КТ И МРТ-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭНДОСТАТОВ ДЛЯ КОНТАКТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ВНУТРИПОЛОСТНЫХ АППАРАТАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

В.А. Солодкий, Н.И. Сергеев, В.А. Титова

Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава России, Москва

Проведены экспериментальные исследования по КТ- и МРТ-визуализации эндостатов для контактной лучевой терапии, изготовленных из титана с компонентами из пластических масс. Показано, что для детализации внешнего и внутреннего контуров ампулопроводов необходим индивидуальный подбор условий МРТ-исследования. Допустимо использование многоканальных эндостатов со сложной геометрией и взаимным перекрестом составляющих их трубок, но необходим индивидуальный подбор технических условий проведения МРТ-исследования для достижения необходимого уровня надежности и качества получаемых данных для планирования брахитерапии.

Ключевые слова: 3D планирование брахитерапии, эндостаты, МРТ, КТ

Введение

В рамках решения основных задач практического здравоохранения при создании комплекса нового поколения аппаратов для брахитерапии (БТ) серии АГАТ на базе научно-технического и конструкторского опыта АО НИИТФА научно-клинических традиций РНЦРР и Минздрава России в условиях импортозамещения считаем целесообразным подчеркнуть необходимость оснащения отечественного аппарата для проведения БТ комплектами эндостатов и аппликационных систем, изготовленных с использованием металлических и пластиковых составляющих, как наиболее полно отвечающих оптимальному их размещению при лечении основных локализаций опухолей полости рта, женской репродуктивной системы, толстой кишки. В условиях новых технологий конформной дистанционной лучевой терапии и современных позиций БТ, констатируем, что ранее существовавший принцип использования 2D рентгенографии с помощью аппарата типа С-дуга, оказывается неприемлемым, т.к. не позволяет в соответствии с международными требованиями 3D оконтуривания и планирования БТ получить интегрированную информацию о качественных параметрах опухоли, взаимном расположении опухоли и органов риска в объеме, а также определять объемы нормальных органов, получающих критическую дозу от БТ в силу их непосредственного расположения в области размещения эндостатов и источников излучения [1–3].

Разрабатываемая в РНЦРР технология магнитно-резонансной (МР)-топометрии для комплекса АГАТ нового поколения основана на использовании источников ⁶⁰Со и основного набора эндостатов и аппликационных систем с жесткой взаимной фиксацией звеньев между собой, изготовленных из металла с пластическими массами. Это позволяет также широко использовать КТ-топометрию, технология которой была разработана в РНЦРР [4–6]. При 3D планировании БТ получают многоплоскостные MP-томограммы в соответствии с международным общепринятым протоколом оконтуривания опухоли и органов риска [3, 7]. При этом для рака шейки матки рассматриваются позиции определения трех типов объема облучения (target volume) – высокого, среднего и низкого риска, что позволяет дифференцированно формировать в них поглощенные дозы под контролем данных динамической MPT [1, 2]. Однако неизбежна "схематизация" в подготовке карт индивидуального оконтуривания [3], число которых минимизируют при снижении числа сеансов БТ.

Настоящая работа посвящена первому опыту использования визуализации MP-совместимых комплектующих эндостатов для БТ.

Материал и методы

Для получения изображений использовали магнитно-резонансный томограф Canon модели Titan Advantage с магнитной индукцией 1,5 Тл, 64-срезовый мультисрезовый компьютерный томограф производства GE и MPT-совместимые эндостаты, изготовленные из титана и пластических масс, предложенные разработчиками АО НИИТФА. Для сравнения были проанализированы результаты КТ-визуализации стандартных комплектов эндостатов: традиционного метракольпостата для лечения рака шейки матки с жесткой фиксацией звеньев эндостата между собой (рис. 1) и МР-совместимого кольпостата/проктостата из пластических масс и кольпостата с введенной по основной оси ранее исследованной в эксперименте центральной трубкой из титана (рис. 2).



Рис. 1. Метракольпостат, общий вид

Результаты

В рамках запланированных экспериментальных исследований по визуализации комплекта МРТ-совместимых эндостатических устройств для аппарата АГАТ нового поколения были проведены следующие этапы работ:

Первый этап: МРТ-визуализация водного фантома. Водный фантом исследован в условиях использования проточной и дистиллированной воды. Констатировано, что существенных различий отображения водной структуры получено не было. Отмечено наличие нерезко выраженной неоднородности среды в виде «завихрений». Для дальнейших исследований была использована дистиллированная вода. Предварительно водный фантом был исследован без эндостатов, с отработкой режимов проведения МРТ-исследования (рис. 3).

На втором этапе было проведено сканирование эндостата, представляющего собой титановые трубки различных конфигураций. Первоначально было выполнено сканирование расположенной по диагонали одной титановой трубки в фантоме, заполненном водой (рис. 4).



Рис. 2. а – кольпостат из пластических масс (с диаметром, обеспечивающим тесный контакт эндостата со стенками влагалища) без центральной трубки. б – кольпостат с центральной трубкой из титана и резиновыми заглушками, препятствующими проникновению биологических жидкостей внутрь



Рис. 3. МРТ-визуализация водного фантома для определения МРТ-совместимости титановых эндостатов для модернизированного аппарата АГАТ: отображение фантома, заполненного дистиллированной водой, в режиме T₂AX (аксиальная проекция)

В МРТ-изображении центральная трубка из титана при различных условиях съемки давала визуальную картину светлого ореола вокруг трубки (рис. 5).

При анализе полученных изображений прослеживаются внутренний и внешний диаметр титановой трубки в сочетании со вторым гиперинтенсивным ореолом. При анализе изображения трубки в продольной плоскости констатировали четкость внешних ее границ и наличие ореола вокруг. Краевая деформация изображения была обусловлена размещением трубки большой длины в водном фантоме по диагонали.

Далее было проведено исследование трех параллельных титановых трубок, закрепленных в держателе эндостата (рис. 6). На МР-томограммах была отмечена аналогичная картина с наличием гиперинтенсивных засветок по периферии объектов. Существенного суммарного усиления артефактов изображения отмечено не было.

Интерпретация МРТ-изображения эндостата сложной конфигурации, состоящего из нескольких титановых трубок с их перекрещиванием, представляет некоторые трудности, однако была получена визуальная картина эндостата непосредственно в водном фантоме с достаточно точными и реальными характеристиками (рис. 7).

На третьем этапе МР-визуализации были использованы: кольпостат из пластических масс и кольпостат с введенной по основной оси и ранее исследованной одиночной центральной трубкой из титана (рис. 8). Кольпостат имел протяженные отверстия эндостата меньшего диаметра, чем центральный канал кольпостата по радиусу для формирования излучающих линий по внешней окружности. МРТвизуализация кольпостата с центральной трубкой из титана продемонстрировала его четкие внешние границы со светлым ореолом вокруг (рис. 8).

Полученное МР-отображение кольпостата с центральной трубкой из титана и границы изготовленного из пластмасс в Т₂ВИ кольпостата – четкие. Вокруг центральной титановой трубки присутствует артефакт изображения в виде гиперинтенсивного ареола без деформа-



Рис. 4. Подготовка к МРТ-сканированию трубки из титана в водном фантоме: а – общий вид трубки из титана в кювете; б – размещение по диагонали кювета

ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ





Рис. 5. МРТ-визуализация центральной трубки эндостата из титана в фантоме с дистиллированной водой: вверху – проекция T₂COR (корональная), внизу – проекция T₂AX

ции контуров и конфигурации самой трубки. Размеры указанного искажения представляются измеримыми. Целесообразно продолжение исследований в данном направлении.

Обсуждение результатов

При планировании экспериментальных и клинических исследований мы исходили из сформулированных разработчиками требований по обеспечению возможности МРТ-визуализации эндостатических устройств для аппарата АГАТ нового поколения и пришли к следующим заключениям:





Рис. 6. МРТ-визуализация трех параллельных титановых трубок эндостата в фантоме с водой: а – размещение эндостата в фантоме, заполненном дистиллированной водой на деке стола; б –проекция T_2COR ; в –проекция T_2AX

 КТ может быть использована для визуализации эндостатов при БТ; поперечные срезы тела пациента для БТ должны быть получены с шагом 3–5 мм для наилучшего



Рис. 7. МРТ-визуализация эндостата из титановых трубок сложной конфигурации в фантоме с дистиллированной водой с толщиной скана 5 мм и шагом 5 мм: а – размещение эндостата в фантоме на деке стола – проекция T₂COR с углом наклона; б – проекция T₂AX –четкая визуализация платмассовых фиксаторов по внешнему краю эндостата



Рис. 8. МР-томограмма в режиме T_2 COR кольпостата из пластмассы с центральной визуализируемой титановой трубкой, в окружении светлого ореола вокруг

определения объема облучения и верификации предписанной дозы.

- 2. Персонализация "объема облучения" обеспечивается данными КТ и более детализировано – МРТ-визуализацией опухоли и введенных эндостатов.
- 3. МРТ обеспечивает прецизионную визуализацию мягких тканей и гарантирует улучшение контроля GTV-OAR.
- МРТ-контроль обеспечивает оперативное получение количественной информации для планирования БТ в режиме реального времени.
- 5. КТ/МРТ-визуализация при сравнении данных показала целесообразность МРТ-планирования БТ рака шейки матки.
- При мультифокальном УЗИ и МР-совмещении изображения титановых и пластиковых эндостатов существует риск ошибок в предписанной и реально подведенной дозах БТ, что согласуется с данными литературы [7, 8].
- 7. По показаниям необходимо использовать данные МРТ для коррекции плана облучения, полученного с помощью КТ.

Выводы

Таким образом, проведенная МРТ-визуализация предложенного специалистами НИИТ-ФА комплекта эндостатических устройств, из пластиковых материалов (кольпостатов/проктостатов) с ампулопроводами из титана и эндостатов со сложной геометрической конфигурацией позволяет сделать следующие выводы:

- 1. Изготовленные из титана полые прямолинейные трубки визуализируются при МРТ.
- 2. Для детализации внешнего и внутреннего контуров ампулопроводов необходим индивидуальный подбор режима МРТ-исследования.
- Допустимо использование многоканальных эндостатов со сложной геометрией и взаимным перекрещиванием составляющих их трубок, но необходим индивидуальный подбор технических условий проведения МРТисследования для достижения необходимого уровня надежности и качества получаемых данных для планирования БТ.

Список литературы

1. Романова Е.А.. Современная лучевая терапия в комбинированном лечении распространенного рака шейки матки. Автореф. дисс. канд. мед. наук. Москва. 2019. 26 с.

- Кравец О.А., Романова Е.А., Козлов О.Е. и соавт. Трехмерное планирование брахитерапии местнораспространенного рака шейки матки // Вопросы онкологии. 2018. Т. 64. № 5. С. 645–650.
- 3. Дубинина А.В. Сравнительная оценка эффективности стандартного и ускоренного режимов фракционирования дозы при внутриполостном облучении больных раком шейки матки IIb–IVb стадий. Дисс. канд. мед. наук. Москва. 2019. 26 с.
- Титова В.А., Паньшин Г.А., Шевченко Л.Н. и соавт. Послеоперационная конформная лучевая терапия рака шейки и тела матки: роль контактной лучевой терапии // Трудный пациент, 2019, № 7–8. С. 26–29.
- 5. Титова В. А., Коконцев Д.А., Сумин А.В. и соавт. Дозиметрия *in vivo* при контактной лучевой терапии // Мед. физика. 2019. № 2. С. 31–37.
- Vasiliev V.N., Sumin A.V., Medvedkov A.M. et al. Calculation of the MKD-04 Scintillation Dosimeter for radiation from ¹⁹²Ir Sourse // J. Biomed. Eng. 2020. Vol. 54. № 2. P. 113–116.
- Nesvacil N., Potter R., Sturdza A. et al. Adaptive image guided brachytherapy for cervical cancer: a combined MRI-/CT –planning technique with MRI only at first fraction // J. Radiother. Oncol. 2013. Vol. 107. № 1. P. 75–81.
- 8. Fokdal L., Mazeron R. GEC-ESTRO target volume concept. 2014.

CT AND MRI IMAGING OF ENDOSTATS FOR INTRACAVITY GAMMATHERAPY USING INNOVATIVE DEVICES

V.A. Solodky, N.I. Sergeev, V.A. Titova

Russian Scientific Center of Roentgenoradiology. Moscow. Russia Experimental studies on endostats for brachytherapy visualization made of titanium with plastic masses components have been carried out. It is shown that individual selection of MRI examination conditions is necessary for detailing the external and internal contours of ampoule lines. It is acceptable to use multi-channel endostats with complex geometry and cross-section of their constituent tubes, but individual selection of technical conditions for conducting MRI research is necessary to achieve the high level of reliability and quality of the obtained data for planning BT using developed and

Key words: 3D brachytherapy planning, endostats, MRI, CT

planned to implement domestic technology.

E-mail: veratitova41@gmail.com