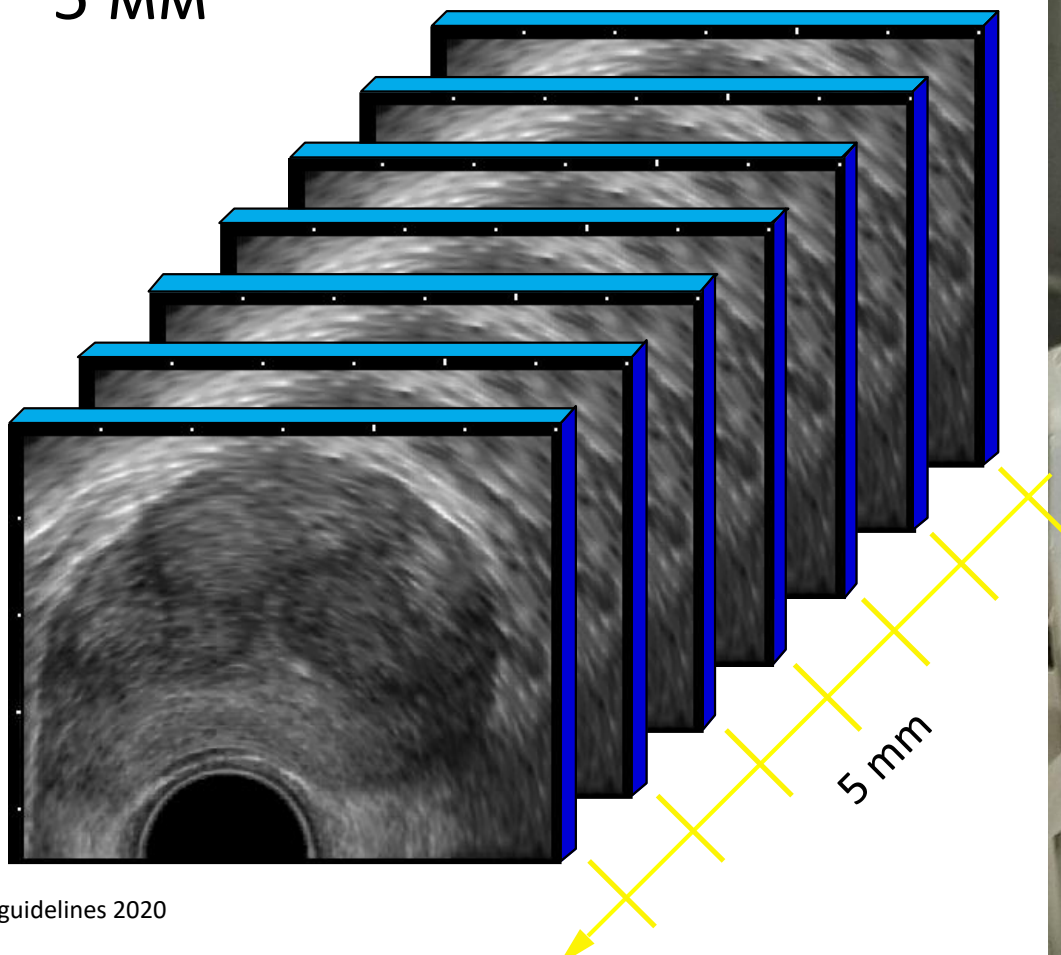
Высокодозная брахитерапия (HDR)

Доза доставляется в течении минут, реакции
наступают через неделю

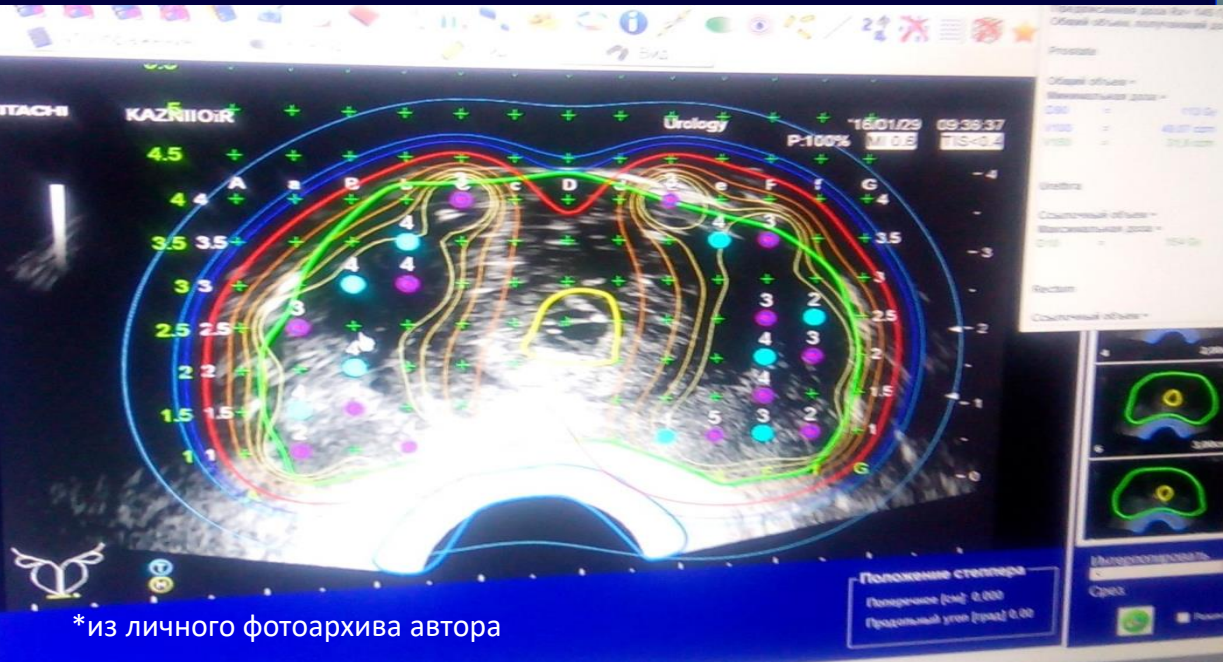
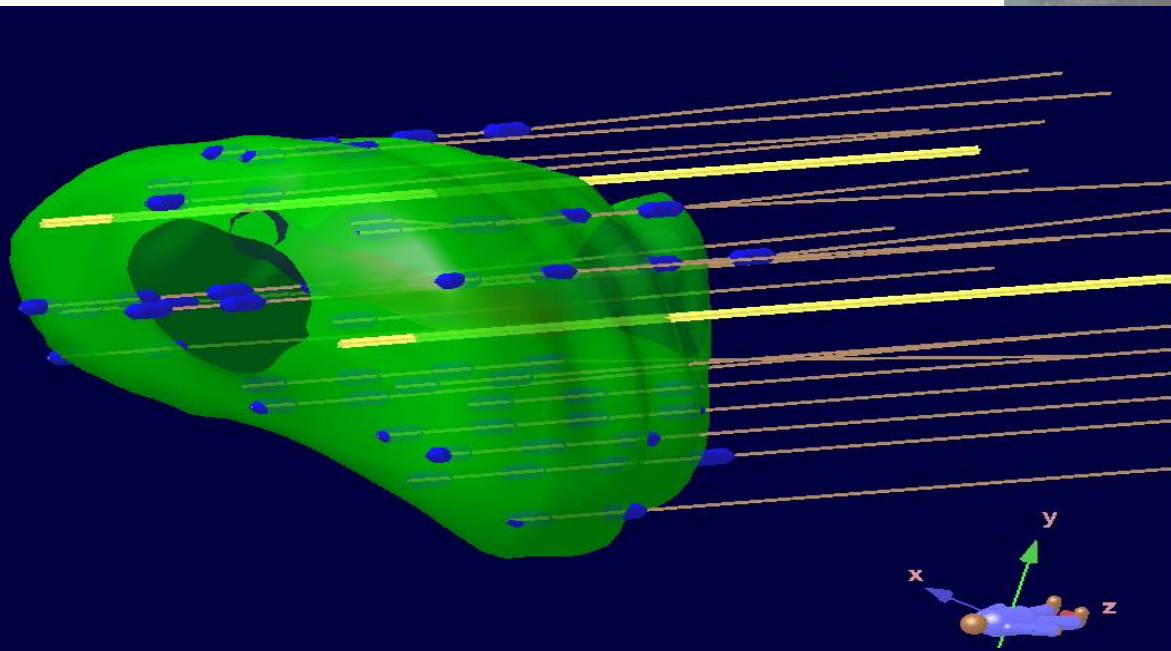


Аппарат
брахитерапии с
источником иридия
(Ir-192)

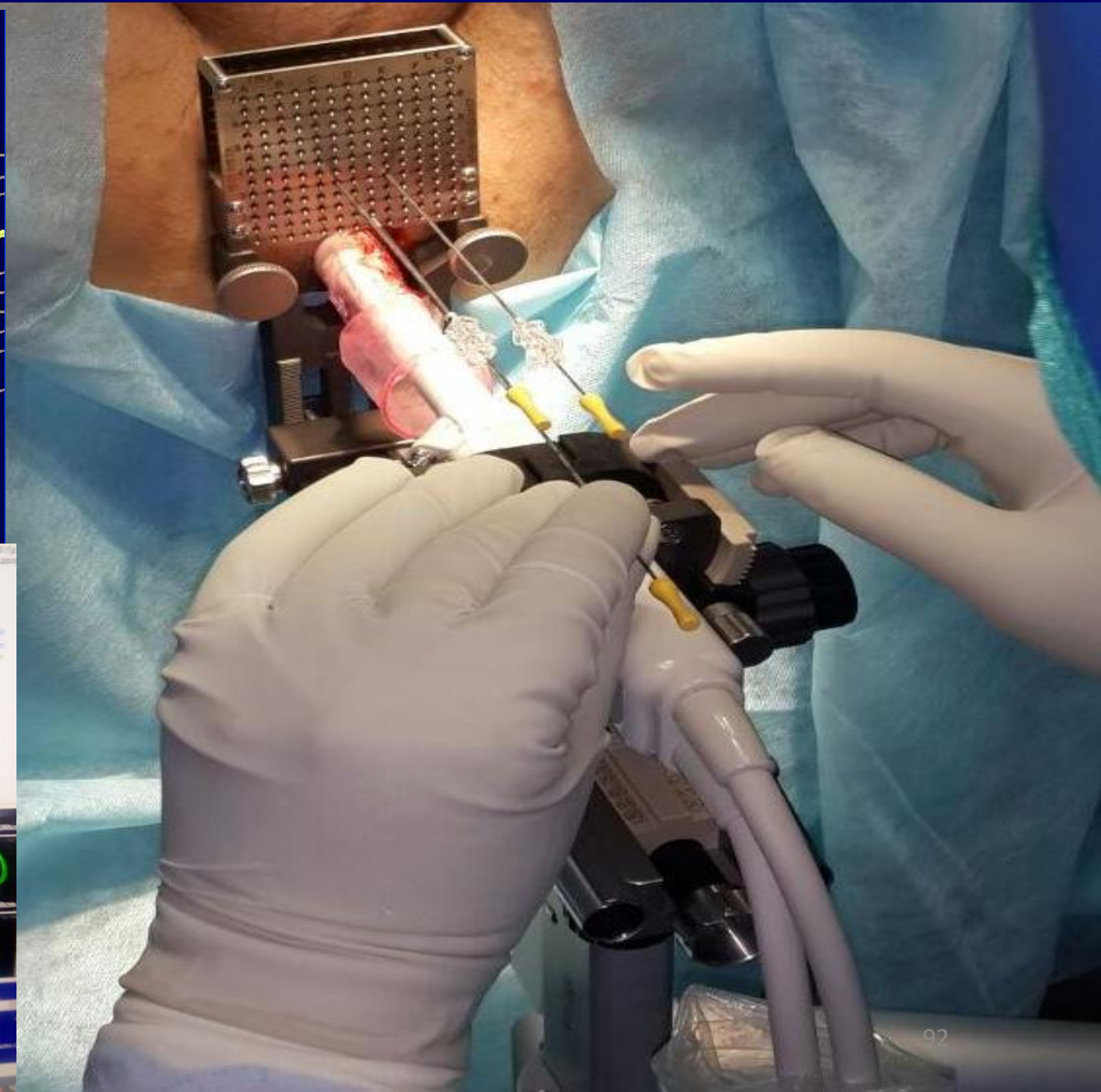
- Совмещение шаблона и координационной решетки на УЗИ
- Сканирование простаты через 5 мм



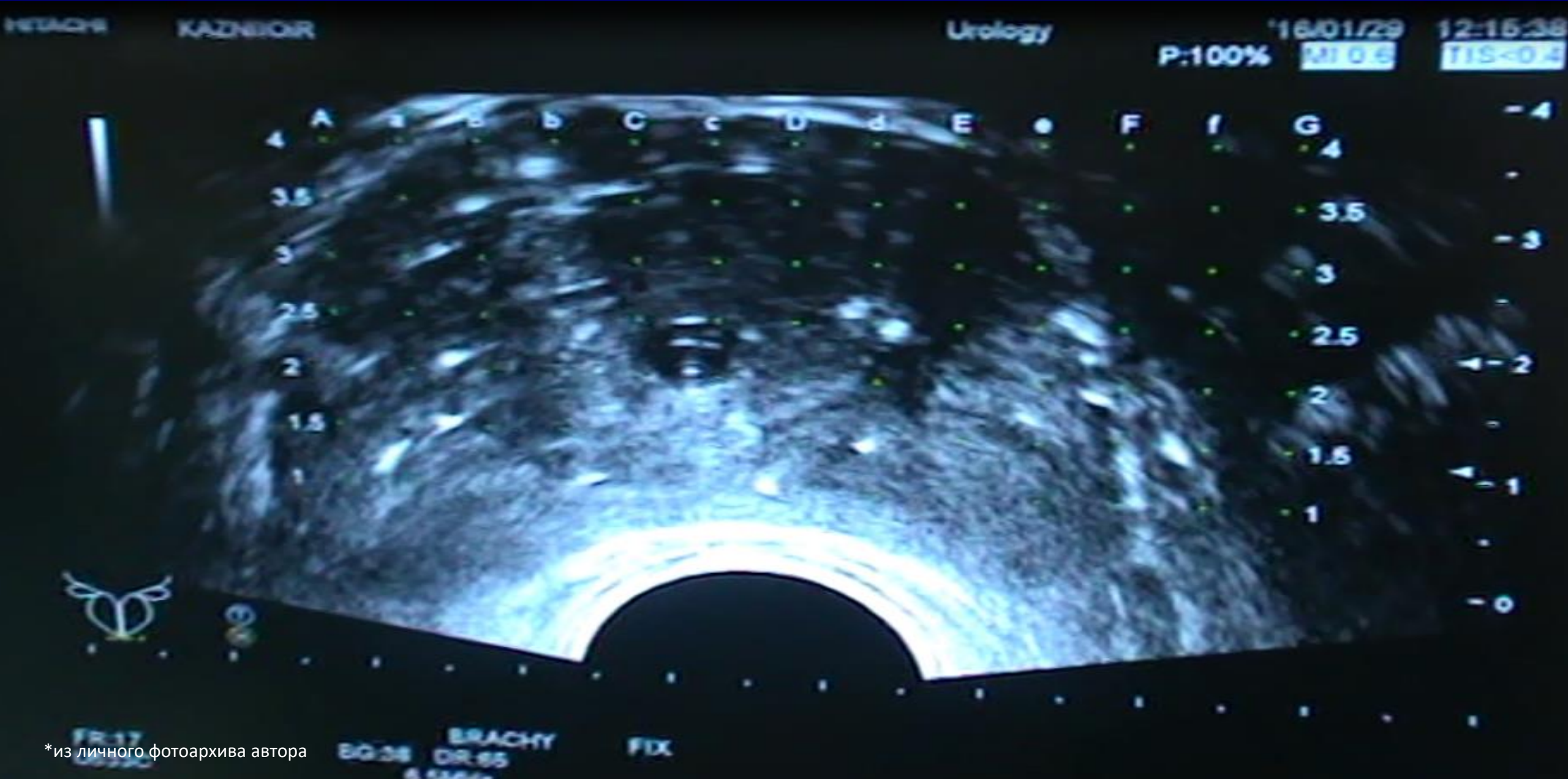
Брахитерапия рака предстательной железы



*из личного фотоархива автора



Зерна I-125 при УЗИ

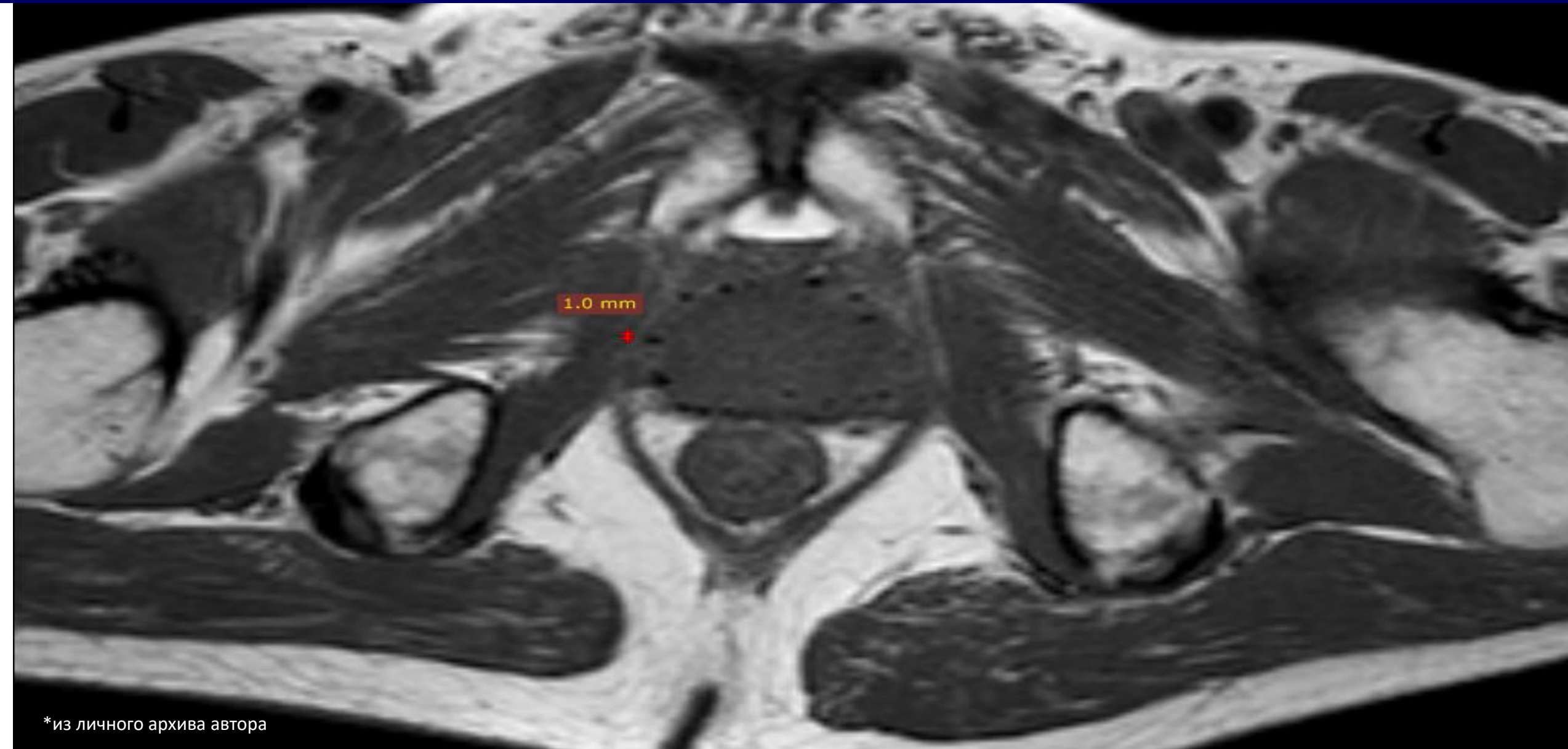


Зерна I-125 при КТ



*из личного архива автора

Зерна I-125 при МРТ



*из личного архива автора