

## МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ СТЕРЕОТАКСИЧЕСКОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ У БОЛЬНЫХ С МЕТАСТАЗАМИ В ПЕЧЕНИ

Бабий А.П.<sup>1,2</sup>, Куплевацкая Д.И.<sup>2</sup>, Труфанов Г.Е.<sup>1</sup>, Федоров А.В.<sup>2</sup>,  
Воробьев Н.А.<sup>2</sup>, Черкашин М.А.<sup>2</sup>, Березина Н.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Национальный медицинский исследовательский центр  
им. В. А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Лечебно-  
диагностический центр Международного института биологических  
систем имени Сергея Березина»

### Контактная информация:

Бабий Алексей Петрович  
ООО «ЛДЦ МИБС»  
ул. 6-я Советская, д. 24-26, Санкт-  
Петербург, Россия, 191144.  
E-mail: babiy@ldc.ru

Статья поступила в редакцию 17.05.2017  
и принята к печати 07.08.2017.

### Резюме

**Актуальность:** Стереотаксическая лучевая терапия является неинвазивным альтернативным иным локальным методикам лечения больных с метастазами в печени. Одним из главных критериев успешного планирования объема облучения является четкая визуализация контура опухоли. МРТ предоставляет дополнительную ценную информацию о границах опухоли и критических структурах, что делает ее выполнение обязательным при сборе анатомо-топографических данных для планирования стереотаксической лучевой терапии у больных с метастазами в печени. Использование разных импульсных последовательностей и толщины срезов оказывает влияние на качество визуализации контура мишени, на совмещение КТ и МРТ-данных для выбора объема облучения.

**Цель:** Повышение качества сбора анатомо-топографических данных методом МРТ для планирования стереотаксической лучевой терапии у пациентов с метастазами в печени.

**Материалы и методы:** Magnetom Siemens Avanto и Aera RT 1,5Тл. Протокол МРТ: обзорные T2 Cor и T2 Sag 5мм, T1ax VIBE DIXION 1,5мм, T2ax SPACE 2мм, DWI (ADC), T2ax TSE BLADE FS 3мм. С помощью данной методики 15 пациентам с суммарными 20 метастазами в печени была спланирована и выполнена стереотаксическая лучевая терапия.

**Результаты:** Используемые толщина среза и импульсные последовательности обеспечивают высокое пространственное разрешение, четкую визуализацию контура опухоли, отсутствие технических трудностей при совмещении КТ и МРТ-томограмм на станции планирования и выборе объема облучения.

**Заключение:** Оптимизация протокола МРТ для сбора анатомо-топографических данных позволила повысить их информативность и диагностическую ценность для планирования СтЛТ у больных с метастазами в печени.

**Ключевые слова:** МРТ, печень, метастазы, СтЛТ, планирование.

Для цитирования: Трансляционная медицина. 2017; 4 (3): 23–34.

////////////////////////////////////  
**MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN  
THE PLANNING OF STEREOTACTIC BODY  
RADIATION THERAPY IN PATIENTS WITH  
LIVER METASTASES**

**Babiy A.P.<sup>1,2</sup>, Koplevatskaya D.I.<sup>2</sup>, Trufanov G.E.<sup>1</sup>, Fedorov A.V.<sup>2</sup>,  
Vorob'ev N.A.<sup>2</sup>, Cherkashin M. A.<sup>2</sup>, Berezina N.A.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Almazov National Medical Research Centre,  
Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Dr. Berezin Medical Institute, Saint Petersburg, Russia

**Corresponding author:**

Alexey P. Babiy  
Dr. Berezin Medical Institute  
6th Sovetskaya str., 24-26,  
St Petersburg, Russia, 191144  
E-mail: babiy@ldc.ru

*Received 17 May 2017; accepted 07 August  
2017.*



**Abstract**

**Background:** Extracranial stereotactic body radiation therapy is non-invasive alternative to other local treatment methods of patients with liver metastases. One of the main criteria for successful planning of the irradiation volume is a clear visualization of the contour of the tumor. MRI provides more valuable information about the boundaries of the tumor and critical structures, which makes its implementation mandatory when collecting anatomical and topographic data for the planning of stereotactic radiotherapy in patients with metastases in the liver. The use of different pulse sequences and the thickness of the slices affects the quality of visualization of the contour of the target, the fusion of CT and MRI data to select the irradiation volume.

**Objective:** Improving the quality of anatomic-topographic data collection using the MRI for planning stereotactic radiation therapy in patients with liver metastases.

**Design and methods:** Magnetom Siemens Avanto and Aera RT 1.5T. MRI protocol: overview T2 Cor and T2 Sag 5mm, T1ax VIBE DIXION 1.5mm, T2ax SPACE 2mm, DWI (ADC), T2ax TSE BLADE FS 3mm. With the help of this technique 15 patients with a total of 20 liver metastases was planned and executed stereotactic radiation therapy.

**Results:** Used slice thickness and pulse sequences provide high spatial resolution, clear visualization of the contour of the tumor, the absence of technical difficulties with the fusion of CT and MRI tomograms at the station planning and the selection of the volume exposure.

**Conclusion:** Optimization of the MRI protocol to collect anatomic-topographic data allowed to increase their informative value and diagnostic value for planning of SBRT in patients with liver metastases.

**Key words:** MRI, liver, metastases, SBRT, planning

*For citation: Translyatsionnaya meditsina= Translational Medicine. 2017; 4 (3): 23–34.*

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ:**

КТ — компьютерная томография  
МРТ — магнитно-резонансная томография  
СтЛТ — стереотаксическая лучевая терапия  
SBRT — stereotactic body radiation therapy

**Введение:**

Среди жизненно важных органов печень занимает 1-е место по частоте поражения метастатическими

опухолями. Вторичное поражение печени встречается в 50 раз чаще, чем первичные злокачественные опухоли печени [1,2]. Наиболее частыми источниками метастазирования в печень являются опухоли толстой кишки, легкого и молочной железы, реже метастазируют в печень опухоли органов малого таза и брюшинного пространства, меланома [3,4,5].

Лечение больных с метастатическим поражением печени является актуальной проблемой на стыке

современной гепатохирургии, онкологии, системных методов лечения и радиотерапии. Метод лечения выбирается в зависимости от общего состояния больного, возраста, гистологической характеристики первичной опухоли, количества, размеров и локализации опухолевых узлов, от состояния паренхимы и функции печени [3,6,7,8,9]. Кроме того, важную роль играет доступность того или иного метода лечения в конкретном медицинском центре и осведомленность о таком методе лечащего врача.

Пациентам с нерезектабельным опухолевым процессом или признанным неоперабельными, а также отказавшимся от хирургического лечения, кроме системной радиотерапии, на современном этапе предлагается комплекс малоинвазивных технологий, таких как химиоэмболизация и различные виды локальной деструкции опухоли — абляции [10,11,12,13].

Облучение всего объема печени не нашло широкого применения из-за высокой токсичности, развития RILD-синдрома (поражения печени индуцированные радиацией) [14,15,16].

Развитие инновационных технологий в медицинской технике привело к созданию новых методов планирования лучевой терапии и способов прицельного подведения дозы ионизирующего облучения к опухоли, с максимальной защитой окружающих тканей [17,18].

Стереотаксическая лучевая терапия (SBRT) для пациентов с нерезектабельным опухолевым процессом или признанных неоперабельными является методом выбора для лечения метастазов печени.

По результатам многоцентрового исследования при использовании данного метода в 95% случаев достигается локальный контроль в течение первого года, 92% — через 2 года. При этом двухлетний показатель локального контроля опухолей менее 3,0 см составил 100% [19].

SBRT является безопасным, высокоэффективным методом лечения, значительно расширяющий возможности комбинированного лечения у больных с метастазами в печень [20,21,22,23,24,25,26,].

Предлучевая подготовка является одним из главных элементов лучевой терапии. Современное радиотерапевтическое оборудование позволяет проводить 3D-планирование, что дает возможность создать необходимое распределение дозы по всему объему мишени с максимумом в зоне опухоли и снизить до минимума дозовые нагрузки на окружающие ткани. Одним из главных критериев успешного планирования является четкая визуализация контура опухоли [27,28,29].

Одной из главных задач лучевой диагностики при планировании объема облучения является

сбор анатомо-топографических данных методом МРТ и КТ.

Компьютерная томография (КТ) с контрастированием является обязательным этапом выполнения топометрической подготовки.

В настоящее время магнитно-резонансная томография рассматривается как наиболее эффективный метод визуализации поражений печени. Анализ проспективных данных с 1990 по 2010 годы, сравнивающий МРТ и КТ, продемонстрировал превосходство МРТ по чувствительности (90-97%) и специфичности при обнаружении метастазов малого диаметра (< 10 мм) [30].

МРТ позволяет с миллиметровой точностью визуализировать и дифференцировать образования в печени, определять степень их васкуляризации, использовать мультипараметрический подход в оценке опухолевого ответа на проводимое лечение.

МРТ предоставляет дополнительную ценную информацию о границах опухоли и критических структурах, что делает ее выполнение обязательным при сборе анатомо-топографических данных для планирования стереотаксической лучевой терапии у больных с метастазами в печени [31,32,33,34,35].

По данным американской коллегии радиологов (ACR) и американского общества терапевтической радиологии и онкологии (ASTRO) для сбора анатомо-топографических данных при трехмерном планировании объема лечения, необходимо использовать компьютерные и магнитно-резонансные томограммы, выполненные с толщиной среза 1,5-3мм, с последующим совмещением данных на станции планирования, для более точного определения объема облучения [36].

Однако, в руководстве не определены стандарты к условиям сбора анатомо-топографических данных и протоколам МРТ. Использование разных импульсных последовательностей и толщины срезов, оказывает влияние на качество визуализации контура мишени [37,38,39,40,41,42,43,44], на совмещение КТ и МРТ-данных на станции планирования, что в свою очередь может приводить к увеличению выбора объема облучения.

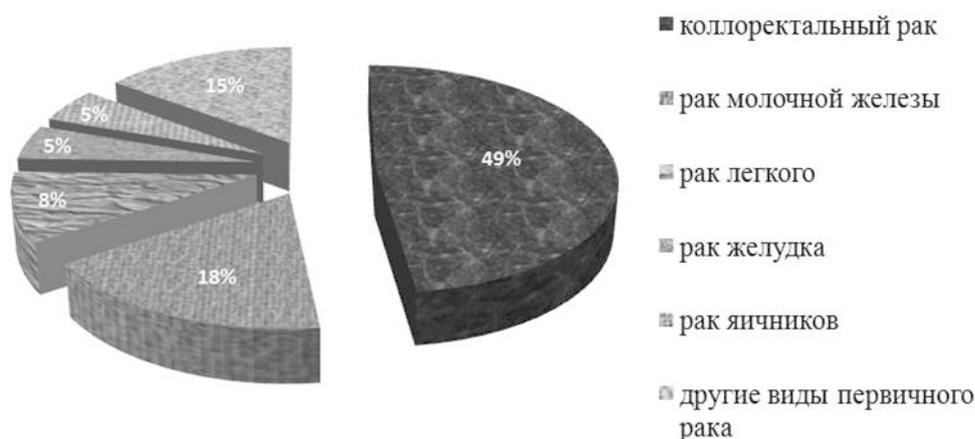
#### **Цель исследования:**

Повышение качества сбора анатомо-топографических данных при МР-исследовании для планирования стереотаксической лучевой терапии (СтЛТ) у пациентов с метастазами в печени.

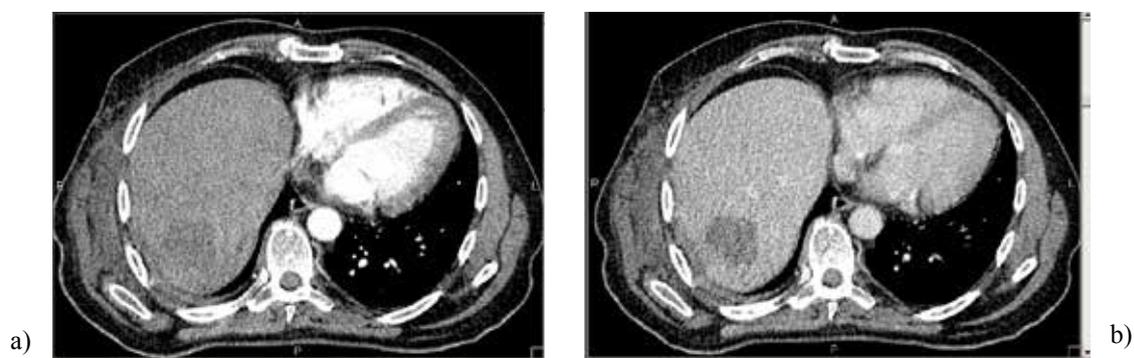
#### **Материалы и методы:**

Были проанализированы результаты сбора и совмещения КТ и МРТ-данных для планирова-

**Рисунок. 1. Распределение первичных опухолей**



**Рисунок. 2. Сбор анатомо-топографических данных методом КТ**



- a) CT tra 1,5мм postcontr артериальная фаза;
- b) CT tra 1,5мм postcontr венозная фаза.

Метастаз колоректального рака в VII сегменте печени (a,b), имеет гиповаскулярный тип контрастирования, более четкий контур в венозную фазу (b).

ния СтЛТ у 39 пациентов с метастазами в печени. Средний возраст пациентов составил 53 года (от 38 до 77 лет). У каждого пациента были пролечены от 1 до 5 метастатических очагов в печени размером от 1,0 до 4,5см в диаметре. Общее количество метастазов — 65.

В ходе анализа данных выявлено, что из-за низкого качества МР-данных и технических трудностей при совмещении КТ и МР-томограмм у 20 (51%) пациентов расчет объема облучения выполнялся только по данным КТ. У 19 (49%) пациентов планирование выполнено с использованием КТ и МР-томограмм, без технических трудностей при совмещении данных, с недостаточно четкой визуализацией контура мишени для выбора объема облучения по данным МРТ.

Основной причиной низкого качества МР-данных и технических трудностей при совмещении КТ/МР данных стали: отсутствие единого стандарта условий сбора анатомо-топографических дан-

ных методом КТ и МРТ, недостаточная пространственная разрешающая способность и необходимость сбора данных с помощью нескольких циклов задержки дыхания, что приводило к смещению анатомических структур.

КТ-исследования органов брюшной полости выполнялись на мультиспиральном 16-срезовом томографе Somatom Sensation Siemens с контрастным усилением по стандартной методике.

МР-исследования органов брюшной полости выполнялись на высокопольных томографах Magnetom Avanto и Aera RT Siemens с напряженностью магнитного поля 1,5Тл.

Протокол МРТ для сбора анатомо-топографических данных при планировании СтЛТ у больных с метастазами в печень включал: обзорные 5мм T2 Cor, T2 Sag, T1 ax VIBE DIXION (фаза-противофаза-противофаза с жироподавлением) 1,5мм, T2 ax SPACE 2 мм, DWI (ADC), T2 ax TSE BLADE FS 3мм.

**Рисунок 3. Набор импульсных последовательностей, обеспечивающих высокую разрешающую способность для сбора анатомо-топографических данных методом МРТ**

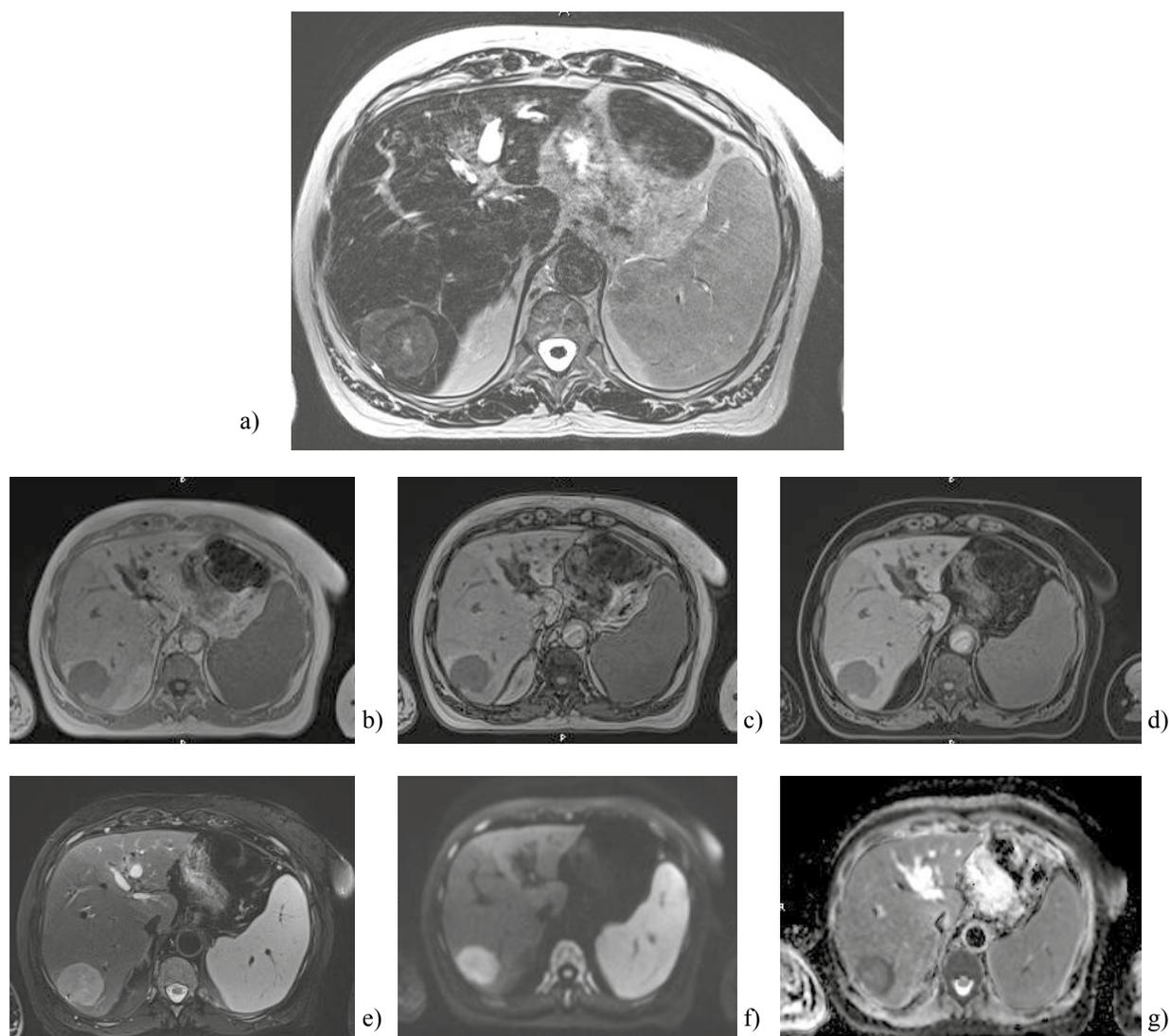


Рис. 3 (a-g). Сбор анатомо-топографических данных методом МРТ, образование в S7 печени.

a) T2 tra SPACE 2мм;

b-d) T1 VIBE DIXION 1,5 мм: b) T1 tra on phase; c) T1 tra off phase; d) T1 tra off phase+FS

e) T2 tra TSE BLADE FS 3мм; f) DWI b-1000; g) ADC.

МР- томограммы, полученные с помощью данных импульсных последовательностей, демонстрируют высокую анатомическую контрастность, четкую визуализацию контура образования.

### Результаты:

Основными задачами оптимизации алгоритма сбора анатомо-топографических данных методом МРТ стали:

1. Максимальное приближение условий сканирования к компьютерной томографии, использование минимальной толщины среза при сборе сигнала с одной фазой задержки дыхания, сохранение высокой пространственной разрешающей способности.

2. Решение технических проблем при совмещении КТ и МР-томограмм.

3. Четкая визуализация контура мишени для определения GTV по данным МРТ.

Использование стандартных двухмерных градиентных последовательностей FLASH не решало поставленную задачу, так как не поддавалось достаточной модификации по всем заявленным позициям: слишком толстые сечения, вызывающие «замыливание» контуров вследствие артефактов частичного объема, и отсутствие возможности покрытия срезами всей области за одну задержку дыхания.

Рисунок. 4. Достоинства T2 TSE BLADE FS 3мм

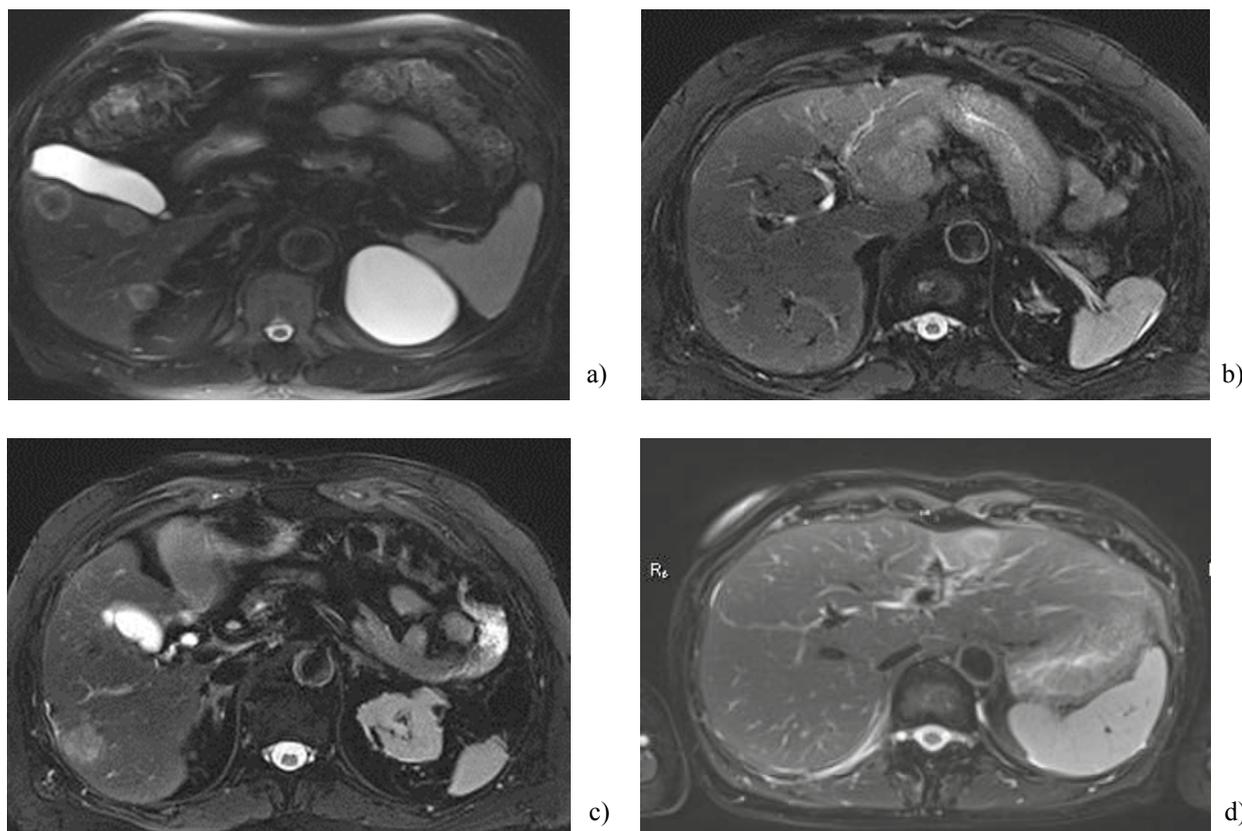


Рис. 4 (a-d). T2 tra TSE BLADE FS 3мм образования в печени.

Импульсная последовательность T2 TSE BLADE FS выполняется на свободном дыхании, обладает высокой анатомической контрастностью, предоставляет исчерпывающую информацию о локализации, структуре, контуре и взаимодействии мишени с критическими структурами. Для сохранения высокой разрешающей способности используется методика расчета TR по дыхательному циклу пациента.

Поэтому в качестве основной использовалась трехмерная последовательность VIBE в режиме DIXON — со сбором сигнала в фазе и противофазе за один проход и возможностью дальнейшего вычисления томограмм Water Image — с подавлением сигнала от жировой ткани. Использование VIBE позволило применить минимальную толщину сканирования — 1,5мм с полным покрытием печени за одну задержку дыхания; длительность последовательности при этом составила 20 секунд. Экспериментальные результаты при сканировании в T2-взвешенном режиме выявили непригодность использования последовательности TurboSpinEcho с задержкой дыхания по тем же причинам, что и FLASH. Поэтому для данного протокола мы применили минимальную толщину среза 3мм, алгоритм сканирования на свободном дыхании с триггером, обеспечивающим синхронизацию цикла дыхания и сбора данных, и дополнительным режимом компенсации динамических артефактов BLADE, дополнив его жироподавлением (FS).

Для достижения толщины среза 2мм использовалась последовательность SPACE. Лимитом ее использования явилось достаточное длительное время сканирования (от 3 до 5 минут) — эта проблема была решена использованием возможности сканирования на свободном дыхании по ретроспективному типу. Совокупной причиной этого фактора и тонких срезов является неполное покрытие печени срезами, что позволяло ее использовать только прицельно.

В ходе применения усовершенствованной методики МРТ для сбора анатомо-топографических данных для планирования СтЛТ были выявлены достоинства и недостатки протоколов высокого разрешения. Достоинства протокола T1 VIBE DIXON: выполняется в условиях идентичным КТ, толщина среза 1,5мм, длительность 20сек, четкая визуализация контура опухоли и меток, возможность использования в трех плоскостях, выбор одной из трех серий для совмещения данных, высокая устойчивость к динамическим артефактам.

Рисунок 5. Достоинства T1 VIBE DIXION

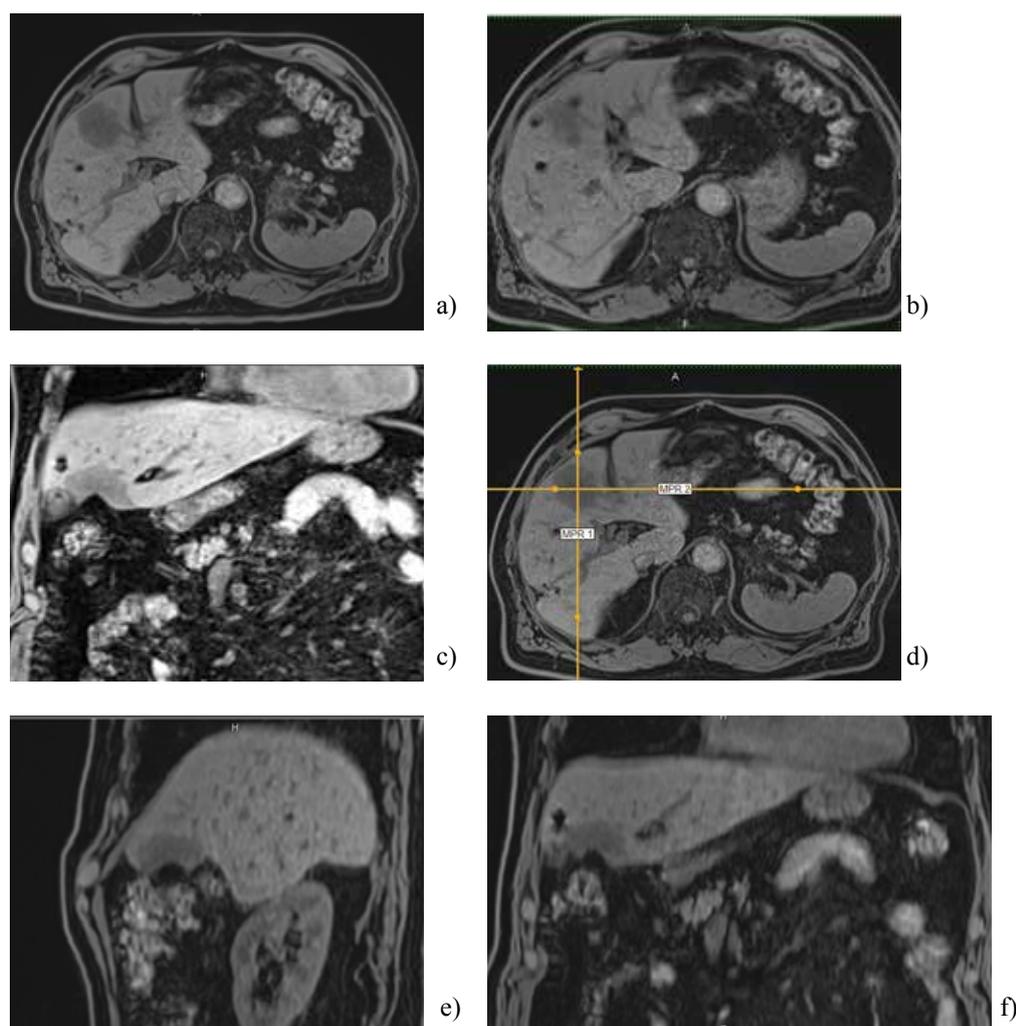


Рис. 5 (a-f). T1 VIBE DIXION 1,5 мм, образование в печени.

a, b) T1 tra off phase+FS;

c) T1 cor off phase+FS; d) T1 tra off phase+FS в режиме MPR;

e) реконструкция Sag; f) реконструкция Cor.

Импульсная последовательность T1 VIBE DIXION обеспечивает четкую визуализацию контура мишени (a), меток в паренхиме печени (b), при необходимости возможность сканирования в дополнительной плоскости (c), обеспечивает перестроение в 3 плоскостях в режиме MPR (d, e, f).

T2 SPACE: достоинства — высокая анатомическая контрастность, возможность детальной оценки морфологических изменений в опухоли; недостатки — высокая чувствительность к динамическим артефактам, относительно длительное время сбора данных.

Для решения этой проблемы использовалась методика расчета TR (времени повторения импульсов) в зависимости от индивидуальных значений дыхательного цикла пациента. Для этого перед первой программой на свободном дыхании выполнялся протокол, несущий функцию скаута. Он позволял получить значение цикла дыхания (Trigger

period) и вычислить необходимое значение TR для программы сбора данных. Вычисление производилось вручную как  $TR = (\text{Trigger Period}/2) - 10\%$ . Полученное значение в миллисекундах вводилось в поле TR протокола сканирования.

С помощью данной методики был выполнен сбор анатомо-топографических данных для планирования СтЛТ у 15 пациентов с метастазами в печени. Средний возраст пациентов составил 52 года (от 43 до 72 лет). У каждого пациента были выявлены от 1 до 3 метастатических очагов в печени размером от 1,0 до 3,5 см в диаметре. Общее количество метастазов — 20.

Рисунок 6. Достоинства и недостатки T2 SPACE

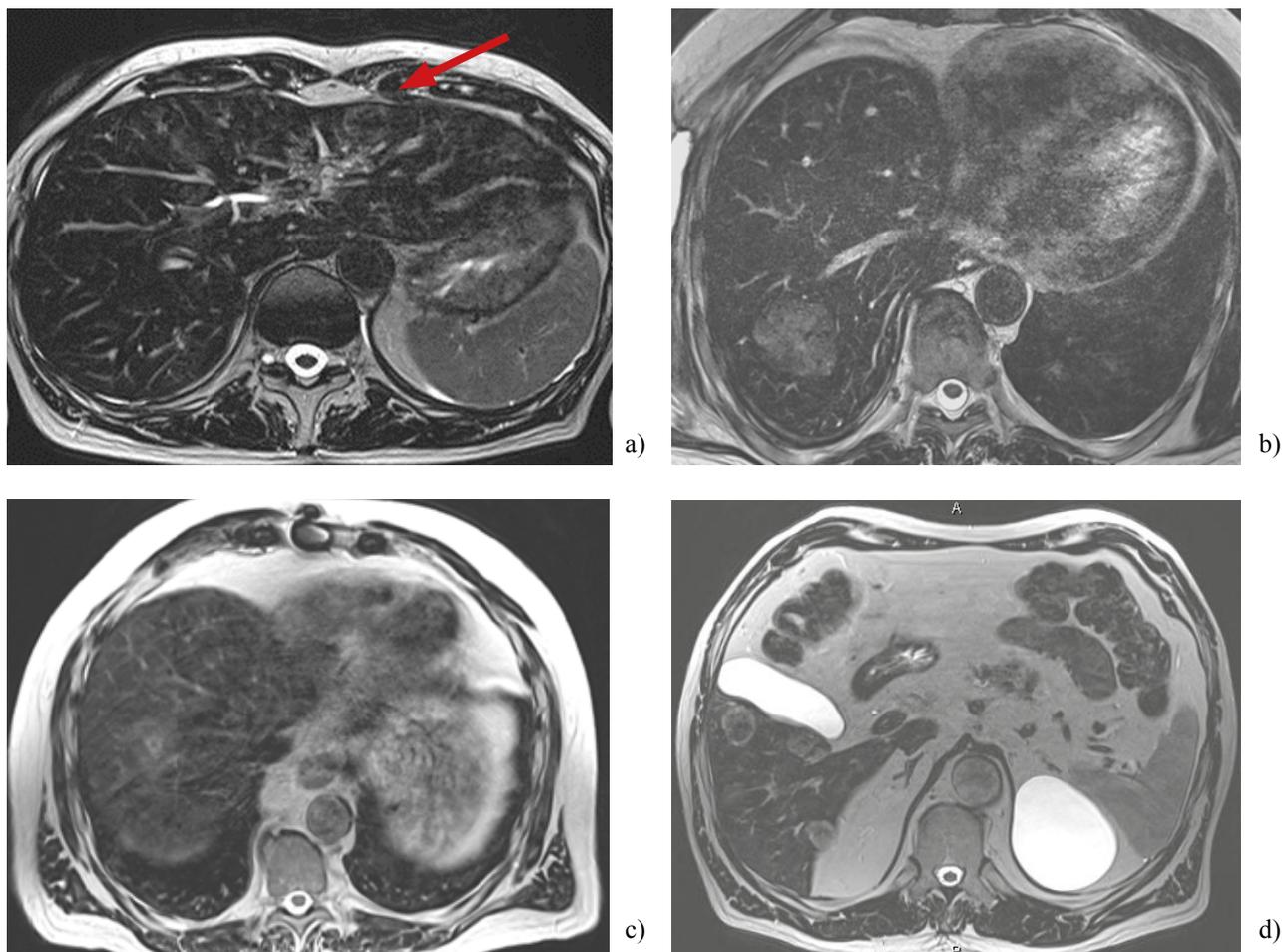


Рис. 6 (a-d). T2 tra SPACE 2мм образования в печени.

Импульсная последовательность SPACE выполняется на свободном дыхании, сбор данных осуществляется по ретроспективному типу, обладает высокой анатомической контрастностью, предоставляет исчерпывающую информацию о локализации, структуре, контуре и взаимодействии мишени с критическими структурами (a, b, d). Высококочувствительна к динамическим артефактам (c).

В ходе совмещения полученных МР и КТ-томограмм на станции планирования во всех наблюдениях было отмечено точное и четкое совмещение костных, мягкотканых структур и внутренних органов. Четкая визуализация контура мишени на МР-томограммах позволила максимально точно определить GTV для выбора объема облучения.

**Обсуждение:**

Исследование органов брюшной полости выполнялось на выдохе с задержкой дыхания до 20 сек. Это не простая задача не только для онкологических пациентов, но и для пациентов с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы и легких. Качество сбора МР-данных напрямую зависит от возможности задержки дыхания. Используемая нами методика МРТ для планирования СтЛТ позволила минимизировать дыхательную

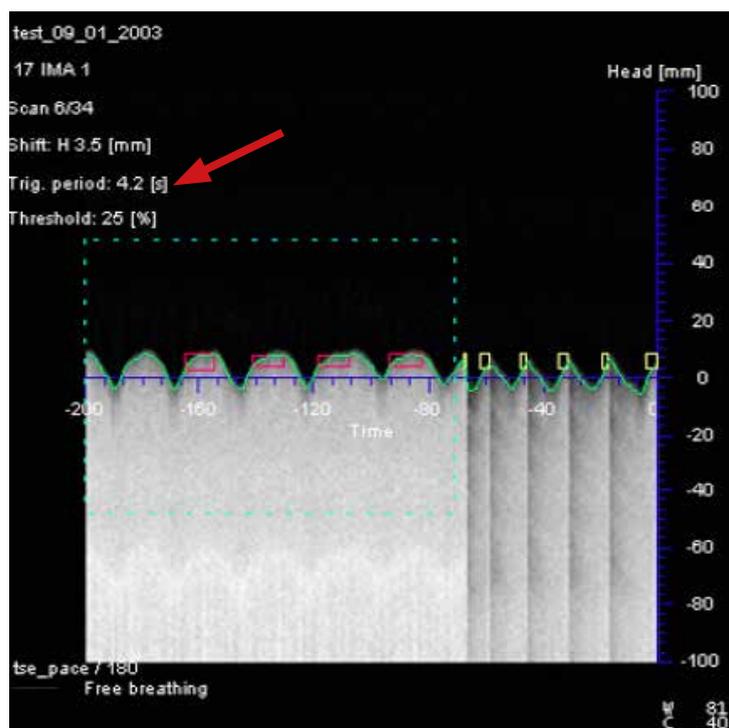
нагрузку на пациента, сохранить высокое качество сбора данных на протяжении всего исследования, снизить общее время сканирования.

Применение данной методики позволяет максимально точно оценить локализацию, структуру, контур, размеры, конфигурацию, морфологические изменения в опухоли (некроз, фиброз, кистозная дегенерация), взаимодействие опухоли с окружающими структурами, визуализировать метки в ткани печени.

Используемая толщина среза и импульсные последовательности обеспечивают высокое пространственное разрешение, четкую визуализацию контура опухоли, отсутствие технических трудностей при совмещении КТ и МРТ-томограмм для более точного выбора объема облучения.

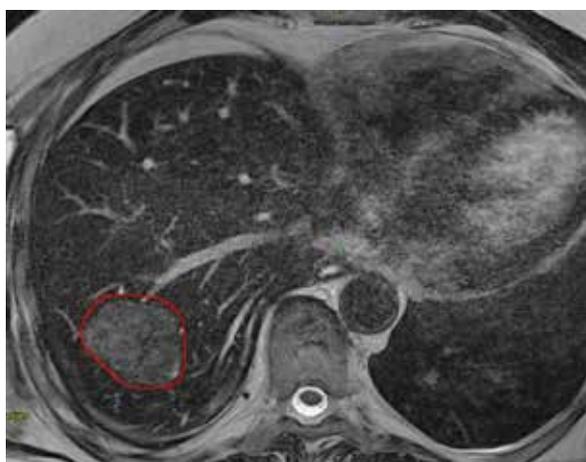
Включение импульсных последовательностей T1 VIBE DIXION 1,5мм, T2 SPACE 2 мм, DWI

Рисунок 7. Пример расчета TR для SPACE и TSE BLADE FS по дыхательному циклу пациента



$$TR = (\text{Trigger Period} / 2) - 10\% = (4,2 / 2) - 0,21 = 1,89 \text{сек} = 1890 \text{мсек}$$

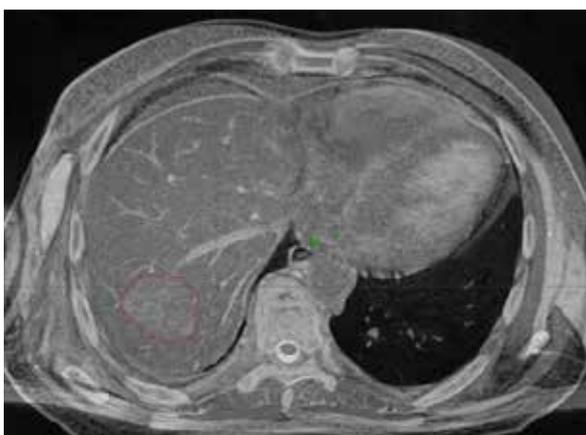
Рисунок 7. Совмещение анатомо-топографических КТ и МР-томограмм для планирования СтЛТ



a)



b)



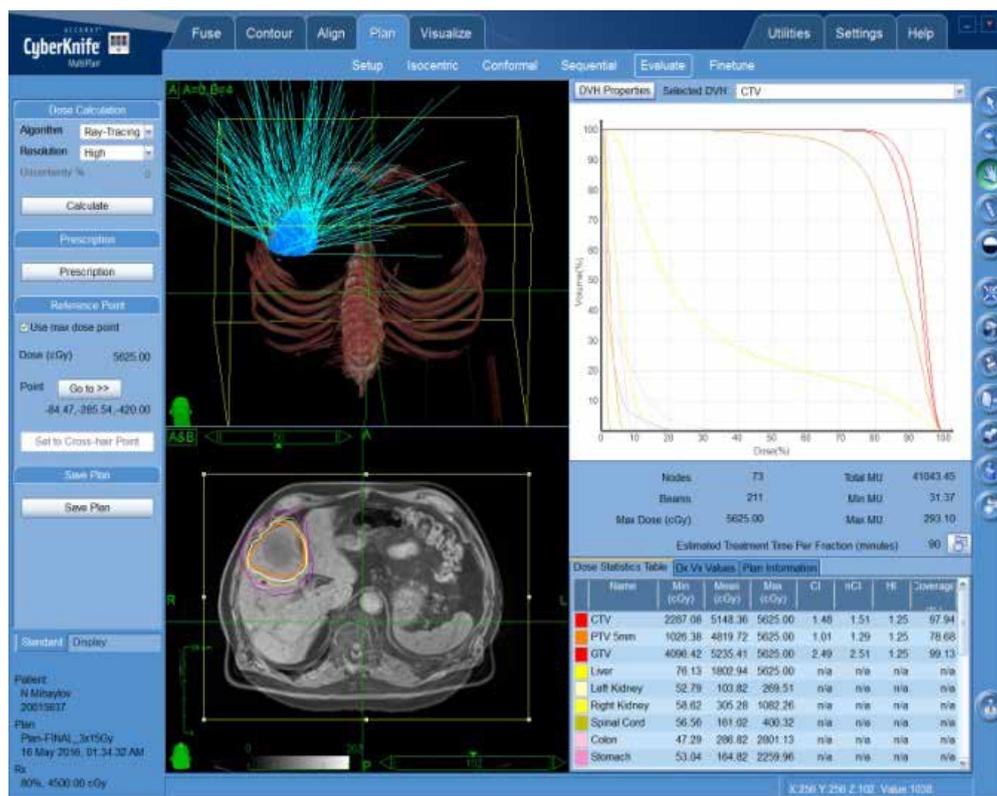
c)

a) T2 tra SPACE 2мм; b) CT tra 1,5мм postcontr венозная фаза;

c) совмещение (FUSION) КТ и МР-данных, оконтуривание мишени (расчет GTV).

Для совмещения МР и КТ-томограмм на станции планирования были выбраны томограммы с максимально четко визуализируемым контуром мишени T2 SPACE 2мм (a) и КТ ven 1,5мм (b). После совмещения данных (c) обратите внимание на точное и четкое совмещение костных, мягкотканых структур и внутренних органов. Четкая визуализация контура мишени упрощает и повышает точность определения GTV.

Рисунок 9. Оконтурирование мишени, расчет объема облучения, моделирование процесса радиотерапии



(ADC), T2 TSE BLADE FS 3мм в алгоритм MPT для исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства при оценке эффективности стереотаксической лучевой терапии у больных с метастазами в печени позволит применить мультипараметрический подход при разработке комбинированных критериев оценки опухолевого ответа на проведенное лечение.

Использование стандартизированного МР-протокола при сборе анатомо-топографических данных для планирования СтЛТ и в оценке результатов лечения позволит достоверно сравнивать между собой данные различных исследований в рамках одного метода визуализации независимо от того, где и когда было выполнено то или иное исследование.

**Выводы:**

Оптимизация протоколов при МР-исследовании для сбора анатомо-топографических данных позволило повысить их информативность и диагностическую ценность для планирования СтЛТ у больных с метастазами в печени.

**Конфликт интересов / Conflict of interest**

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

**Список литературы / References**

1. Davydov MI, Maksimovich DI, Zaridze DG. The dynamics of morbidity and mortality from malignant neoplasms in Russia. Bulletin of NN BlokhIn Russian Cancer Research Center RAMS. 2015; 26(Supplement): 1. In Russian [Давыдов М.И., Максимович Д.И., Заридзе Д.Г. Динамика заболеваемости и смертности от злокачественных новообразований в России. Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина РАМН. 2015; 26(Допол 1):1].
2. LeGolvan MP, Resnick M. Pathobiology of colorectal cancer hepatic metastases with an emphasis on prognostic factors. J. Surg. Oncol. 2010; 102: 898-908.
3. Patiutko YuI, Chuchuev ES, Podluzhnyy DV, et al. SURGICAL TACTICS FOR COLORECTAL CANCER WITH SYNCHRONOUS LIVER METASTASES. Colorectal Oncology. 2011; 2:13-20. In Russian [Патютко Ю.И., Чучуев Е.С., Подлужный Д.В и др. Хирургическая тактика в лечении колоректального рака с синхронными метастазами в печень. Онкологическая колопроктология. 2011;2:13-20].
4. Poliakov AN, Podluzhnyy DV, Mamontov KG, et al. Combined treatment of colorectal cancer patients with liver metastases. Pharmateka. 2012; 18:42-49. In Russian [Поляков А.Н., Подлужный Д.В., Мамонтов К.Г и др. Комбинированное лечение больных колоректальным раком с метастатическим поражением печени. Фарматека. 2012;18:42-49].
5. Weichselbaum RR, Hellman S. Oligometastases revisited. Nat Rev Clin Oncol.2011;8(6): 378-382.
6. Mamontov KG, Patiutko YuI, Kotelnikov AG, et al. Medical tactics at metastases of colorectal cancer in the liver with unfavorable prognosis. Annals of Surgical Hepatology.

- 2014;19(4):11-20. In Russian [Мамонтов К.Г., Патютко Ю.И., Котельников А.Г и др. Лечебная тактика при метастазах колоректального рака в печени с неблагоприятным прогнозом. *Анналы хирургической гепатологии*. 2014;19(4):11-20].
7. Vozdvizhenskiy MO. Multimodal treatment of primary unresectable liver metastases of colorectal cancer: 5 years of observations. In the collection: New technologies in oncology. Information package of the annual scientific and practical conference. 2014: 30-31. In Russian [Воздвиженский М.О. Мультимодальное лечение первично нерезектабельных метастазов в печень колоректального рака: 5 лет наблюдений. *Новые технологии в онкологии*. Сборник материалов ежегодной научно-практической конференции. 2014: 30-31].
8. Isoniemi H, Osterlund P. Surgery combined with oncological treatments in liver metastases from colorectal cancer. *Scand J Surg*. 2011;100(1):35-41.
9. Kosyrev VYu, Dolgushin BI. Radiofrequency thermal ablation in the treatment of patients with hepatocellular cancer and metastatic colorectal cancer in the liver. *The Medical Radiology and Radiation Safety Journal*. 2011;56(3):54-61. In Russian [Косырев В.Ю., Долгушин Б.И. Радиочастотная термоабляция в лечении больных с гепатоцеллюлярным раком и метастазами колоректального рака в печени. *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2011;56(3):54-61].
10. Kit OI, Gevorkian YuA, Kolesnikov VE, et al. Minimally invasive technologies in treatment of colorectal cancer with liver metastases. *Coloproctology*. 2012; 2:17-20. In Russian [Кит О.И., Геворкян Ю.А., Колесников В.Е и др. Малоинвазивные технологии в комплексном лечении колоректального рака с метастазами в печень. *Колопроктология*. 2012; 2:17-20].
11. Grebenkin YeN, Chkhikvadze VD, Stanoevich US, Dekhissi YeI. Modern treatment methods of patients with liver metastases of colorectal cancer. *Russian journal of gastroenterology, hepatology, coloproctology*. 2013; 3:28-32. In Russian [Гребенкин Е.Н., Чхиквадзе В.Д., Станоевич У.С., Дехисси Е.И. Современные методы лечения больных с метастазами колоректального рака в печень. *Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2013; 3: 28-32].
12. Gillams AR, Lees WR. Five-year survival in 309 patients with colorectal liver metastases treated with radiofrequency ablation. *Eur Radiol*. 2009;19(5):1206-1213.
13. Fiorentini G, Aliberti C, Mulazzani L, Coschiera P, Catalano V, Rossi D, Giordani P, Ricci S. Chemoembolization in colorectal liver metastases: the rebirth. *Anticancer Res*. 2014; 34(2):575-584.
14. Tkachev SI, Medvedev SV, Romanov DS et al. The role of the stereotactic radiotherapy in treatment of patients with liver metastases. *Problems in oncology*. 2015; 1:40-44. In Russian [Ткачев С.И., Медведев С.В., Романов Д.С и др. Роль стереотаксической радиотерапии в лечении больных метастатическим поражением печени. *Вопросы онкологии*. 2015;1:40-44].
15. Scorsetti M, Arcangeli S, Tozzi A, et al. Is stereotactic body radiation therapy an attractive option for unresectable liver metastases? A preliminary report from a phase 2 trial. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2013;86(2):336-342.
16. Dawson LA, Normolle D, Balter JM, McGinn CJ, Lawrence TS, Ten Haken RK. Analysis of radiation-induced liver disease using the Lyman NTCP model. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2002;53(4):810-821.
17. Matiakin GG, Chuprik-Malinovskaya TP, Nasnikova IYu, Emel'yanov IV. Modern possibilities of the radiation therapy in oncology. *Kremlin medicine. Clinical Journal*. 2011;1:47-51. In Russian [Матякин Г.Г., Чуприк-Малиновская Т.П., Насникова И.Ю., Емельянов И.В. Современные возможности лучевой терапии в онкологии. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2011;1:47-51].
18. Høyer M, Swaminath A, Bydder S, et al. Radiotherapy for liver metastases: a review of evidence. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2012;82(3):1047-1057.
19. Rusthoven KE, Kavanagh BD, Burri SH, et al. Multi-institutional phase I/II trial of stereotactic body radiation therapy for lung metastases. *J Clin Oncol*. 2009;27(10):1579-1584.
20. Tkachev SI, Patyutko YuI, Medvedev SV, et al. The Efficiency of Stereotaxic Radiotherapy in Patients with Liver Metastases. *Annals of surgical hepatology*. 2016; 21(1):38-43. In Russian [Ткачев С.И., Патютко Ю.И., Медведев С.В и др. Эффективность стереотаксической лучевой терапии у больных с метастатическим поражением печени. *Анналы хирургической гепатологии*. 2016;21(1):38-43].
21. Vorob'ev NA, Andreev GI, Kalesnik AM, et al. Early results of stereotactic radiotherapy in patients with liver metastases. *Russian journal of oncology*. 2014;19(4):22-27. In Russian [Воробьев Н.А., Андреев Г.И., Калесник А.М и др. Ранние результаты применения стереотаксической лучевой терапии у пациентов с метастатическим поражением печени. *Российский онкологический журнал*. 2014;19(4):22-27].
22. Scorsetti M, Clerici E, Comito T. Stereotactic body radiation therapy for liver metastases. *J Gastrointest Oncol*. 2014;5(3):190-197.
23. Goodman KA, Wiegner EA, Maturen KE, et al. Dose-escalation study of single-fraction stereotactic body radiotherapy for liver malignancies. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;78(2):486-493.
24. Lee MT, Kim JJ, Dinniwell R, et al. Phase I study of individualized stereotactic body radiotherapy of liver metastases. *J Clin Oncol*. 2009; 27 (10):1585-1591.
25. Alongi F, Arcangeli S, Filippi AR, et al. Review and uses of stereotactic body radiation therapy for oligometastases. *Oncologist*. 2012;17:1100-1107.
26. Berber B, Ibarra R, Snyder L, et al. Multicentre results of stereotactic body radiotherapy for secondary liver tumours. *HPB (Oxford)*. 2013; 15(11):851-857.
27. Trufanov GE, Asaturyan MA, Zharinov GM. Radiotherapy. M.:GEOTAR-Media, 2007. p. 200. In Russian. [Труфанов Г.Е., Асатурян М.А., Жаринов Г.М. Лучевая терапия. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. с. 200].
28. Sahgal A, Roberge D, Schellenberg D, et al. The Canadian Association of Radiation Oncology scope of practice guidelines for lung, liver and spine stereotactic body radiotherapy. *Clin Oncol (R Coll Radiol)*. 2012; 24(9):629-639.
29. Trofimova OP, Tkachev SI, Yuryeva TV. Past and present of radiotherapy in management of malignancies. *Oncohematology*. 2013;6(4):355-364. In Russian. [Трофимова О.П., Ткачев С.И., Юрьева Т.В. Прошлое и настоящее лучевой терапии в онкологии. *Клиническая онкогематология*. 2013;6(4):355-364].

30. Niekel MC, Bipat S, Stoker J. Diagnostic imaging of colorectal liver metastases with CT, MR imaging, FDG PET, and/or FDG PET/CT: a meta-analysis of prospective studies including patients who have not previously undergone treatment. *Radiology*. 2010; 257(3):674-684.
31. Tkachev SI, Nechushkin MI, Yuryeva TV. Current potentialities of radiotherapy for malignant tumors. In: Bull. of RAMS. Vestnik RAMN = Bulletin of Russian Academy of Medical Science. 2011; 12:34-40. In Russian. [Ткачев С.И., Нечушкин М.И., Юрьева Т.В. Современные возможности лучевой терапии злокачественных опухолей. Вестник РАМН. 2011;12:34-40].
32. Yuryeva TV, Ratner TG., Sakharovskaya VG. Assessment of quality of X-ray simulator with computed tomography function. Coll. of materials of 3rd Eurasian congress on medical physics and engineering "Medical physics — 2010". М., 2010;2:343-345. In Russian. [Юрьева Т.В., Ратнер Т.Г., Сахаровская В.Г. Оценка качества рентгеновского симулятора с функцией компьютерной томографии. Сб. мат-лов III Евразийского конгресса по медицинской физике и инженерии «Медицинская физика — 2010». М., 2010;2:343-345].
33. Artemova NA, Minaylo II, Strakh AG, et al. Three-dimensional planning in radiotherapy. *Med. Novosti=Medical news*. 2005;11:5-10. In Russian [Артемова Н.А., Минайло И.И., Страх А.Г. Объемное планирование лучевой терапии. Мед. новости 2005;11:5-10].
34. Pre-irradiation preparation using three dimensional planning. In: Quality control in radiotherapy and radiologic diagnosis. Minsk. 2009: 261-270. [Артемова Н.А., Минайло И.И., Страх А.Г. Предлучевая подготовка с использованием объемного планирования. В сб.: Контроль качества лучевой терапии и лучевой диагностики. Минск. 2009:261-270].
35. Minailo II, Artemova NA. Modern high-tech radiation therapy. *Ukrainian radiological journal*. 2013; 21:212-216. [Минайло И.И., Артемова Н.А. Современная высокотехнологичная лучевая терапия. Украинский радиологический журнал. 2013;21:212-216].
36. ACR—ASTRO practice parameter for the performance of stereotactic body radiation therapy. Revised 2014.
37. Ambrosino G, Polistina F, Costantin G, et al. Image-guided robotic stereotactic radiosurgery for unresectable liver metastases: preliminary results. *Anticancer Res*. 2009;29(8):3381-3384.
38. Koyama T, Fujimoto K, Togashi K. The Clinical Advantages of T2-weighted MR Imaging in the Female Pelvis with syngo BLADE. *Magnetom Flash*. 2007; 3(Clinical): 60-62.
39. Saremi F, Schultze-Haakh H. Characterization of Genitourinary Lesions Using Diffusion-Weighted Imaging at 3T MRI. *Magnetom Flash*. 2009; 2(Clinical): 20-25.
40. Kim BS, Kim JH, Choi GM, et al. Comparison of three free-breathing T2-weighted MRI sequences in the evaluation of focal liver lesions. *AJR Am J Roentgenol*. 2008;190(1):W19-27.
41. Klessen C, Asbach P, Kroencke TJ, et al. Magnetic resonance imaging of the upper abdomen using a free-breathing T2-weighted turbo spin echo sequence with navigator triggered prospective acquisition correction. *J Magn Reson Imaging*. 2005; 21(5):576-82.
42. Vasanawala SS. MRI of the liver—how to do it. *Pediatr Radiol*. 2010;40(4):431-437.
43. Salem KA. Motion Correction for MR Imaging. Siemens Medical Solutions. 2005.
44. Morita S, Ueno E, Masukawa A, et al. Comparison of SPACE and 3D TSE MRCP at 1.5T focusing on difference in echo spacing. *Magn Reson Med Sci*. 2009;8(3):101-105.

#### Информация об авторах:

Бабий Алексей Петрович, аспирант, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава РФ, врач-рентгенолог отделения МРТ, ООО «ЛДЦ МИБС»;

Куплевацкая Дарья Игоревна, к.м.н., заведующая отделением лучевой диагностики, ООО «ЛДЦ МИБС»;

Труфанов Геннадий Евгеньевич, д.м.н., профессор, заведующий научно-исследовательским отделом лучевой диагностики, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава РФ;

Федоров Артем Витальевич, руководитель отдела технической подготовки персонала ООО «ЛДЦ МИБС»;

Воробьев Николай Александрович, к.м.н., заведующий отделением радиотерапии ООО «ЛДЦ МИБС»;

Черкашин Михаил Александрович, к.м.н., заместитель главного врача, ООО «ЛДЦ МИБС»;

Березина Наталья Александровна, к.м.н., главный врач ООО «ЛДЦ МИБС».

#### Author information:

Alexey P. Babiy, post-graduate student, Almazov National Medical Research Centre, diagnostic radiology physician, Dr. Berezin Medical Institute;

Darya I. Kuplevatskaya, MD, PhD, head of the radiology Department, Dr. Berezin Medical Institute;

Gennady E. Trufanov, MD, PhD, prof., head of research department of radiology Almazov National Medical Research Centre;

Artem V. Fedorov, head of technical training Department, Dr. Berezin Medical Institute;

Nikolay A. Vorobyev, MD, PhD, head of Department of radiotherapy, Dr. Berezin Medical Institute;

Mikhail A. Cherkashin, MD, PhD, deputy chief physician, Dr. Berezin Medical Institute;

Natalia A. Berezina, MD, PhD, head physician, Dr. Berezin Medical Institute.