

## МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНО-ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОРАЖЕНИЯ ЛЁГКИХ ПРИ ЛИМФОМЕ

Хоружик С. А.

Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии  
им. Н. Н. Александрова, а.г. Лесной, Минский район, Беларусь

*Цель:* изучить МРТ-семиотику поражения лёгких и сравнить диагностическую эффективность МРТ, КТ и ПЭТ/КТ при лимфомах.

*Материал и методы.* В исследование включены 314 пациентов с морфологически верифицированной лимфомой, которым до начала лечения выполнили МРТ всего тела и КТ грудной полости и/или ПЭТ/КТ всего тела.

*Результаты.* Частота поражения лёгких составила 14%. Поражение было в виде очагов/образований в 76% случаев, консолидации – 29%, интерстициальных изменений – 9%. Чувствительность, специфичность, точность МРТ составила 85, 96 и 94%, соответственно, эффективность диагностики высокая (AUC 0,901). Не получено статистически значимых различий чувствительности и эффективности МРТ и КТ, МРТ и ПЭТ/КТ.

*Выводы.* МРТ грудной полости является эффективным методом диагностики поражения лёгких при лимфоме и рекомендуется к практическому использованию, особенно у пациентов с вариably фтордезоксиглюкоза-авидными лимфомами, молодого возраста, беременных.

**Ключевые слова:** лимфома Ходжкина, неходжкинская лимфома, лёгкие, магнитно-резонансная томография, позитронная эмиссионная компьютерная томография.

*Для цитирования:* Хоружик С. А. Магнитно-резонансно-томографическая диагностика поражения лёгких при лимфоме // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2020. Т. 18, № 3. С. 292-303. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-292-303>.

### Введение

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) – основной метод лучевой визуализации патологии лёгких ввиду высокой пространственной и временной разрешающей способности, широкой доступности. КТ-сканирование грудной полости на современных сканерах занимает несколько секунд, не требует сложных технических настроек и в большинстве случаев обеспечивает хорошее качество изображений. При лимфомах стандартным методом обследования пациентов на этапе оценки исходной распространенности опухолевого процесса является позитронная эмиссионная томография с фтордезоксиглюкозой (ФДГ), комбинированная с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) [1]. Данный метод сочетает в себе функциональные преимущества ПЭТ, основанные на повышенном метаболизме глюкозы в злокачественных опухолях, и высокую анатомическую детализацию КТ. Вместе с тем информативность ПЭТ/КТ может быть снижена при вариably ФДГ-авидных лимфомах, высоком уровне глюкозы в крови и за счет неспецифического характера накопления ФДГ. Чувствительность ПЭТ/КТ зависит от размера очагов в лёгких и снижается при субсантиметровых очагах [2, 3]. При выборе метода визуализации также необходимо учитывать фактор рентгеновского облучения при КТ, рентгеновского и радиоизотопного – при ПЭТ/КТ [4]. В этой связи актуально изучение информативности нерадиационного метода исследования лёгких – магнитно-резонансной томографии (МРТ).

До недавнего времени МРТ не считали методом выбора при диагностике патологии лёгких, что связано с низким содержанием прото-

нов водорода в лёгочной ткани, двигательными артефактами вследствие дыхания и сердечной пульсации, технической сложности метода. С развитием технологии возможности МРТ расширились, контроль двигательных артефактов стал возможен благодаря синхронизации сбора данных с дыхательным и сердечным циклами. Преимуществами МРТ являются лучшая мягкотканная разрешающая способность, лучшая визуализация жидкостных компонентов, то есть структур с большим содержанием протонов водорода, в том числе очагов, участков консолидации, гематом, ателектаза в лёгких [5]. При лимфомах поражение лёгких означает четвертую стадию заболевания, что оказывает непосредственное влияние на лечение и прогноз. Нами не найдено публикаций, посвященных сравнению возможностей МРТ, КТ и ПЭТ/КТ при диагностике поражения лёгких у пациентов с лимфомой. Имеются публикации, в которых оценивали диагностическую эффективность МРТ при диагностике поражения лёгких наряду с другими экстралимфатическими органами, с небольшим количеством случаев поражения лёгких [6-11].

**Цель исследования** – изучить МРТ-семиотику поражения лёгких при лимфомах и сравнить диагностическую эффективность МРТ, КТ и ПЭТ/КТ.

### Материал и методы

В проспективное исследование включены пациенты с морфологически верифицированной лимфомой, обследовавшиеся и проходившие лечение в РНПЦ ОМР им. Н. Н. Александрова, которым до начала лечения (на этапе стадирования) выполнены МРТ всего тела, а также ПЭТ/КТ всего тела и/или КТ грудной полости. С авгу-

ста 2012 по февраль 2020 гг. МРТ всего тела выполнена 385 пациентам с морфологически верифицированной лимфомой, которым проведено 656 МРТ-исследований всего тела, в том числе 335 – на этапе стадирования. Восемнадцать пациентов не включены в исследование, поскольку у них не выполнены ПЭТ/КТ и КТ грудной полости. Еще три пациента, у которых по результатам проведенного обследования поражение лёгких не исключалось, но не было информации о наблюдении в динамике, исключены как неясные случаи. Таким образом, в исследование включены 314 пациентов. МРТ всего тела и КТ грудной полости выполнены 188 из них, МРТ и ПЭТ/КТ всего тела – 173.

МРТ проводили на томографе Optima 450w (Дженерал Электрик, США) с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл с использованием встроенной катушки для тела. Подготовка пациента к исследованию не требовалась. Уровень сканирования – от основания черепа до средней трети бедра. Положение пациента – лежа на спине, руки вдоль туловища. Используемые импульсные последовательности и их основные технические параметры представлены в таблице 1. Получали T1-взвешенные изображения (ВИ) и STIR (Short Inversion Time Inversion Recovery) в коронарной плоскости, диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) и FIESTA (Fast Imaging Employing Steady State Acquisition) в трансверсальной плоскости. Положение, количество, толщина срезов, расстояние между ними, поле обзора серий T1-ВИ и STIR соответствовали друг другу, как и

серий ДВИ и FIESTA. При диффузионно-взвешенной МРТ использовали факторы диффузии  $b$  0 и 800  $\text{с/мм}^2$ , строили карты измеряемого коэффициента диффузии (ИКД). Общее время сканирования в зависимости от роста пациента составляло 34-40 минут. После сканирования проводили программное слияние серий изображений на отдельных анатомических уровнях в серии изображений всего тела, используя программное обеспечение рабочей станции Advantage Workstation 4.5 (Дженерал Электрик, США). Подробнее о методике постобработки изображений можно прочитать в нашей предыдущей публикации [11]. Во второй части исследования (с октября 2015 г.) с целью улучшения визуализации изменений в паренхиме лёгких к программе МРТ сканирования добавили T2-ВИ с респираторным триггером (T2 RTr, выполнено 185 пациентам, 59%), что увеличило время сканирования на 3-5 минут.

Для проведения КТ грудной полости использовали сканеры SOMATOM Definition AS (Сименс, Германия), Discovery CT750 HD, Optima CT660 (Дженерал Электрик, США) с количеством рядов детекторов 40, 64 и 64, соответственно. Сканирование проводили при задержке дыхания на глубине вдоха. У 54 (29%) из 188 пациентов КТ выполнена с внутривенным болюсным контрастированием. Толщина реконструированных срезов составляла 1,25-5 мм.

Подготовку пациента к ПЭТ/КТ-исследованию проводили в соответствии с принятой в нашем учреждении методикой, включая ограни-

**Таблица 1.** – Импульсные последовательности и технические параметры сканирования при МРТ всего тела

**Table 1.** – Pulse sequences and scanning technical parameters for whole body MRI

| Параметр                                        | Импульсные последовательности              |             |                 |           |                          |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------|-----------------|-----------|--------------------------|
|                                                 | T1-ВИ                                      | STIR        | ДВИ             | FIESTA    | T2 FSE                   |
| Уровень сканирования                            | От основания черепа до средней трети бедра |             |                 |           | Грудная полость          |
| Катушка                                         | Встроенная для тела BODY                   |             |                 |           | 8-канальная для тела     |
| Дыхание                                         | Свободное                                  |             |                 |           | Респираторный триггеринг |
| Плоскость                                       | Коронарная                                 |             | Трансверсальная |           |                          |
| TR/TE/TI, мсек                                  | 534/8,5/-                                  | 3400/33/145 | 4000/67/180     | 4,4/2/200 | Вариабельно/91,8/-       |
| Фактор диффузии $b$ , $\text{с/мм}^2$           | -                                          | -           | 0 и 800         | -         | -                        |
| Полоса пропускания, кГц                         | 41,7                                       | 62,5        | 250             | 62,5      | 41,7                     |
| Подавление жира                                 | нет                                        | да          | да              | да        | да                       |
| Толщина/расстояние между срезами, мм            | 7/2                                        | 7/2         | 5/1             | 5/1       | 6/1                      |
| Количество срезов в уровне сканирования         | 26                                         | 26          | 28-42           | 28-42     | Вариабельно              |
| Количество уровней сканирования                 | 2                                          | 2           | 5-6             | 5-6       | 1                        |
| Поле обзора, $\text{мм}^2$                      | 500×500                                    | 500×500     | 480×432         | 480×432   | 400×320                  |
| Матрица                                         | 384×192                                    | 320×224     | 80×128          | 224×320   | 320×256                  |
| Число повторений                                | 3                                          | 2           | 6               | 1         | 4                        |
| Длительность сканирования уровня, минут: секунд | 2:38                                       | 3:24        | 3:20-5:00       | 0:41-0:61 | Вариабельно              |
| Общая длительность сканирования, минут: секунд  | 5:16                                       | 6:48        | 18:20-23:20     | 3:45-4:46 |                          |

Примечание – TR – время повторения, TE – время эха, TI – время инверсии, FSE – Fast Spin-Echo

чение приема пищи на протяжении не менее 4 часов и физической активности на протяжении суток перед исследованием. Уровень глюкозы в крови перед началом сканирования не должен превышать 8 ммоль/л. Непосредственно перед началом сканирования пациент отдыхал в неподвижном положении на протяжении одного часа. Для проведения ПЭТ/КТ использовали сканеры Discovery 710 и Discovery IQ (Дженерал Электрик, США). Сканер Discovery 710 включает 64-рядный КТ-сканер, Discovery IQ – 16-рядный. Зона сканирования – от орбитомеатальной линии до средней трети бедер на 7-9 последовательных уровнях, количество которых зависело от роста пациента. Время сканирования одного уровня составляло 2-3 минуты, общее время сканирования – 15-30 минут, из которых ПЭТ – 14-27 минут. ПЭТ-сканирование осуществляли в трехмерном режиме, для реконструкции изображений использовали итерационный алгоритм, толщина срезов 3,27 мм. У 120 (69%) из 173 пациентов низкодозную КТ, используемую для коррекции аттенуации, дополнили КТ со стандартными параметрами дозы облучения и внутривенным болюсным контрастированием. КТ-изображения реконструировали с толщиной срезов 2,5 мм, грудной полости – дополнительно с толщиной 1,25 мм. ПЭТ и КТ-сканирование осуществляли при свободном неглубоком дыхании.

Исследования МРТ, ПЭТ/КТ и КТ проспективно интерпретировали разные врачи независимо друг от друга, без знания результатов других методов лучевой диагностики. В соответствии со стандартизированной номенклатурой поражения лёгких разделяли на очаги/образования, консолидацию (включая уплотнение по типу матового стекла) и интерстициальные изменения [12]. Переход опухоли на лёгкое из поражённых лимфатических узлов (ЛУ) средостения или корня лёгкого не считали признаком самостоятельного поражения лёгкого, поскольку такой переход в классификации Лугано обозначается символом E и не повышает стадию лимфомы [1]. По количеству выделяли одиночное поражение, единичные (от 2 до 5) и множественные (более 5) поражения. После установления стандарта диагностики виды и количество поражений определяли при КТ, поскольку чувствительность метода составила 100%. Сравнили классификацию поражений при КТ и МРТ. Измеряли максимальный размер поражения, при наличии у пациента более одного поражения – размер наибольшего из них. При МРТ определили частоту поражения ЛУ средостения, ЛУ корней лёгких, перехода опухоли на лёгкое из поражённых ЛУ средостения или корней лёгких, ателектаза, плеврита, частоту распада в поражении лёгкого. МРТ-ДВИ критерии поражения ЛУ описаны в наших предыдущих публикациях [10, 11]. Признаком перехода опухоли из ЛУ на лёгкое считали неровный, тяжистый контур между ними. Плевритом считали наличие в полости плевры слоя жидкости толщиной не менее 5 мм. Проводили

визуальную оценку карт ИКД, сравнивая интенсивность сигнала поражений лёгких с праспинальными мышцами. На картах ИКД оценивали поражения размером более 1 см, поскольку толщина срезов составляла 5 мм, расстояние между срезами – 1 мм. Интенсивность сигнала ниже сигнала мышц при лимфоме считают признаком поражения [13, 14].

Использовали следующие критерии диагностики поражения лёгких при КТ и МРТ: очаги, образования, участки консолидации или интерстициальные изменения, не характерные для воспалительных и других явно доброкачественных изменений (например кальцинированные очаги при КТ). При интерпретации исследований ПЭТ/КТ применяли наиболее часто используемые в публикациях, посвященных лимфомам, критерии поражения экстралимфатических органов (критерии 1): накопление ФДГ выше окружающего фона нефизиологического и недоброкачественного характера [6, 7]. С учетом литературных данных о недостаточной эффективности метаболических ПЭТ-критериев диагностики субсантиметровых поражений лёгких у пациентов со злокачественными опухолями [2, 3], нами исследована эффективность дополнительных критериев, учитывающих размер поражений (критерии 2): очаги размером  $\leq 1$  см, кроме имеющих явные признаки доброкачественности (например кальцинированные), считали поражением независимо от накопления ФДГ; очаги  $> 1$  см считали поражением при накоплении ФДГ выше окружающего фона. В сложных случаях, например при дифференциальной диагностике поражения и пневмонии, использовали пороговое значение стандартизованного показателя накопления (СПН) ФДГ 2,5 [15].

Для установления стандарта диагностики поражения лёгких, при отсутствии морфологической верификации, для очагов размером  $\leq 1$  см использовали наблюдение в динамике (увеличение или уменьшение при КТ в процессе лечения). Очаги размером  $> 1$  см считали поражением при совпадении данных используемых методов диагностики, а при их расхождении применяли наблюдение в динамике.

Статистическую обработку данных проводили в программах Microsoft Excel 2007, SPSS 20.0, MedCalc 12.5. Для сравнения частоты признака в независимых группах использовали критерий хи-квадрат, при количестве наблюдений менее пяти – точный критерий Фишера. Рассчитывали показатели эффективности МРТ, в том числе отдельных импульсных последовательностей, КТ и ПЭТ/КТ: чувствительность, специфичность, точность, положительное прогностическое значение (ППЗ), отрицательное прогностическое значение (ОПЗ). Изображения T1-ВИ и STIR оценивали совместно при их синхронном просмотре. Аналогично, ДВИ и карты ИКД просматривали синхронно и оценивали в комплексе. Таким образом, сравнивали эффективность четырех групп импульсных последовательностей



**Таблица 2.** – Клиническая характеристика 314 пациентов с лимфомой  
**Table 2.** – Clinical characteristics of 314 patients with lymphoma

| Параметр                                 | Значение                |
|------------------------------------------|-------------------------|
| Возраст средний $\pm$ SD (интервал), лет | 45,4 $\pm$ 16,9 (18-80) |
| Пол мужской/женский, n                   | 160/154                 |
| Вид лимфомы ЛХ/НХЛ, n                    | 141/173                 |
| Морфологические варианты ЛХ, n:          |                         |
| Нодулярный склероз                       | 96                      |
| Смешанно-клеточная                       | 28                      |
| Лимфоидное преобладание                  | 5                       |
| Нодулярный тип лимфоидного преобладания  | 4                       |
| Не установлен                            | 4                       |
| Классическая (вариант не установлен)     | 3                       |
| Лимфоидное истощение                     | 1                       |
| Морфологические варианты НХЛ, n:         |                         |
| Диффузная В-крупноклеточная              | 83                      |
| Из клеток мантийной зоны                 | 35                      |
| Из клеток маргинальной зоны              | 15                      |
| Мелкоклеточная лимфоцитарная             | 13                      |
| Фолликулярная                            | 12                      |
| Т-клеточная                              | 10                      |
| В-клеточная (вариант не уточнен)         | 4                       |
| Лимфоплазмочитарная                      | 1                       |
| Стадия лимфомы, n:                       |                         |
| I                                        | 7                       |
| II                                       | 108                     |
| III                                      | 47                      |
| IV                                       | 152                     |

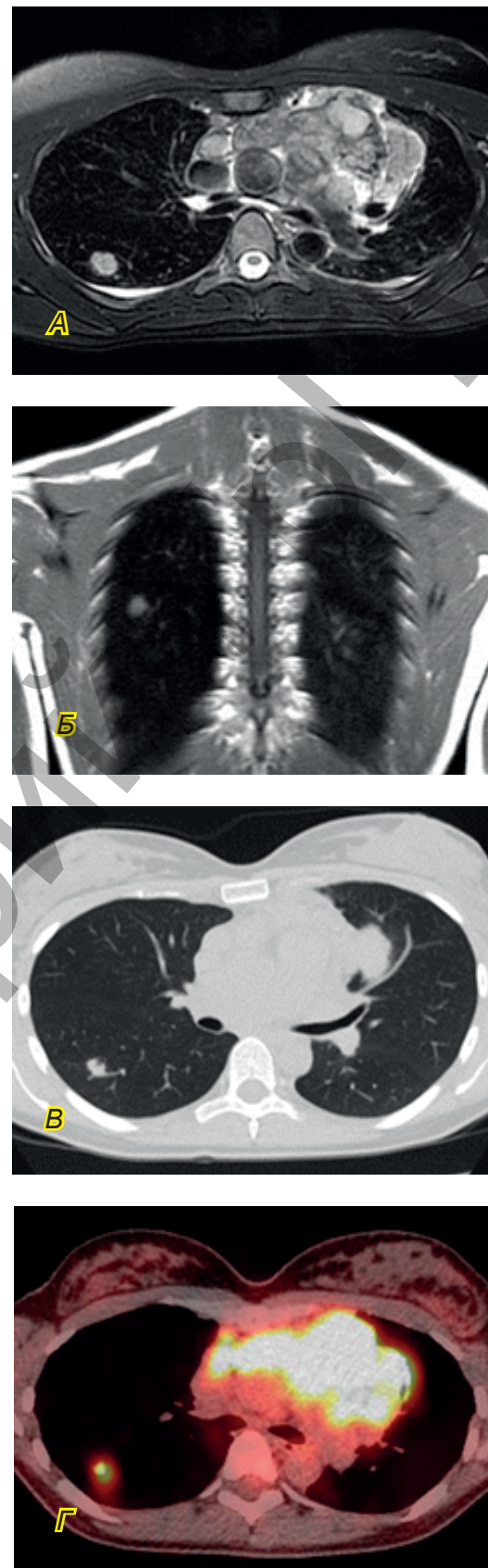
Примечание — SD — стандартное отклонение, n — количество пациентов

MPT: T1-ВИ и STIR, FIESTA, ДВИ и карты ИКД, T2 RT. Для сравнения диагностической чувствительности использовали тест МакНемара с поправкой Эдвардса, для интегральной оценки диагностической эффективности методов — анализ характеристических кривых (ROC) со сравнением показателя площади под кривой (AUC). Значение AUC 0,5-0,6 соответствует недостаточной диагностической эффективности, 0,6-0,7 — слабой, 0,7-0,8 — средней, 0,8-0,9 — хорошей, 0,9-1,0 — высокой [16]. Для оценки степени согласия методов рассчитывали показатель каппа Коэна (к). Значение к 0,00-0,20 означает слабое согласие, 0,21-0,40 — среднее, 0,41-0,60 — умеренное, 0,61-0,80 — хорошее, 0,81-1,00 — отличное [17]. Различия считали статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

В исследование включены 314 пациентов с морфологически верифицированной лимфомой. Клиническая характеристика пациентов представлена в таблице 2.

Интервал между МРТ и КТ составил в среднем  $10 \pm 15$  дней (медиана 5 дней), между МРТ и ПЭТ/КТ —  $14 \pm 16$  дней (медиана 8 дней). Уровень глюкозы в крови перед началом ПЭТ/КТ сканирования в среднем составил  $5,1 \pm 0,8$  ммоль/л (медиана 5,1 ммоль/л), введенная активность ФДГ



**Рисунок 1.** – Очаговое поражение нижней доли правого лёгкого у пациентки К. 24 лет, с ЛХ (а) T2-ВИ с респираторным триггером, (б) T1-ВИ, (в) КТ, (г) ПЭТ/КТ  
**Figure 1.** – Nodular lesion of the lower lobe of the right lung in patient K., 24 years old with HL. (a) T2-WI with a respiratory triggering, (b) T1-WI, (c) CT, (d) PET/CT

– 296±51 МБк (медиана 287 МБк), время накопления – 62±15 минут (медиана 60 минут).

Характеристика поражений лёгких при лимфоме: частота, виды, количество, размеры, сопутствующие симптомы. Согласно стандарту диагностики, поражение лёгких установлено у 45 (14%) из 314 пациентов. Частота поражения при ЛХ была статистически незначимо выше, чем при НХЛ, у 25 из 141 (18%) и у 20 из 173 (12%) пациентов, соответственно ( $p=0,145$ ). Наиболее частым видом поражения были очаги/образования у 30 пациентов (рис. 1), реже консолидация – у 9 пациентов (рис. 2), в том числе у трех – консолидация по типу матового стекла. У 6 пациентов имелось сочетание разных видов поражения: очаг/образование и консолидация – 2, очаг/образование и интерстициальные изменения – 2, консолидация и интерстициальные изменения – 2. Классификация по видам поражений при МРТ и КТ не различалась. Консолидация по типу матового стекла описана при МРТ в одном из трех случаев, вида консолидации при КТ, в двух других случаях поражение описано при МРТ как обычная консолидация. МРТ у этих 2 пациентов выполнена без Т2-ВИ с респираторным триггером. Таким образом, частота разных видов поражения лёгких у 45 пациентов с лимфомой составила: очаги/образования у 34 (76%) пациентов, консолидация – у 13 (29%), интерстициальные изменения – у 4 (9%).

Одиночные, единичные и множественные поражения лёгких встречались одинаково часто – по 15 (33,3%) пациентов. Классификация количества поражений при КТ и МРТ разошлась в трех случаях: при МРТ выявлены единичные поражения, при КТ – множественные. МРТ у этих 3 пациентов выполнена без Т2-ВИ с респираторным триггером.

Размер выявленных при МРТ поражений составил в среднем 27±26 мм (интервал 6-120 мм), не выявленных – 11±5 мм (интервал 7-20 мм), разница статистически значима ( $p<0,002$ , t-критерий Стьюдента). В 8 из 10 случаев ложно отрицательной МРТ-диагностики размер поражений был ≤10 мм, в двух случаях – по 20 мм. У этих 2 пациентов МРТ выполнена без Т2-ВИ с респираторным триггером.

Частота поражения ЛУ средостения у пациентов с поражением лёгких была статистически значимо выше, чем при отсутствии поражения

лёгких – у 40 из 45 (89%) и 178 из 269 (66%) пациентов, соответственно ( $p<0,003$ ). Частота поражения ЛУ корней лёгких у пациентов с поражением лёгких также статистически значимо выше, чем при отсутствии поражения лёгких – у 30 (67%) и 100 (37%) пациентов, соответственно ( $p<0,0003$ ). Частота перехода опухоли на лёгкое из пораженных ЛУ средостения или корней лёгких у пациентов с поражением лёгких статистически значимо выше, чем при отсутствии поражения лёгких – у 21 (47%) и 27 (10%) пациентов, соответственно ( $p=0,0000$ ). Не получено статистически значимых различий частоты ателектаза и плеврита у пациентов с поражением лёгких и при его отсутствии – у 1 (2,2%) и 4 (1,5%) пациентов, соответственно ( $p=0,54$ ), у 12 (27%) и 41 (15%) пациента, соответственно ( $p=0,083$ ). Распад в поражении лёгкого определялся в 5 (14%) из 35 случаев истинно положительной МРТ-диагностики поражения лёгких. У 10 пациентов с ложноотрицательным результатом МРТ распада в поражении лёгкого по данным КТ и/или ПЭТ/КТ не выявлено.

Диагностическая эффективность МРТ и отдельных импульсных последовательностей. Показатели эффективности МРТ при диагностике поражения лёгких у 314 пациентов, а также в группах без использования импульсной последовательности Т2-ВИ с респираторным триггером (129 пациентов) и с ее использованием (185 пациентов) представлены в таблице 3. Показатели эффективности разных импульсных последовательностей МРТ у 185 пациентов, у которых выполнены все импульсные последовательности, представлены в таблице 4.

Как видно из таблицы 3, МРТ без использования импульсной последовательности Т2 RTr имеет хорошую эффективность (AUC 0,838), при ее использовании – высокую (AUC 0,901). Чувствительность диагностики при применении Т2 RTr выше, чем без ее использования – 84,6 и 68,4%, соответственно. Импульсная последовательность Т2 RTr показала наиболее высокую чувствительность и эффективность по сравнению с другими импульсными последовательностями (табл. 4). FIESTA и ДВИ наименее чувствительны ( $p<0,015$ ) и эффективны ( $p<0,02$ ). Чувствительность, специфичность и точность МРТ (с использованием Т2 RTr) составила 84,6; 95,6 и 94,1%, соответственно.

**Таблица 3.** – Показатели эффективности МРТ при диагностике поражения лёгких у 314 пациентов с лимфомой

**Table 3.** – MRI efficiency indicators in diagnosing lung lesions in 314 patients with lymphoma

| Методика МРТ      | Количество пациентов |    |     |    |       | Показатели диагностической эффективности |                  |             |        |        |       |
|-------------------|----------------------|----|-----|----|-------|------------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|-------|
|                   | ИП                   | ЛП | ИО  | ЛО | Всего | Чувствительность, %                      | Специфичность, % | Точность, % | ППЗ, % | ОПЗ, % | AUC   |
| МРТ, все пациенты | 35                   | 8  | 261 | 10 | 314   | 77,8                                     | 97,0             | 94,3        | 81,4   | 96,3   | 0,874 |
| МРТ без Т2 RTr    | 13                   | 1  | 109 | 6  | 129   | 68,4                                     | 99,1             | 94,6        | 92,9   | 94,8   | 0,838 |
| МРТ с Т2 RTr      | 22                   | 7  | 152 | 4  | 185   | 84,6                                     | 95,6             | 94,1        | 75,9   | 97,4   | 0,901 |

Примечание – ИП – истинно положительный, ЛП – ложноположительный, ИО – истинно отрицательный, ЛО – ложноотрицательный

**Таблица 4.** – Показатели эффективности разных импульсных последовательностей МРТ при диагностике поражения лёгких у 185 пациентов с лимфомой**Table 4.** – The efficiency indicators of various MRI pulse sequences in the diagnosis of lung lesions in 185 patients with lymphoma

| Импульсные последовательности МРТ | Количество пациентов |    |     |    |       | Показатели диагностической эффективности |                  |             |        |        |                           |
|-----------------------------------|----------------------|----|-----|----|-------|------------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|---------------------------|
|                                   | ИП                   | ЛП | ИО  | ЛО | Всего | Чувствительность, %                      | Специфичность, % | Точность, % | ППЗ, % | ОПЗ, % | AUC                       |
| T1-ВИ и STIR                      | 18                   | 5  | 154 | 8  | 185   | 69,2 <sup>1)</sup>                       | 96,9             | 93,0        | 78,3   | 95,1   | 0,830 <sup>4)</sup>       |
| FIESTA                            | 16                   | 3  | 156 | 10 | 185   | 61,5 <sup>2)</sup>                       | 98,1             | 93,0        | 84,2   | 94,0   | 0,798 <sup>5)</sup>       |
| ДВИ и карты ИКД                   | 16                   | 2  | 157 | 10 | 185   | 61,5 <sup>3)</sup>                       | 98,7             | 93,5        | 88,9   | 94,0   | 0,801 <sup>6)</sup>       |
| T2 RTr                            | 22                   | 7  | 152 | 4  | 185   | 84,6 <sup>1, 2, 3)</sup>                 | 95,6             | 94,1        | 75,9   | 97,4   | 0,901 <sup>4, 5, 6)</sup> |

Примечание – 1)  $p=0,046$ , 2)  $p<0,015$ , 3)  $p<0,015$ , 4)  $p=0,052$ , 5)  $p<0,02$ , 6)  $p<0,02$ 

Из 314 пациентов ложноположительные заключения имели место у 8 чел., ложноотрицательные – у 10 (табл. 3). Из 8 ложноположительных случаев у 1 пациента при МРТ выявлен очаг 7 мм, не определявшийся при ПЭТ/КТ (вероятно, артефакт); у 1 пациента при МРТ выявлен участок консолидации 12 мм, по типу матового стекла на КТ, без накопления ФДГ, остающийся без динамики на протяжении 9 месяцев (возможно, рак лёгкого); у остальных 6 чел. результат КТ или ПЭТ/КТ также был ложноположительным: у 1 морфологически верифицирован рак лёгкого, у 1 имел место воспалительный процесс, у остальных 4 пациентов – очаги (размером 9, 8 и 12 мм) и консолидация (27 мм) иного нелимфомного характера (постепенно уменьшились в размерах в течение 8-24 месяцев у 3 пациентов, без динамики в течение 12 месяцев – у 1 пациента). Из 10 ложноотрицательных случаев у 8 пациентов имели место поражения очагового типа (все  $\leq 1$  см), у 2 пациентов – консолидация размером 2 см. В 7 из 8 ложноположительных случаев МРТ выполнена с импульсной последовательностью T2 RTr, в 6 из 10 ложноотрицательных – без T2 RTr.

При визуальном анализе карт ИКД получены следующие результаты. Из 35 пациентов с истинно положительным результатом МРТ поражения визуализировались при ДВИ у 26 человек. У 21 из них размер поражений составил более 1 см. У 20 (95,2%) из 21 пациента поражения на картах ИКД имели интенсивность сигнала ниже либо равную мышцам (рис. 2).

Сравнение диагностической эффективности МРТ и КТ. Результаты сравнения диагностической эффективности МРТ и КТ у 188 пациентов представлены в таблице 5. КТ показала высокую эффективность при диагностике поражения лёгких (AUC 0,978). Чувствительность, специфичность и точность метода составили 100, 95,6 и 96,3%, соответственно. Чувствительность и эффективность МРТ без использования импульсной последовательности T2 RTr статистически значимо ниже, чем КТ ( $p<0,015$  и  $p<0,005$ , соответственно), при ее использовании – не различаются ( $p=0,32$  и  $p=0,46$ , соответственно). Согласие методов МРТ (с использованием T2 RTr) и КТ отличное ( $\kappa 0,916$ ,  $p<0,001$ ).

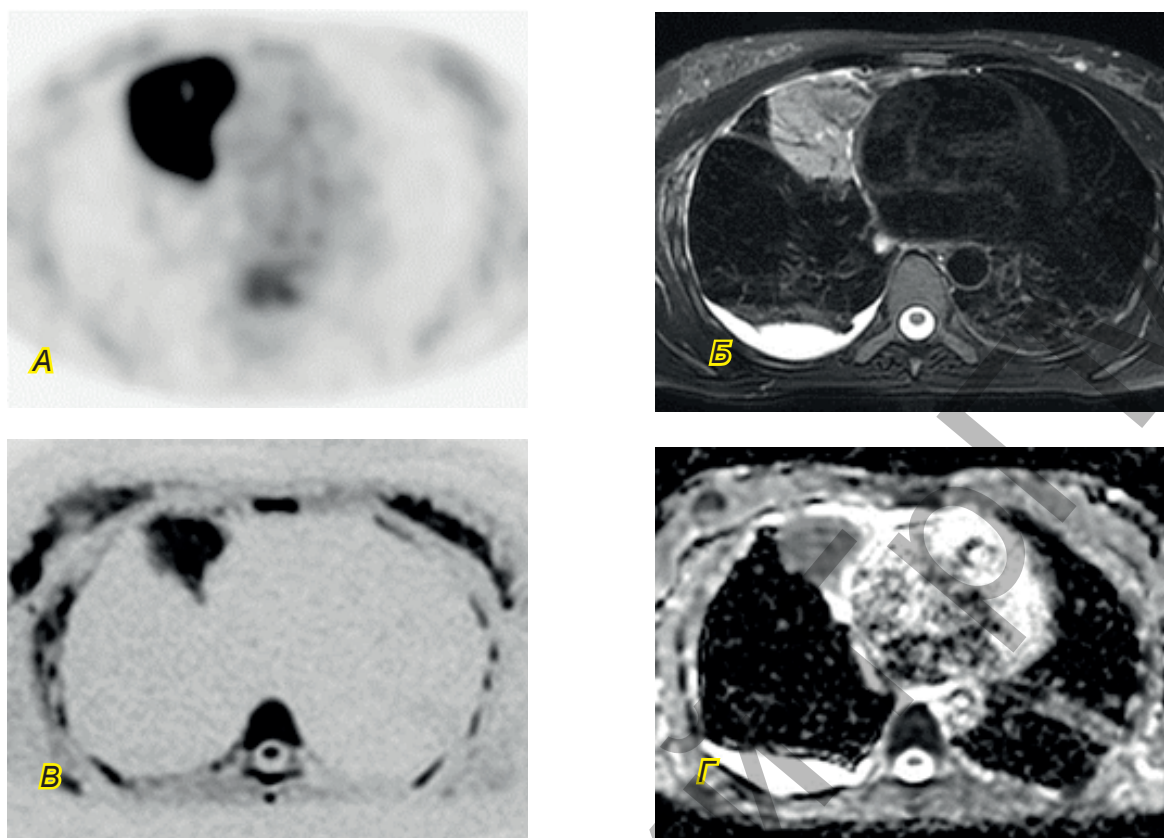
При КТ было 7 случаев ложноположительной и не было случаев ложноотрицательной диагно-

**Таблица 5.** – Показатели эффективности МРТ и КТ при диагностике поражения лёгких у 188 пациентов с лимфомой**Table 5.** – MRI and CT efficiency indicators in the diagnosis of lung lesions in 188 patients with lymphoma

| Метод диагностики                                   | Количество пациентов |    |     |    |       | Показатели диагностической эффективности |                  |             |        |        |                     |
|-----------------------------------------------------|----------------------|----|-----|----|-------|------------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|---------------------|
|                                                     | ИП                   | ЛП | ИО  | ЛО | Всего | Чувствительность, %                      | Специфичность, % | Точность, % | ППЗ, % | ОПЗ, % | AUC                 |
| Все пациенты, n=188                                 |                      |    |     |    |       |                                          |                  |             |        |        |                     |
| МРТ                                                 | 22                   | 5  | 154 | 7  | 188   | 75,9 <sup>1)</sup>                       | 96,9             | 93,6        | 81,5   | 95,7   | 0,864 <sup>4)</sup> |
| КТ                                                  | 29                   | 7  | 152 | 0  | 188   | 100,0 <sup>1)</sup>                      | 95,6             | 96,3        | 80,6   | 100,0  | 0,978 <sup>4)</sup> |
| Пациенты, у которых МРТ выполнена без T2 RTr, n=125 |                      |    |     |    |       |                                          |                  |             |        |        |                     |
| МРТ без T2 RTr                                      | 11                   | 1  | 107 | 6  | 125   | 64,7 <sup>2)</sup>                       | 99,1             | 94,4        | 91,7   | 94,7   | 0,819 <sup>5)</sup> |
| КТ                                                  | 17                   | 2  | 106 | 0  | 125   | 100,0 <sup>2)</sup>                      | 98,1             | 98,4        | 89,5   | 100,0  | 0,991 <sup>5)</sup> |
| Пациенты, у которых МРТ выполнена с T2 RTr, n=63    |                      |    |     |    |       |                                          |                  |             |        |        |                     |
| МРТ с T2 RTr                                        | 11                   | 4  | 47  | 1  | 63    | 91,7 <sup>3)</sup>                       | 92,2             | 92,1        | 73,3   | 97,9   | 0,919 <sup>6)</sup> |
| КТ                                                  | 12                   | 5  | 46  | 0  | 63    | 100,0 <sup>3)</sup>                      | 90,2             | 92,1        | 70,6   | 100,0  | 0,951 <sup>6)</sup> |

Примечание – 1)  $p<0,009$ , 2)  $p<0,015$ , 3)  $p=0,32$ , 4)  $p<0,005$ , 5)  $p<0,005$ , 6)  $p=0,46$





**Рисунок 2. – Поражение средней доли правого лёгкого в виде консолидации у пациентки П., 44 лет, с НХЛ. (а) ПЭТ, (б) Т2-ВИ с респираторным триггером, (в) ДВИ, (г) карта ИКД. На (б) в опухоли видны просветы бронхов, на (б) и (г) виден плеврит справа**

**Figure 2. – Consolidative lesion in the middle lobe of the right lung in patient P., 44 years old with NHL. (a) PET, (b) T2-WI with a respiratory triggering, (c) DWI, (d) ADC map. On (b) the lumens of the bronchi are visible in the tumor, on (b) and (d) pleurisy is visible on the right side**

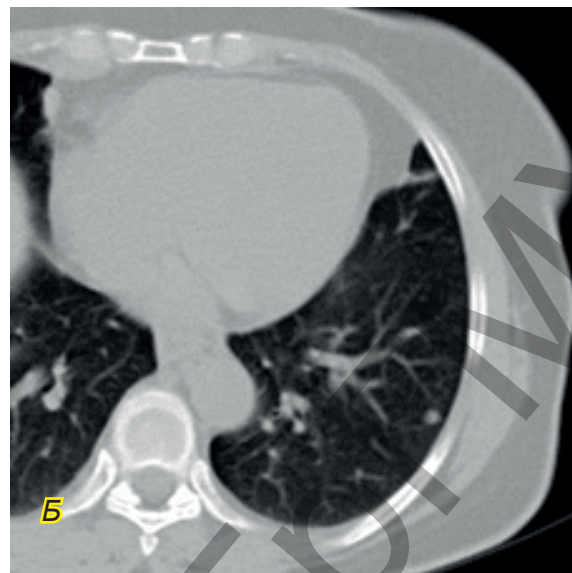
стики. Из 7 ложноположительных случаев у 1 пациента морфологически верифицирован рак лёгкого, у 1 имел место воспалительный процесс, у остальных 5 – очаги иного нелимфоного характера (постепенно уменьшились в течение 11 и 24 месяцев или оставались без динамики размеров в течение 7, 8 и 12 месяцев). Размер очагов у этих 5 пациентов составил 5, 6, 8, 9 и 12 мм, то есть в большинстве случаев менее 1 см (рис. 3).

Сравнение диагностической эффективности МРТ и ПЭТ/КТ. Результаты сравнения диагностической эффективности МРТ и ПЭТ/КТ у 173 пациентов представлены в таблице 6. Поскольку импульсная последовательность T2 RTr выполнена в большинстве случаев (167 из 173), сравнительный анализ ПЭТ/КТ и МРТ без T2 RTr не проводили. При интерпретации ПЭТ/КТ критерии 2 были статистически незначимо более эффективны, чем критерии 1 (AUC 0,962 и 0,925, соответственно,  $p=0,23$ ). Чувствительность, специфичность и точность ПЭТ/КТ при использовании критериев 2 составила 95,7; 96,7 и 96,5%, соответственно. Не получено статистически значимых различий чувствительности ( $p>0,08$ ) и эффективности ( $p>0,07$ ) МРТ и ПЭТ/КТ при использовании обоих критериев интерпретации ПЭТ/КТ как в общей группе пациентов, так и у пациентов, у которых МРТ выполнена с T2 RTr. Согласие методов МРТ (с использо-

ванием T2 RTr) и ПЭТ/КТ (критерии 2) отличное ( $\kappa 0,806$ ,  $p<0,001$ ).

При ПЭТ/КТ при использовании критериев 2 было 5 случаев ложноположительной диагностики и 1 случай – ложноотрицательной (табл. 6). Из 5 ложноположительных случаев у 1 пациента имел место воспалительный процесс с СПН 2,8, у остальных 4 – участок консолидации и очаги иного нелимфоного характера размером и со значением СПН: 27 мм – 3, 4, 9 мм – 0,5 мм – 0,12 мм – 2,9 (постепенно уменьшились в течение 8 и 24 месяцев или оставались без динамики размеров в течение 7 и 12 месяцев). У одного пациента при ПЭТ/КТ пропущен одиночный очаг поражения размером 8 мм без метаболической активности, в дальнейшем регрессировавший одновременно с внелегочными поражениями. При использовании критериев 1 было на 2 случая меньше ложноположительных (субсантиметровые очаги нелимфоного характера, не накопившие ФДГ) и на 2 случая больше ложноотрицательных (субсантиметровые поражения, не накопившие ФДГ) заключений.

Нами проведено проспективное исследование эффективности МРТ при диагностике поражения лёгких у пациентов с морфологически верифицированной лимфомой. В исследование включены пациенты, которым выполнены МРТ-ДВИ всего тела и КТ и/или ПЭТ/КТ, на этапе



**Рисунок 3. – Сложность характеристики субсантиметровых очагов в лёгких при КТ у 2 пациентов с НХЛ (а) очаговое поражение нижней доли левого лёгкого у пациентки Г., 28 лет. (б) очаг доброкачественного характера в нижней доле левого лёгкого у пациентки Л., 49 лет**

**Figure 3. – The complexity of characterization of sub-centimeter nodules in the lungs with CT in two patients with NHL. (a) Nodular lesion of the lower lobe of the left lung in patient G., 28 years old. (b) Benign nodule in the lower lobe of the left lung in patient L., 49 years old**

стадирования лимфомы за 7,5-летний период – 314 человек. Показана высокая эффективность МРТ при диагностике поражения лёгких (AUC 0,901). Чувствительность, специфичность и точность МРТ составили 84,6; 95,6 и 94,1%, соответственно, КТ – 100; 95,6 и 96,3%, ПЭТ/КТ – 95,7; 96,7 и 96,5%. Не получено статистически значимых различий чувствительности и эффективности МРТ и КТ, МРТ и ПЭТ/КТ.

Поражение лёгких при лимфоме встречается достаточно часто, при ЛХ – чаще, чем при НХЛ [18, 19]. Согласно данным Verkman N. с соавт., поражение лёгких в течение всего периода заболевания развивается у 38% пациентов с ЛХ и у 24% пациентов с НХЛ [20]. В исследовании

Manrai K., включившем 73 пациента с поражением лёгких, частота поражения при ЛХ составила 18%, при НХЛ – 11% [21], что согласуется с нашими данными – 18 и 12%, соответственно. Наиболее частым видом поражения в нашем исследовании были очаги/образования, которые присутствовали у 76% пациентов с поражением лёгких, консолидация имела место у 29% пациентов, интерстициальные изменения – у 9%. Эти цифры учитывают сочетание паттернов поражения, которое встречалось у 13% пациентов. Одинаково часто поражения лёгких были одиночными, единичными и множественными. Характерно одновременное поражение ЛУ средостения (89% пациентов), корней лёгких (67%), инвазия

**Таблица 6. – Показатели эффективности МРТ и ПЭТ/КТ при диагностике поражения лёгких у 173 пациентов с лимфомой**

**Table 6. – MRI and PET/CT efficacy in the diagnosis of lung lesions in 173 patients with lymphoma**

| Метод диагностики                                 | Количество пациентов |    |     |    |       | Показатели диагностической эффективности |                  |             |        |        |                         |
|---------------------------------------------------|----------------------|----|-----|----|-------|------------------------------------------|------------------|-------------|--------|--------|-------------------------|
|                                                   | ИП                   | ЛП | ИО  | ЛО | Всего | Чувствительность, %                      | Специфичность, % | Точность, % | ППЗ, % | ОПЗ, % | AUC                     |
| Все пациенты, n=173                               |                      |    |     |    |       |                                          |                  |             |        |        |                         |
| МРТ                                               | 19                   | 5  | 145 | 4  | 173   | 82,6 <sup>1,2)</sup>                     | 96,7             | 94,8        | 79,2   | 97,3   | 0,896 <sup>7,8)</sup>   |
| ПЭТ/КТ критерии 1                                 | 20                   | 3  | 147 | 3  | 173   | 87,0 <sup>1,3)</sup>                     | 98,0             | 96,5        | 87,0   | 98,0   | 0,925 <sup>7,9)</sup>   |
| ПЭТ/КТ критерии 2                                 | 22                   | 5  | 145 | 1  | 173   | 95,7 <sup>2,3)</sup>                     | 96,7             | 96,5        | 81,5   | 99,3   | 0,962 <sup>8,9)</sup>   |
| Пациенты, у которых МРТ выполнена с T2 RTr, n=167 |                      |    |     |    |       |                                          |                  |             |        |        |                         |
| МРТ с T2 RTr                                      | 17                   | 5  | 141 | 4  | 167   | 81,0 <sup>4,5)</sup>                     | 96,6             | 94,6        | 77,3   | 97,2   | 0,888 <sup>10,11)</sup> |
| ПЭТ/КТ критерии 1                                 | 18                   | 3  | 143 | 3  | 167   | 85,7 <sup>4,6)</sup>                     | 97,9             | 96,4        | 85,7   | 97,9   | 0,918 <sup>10,12)</sup> |
| ПЭТ/КТ критерии 2                                 | 20                   | 5  | 141 | 1  | 167   | 95,2 <sup>5,6)</sup>                     | 96,6             | 96,4        | 80,0   | 99,3   | 0,959 <sup>11,12)</sup> |

Примечание – 1)p=0,56, 2)p>0,08, 3)p=0,16, 4)p=0,56, 5)p>0,08, 6)p=0,16, 7)p=0,46, 8)p>0,07, 9)p=0,23, 10)p=0,47, 11)p>0,07, 12)p=0,22



опухоли из ЛУ в легкое (47%). Реже встречались плеврит (27%) и ателектаз (2,2%). Частота распада в опухоли лёгкого составила 14%.

В предыдущих исследованиях оценивали эффективность МРТ при диагностике поражения лёгких у пациентов с лимфомой на этапе стадирования наряду с другими экстралимфатическими органами, с небольшим количеством случаев поражения лёгких [6-11]. В исследовании Maerhoefer M. с соавт. в группе из 140 пациентов с лимфомой поражение лёгких установлено у 7 человек. Результат МРТ-ДВИ был положительным во всех случаях [6]. Albano D. с соавт. обследовали 68 пациентов с лимфомой, поражение лёгких имело место у 7 из них и было выявлено как при ПЭТ/КТ, так и при МРТ-ДВИ во всех случаях [7]. Quarles van Ufford H. с соавт. обследовали 22 пациентов с лимфомой и сообщают о хорошем согласии МРТ-ДВИ и ПЭТ/КТ при диагностике поражения лёгких –  $k = 0,776$ , что сопоставимо с полученными нами данными –  $k = 0,806$ . Примечательно, что критерии диагностики поражения лёгких при ПЭТ/КТ в данном исследовании соответствуют нашим критериям 2, то есть учитывают размер очагов [8]. Ни в одной из этих работ не проводился анализ чувствительности и специфичности МРТ-ДВИ и отдельных импульсных последовательностей при диагностике поражения лёгких, равно как не сравнивалась диагностическая эффективность разных методов лучевой диагностики.

В нашей предыдущей работе сравнена диагностическая эффективность МРТ-ДВИ и КТ при стадировании лимфомы у 68 пациентов, поражение лёгких имелось у 8 из них. Коэффициент согласия методов составил только 0,64, что можно объяснить методикой МРТ-сканирования – на том этапе мы не использовали импульсную последовательность T2-ВИ с респираторным триггером [9]. В следующей публикации в группе 158 пациентов с поражением лёгких у 25 человек чувствительность МРТ-ДВИ составила 64% по сравнению с 100% при КТ, которая служила стандартом диагностики. Импульсная последовательность T2 RTr была выполнена у 37 пациентов, у которых чувствительность МРТ-ДВИ составила 78% [10]. Наконец, при сравнении эффективности МРТ-ДВИ и ПЭТ/КТ в группе 92 пациентов с поражением лёгких у 15 из них чувствительность МРТ-ДВИ составила 73% и статистически значимо не отличалось от чувствительности ПЭТ/КТ – 87%. Импульсная последовательность T2 RTr выполнена у большинства (96%) пациентов [11].

Из представленного анализа собственных работ видно, что импульсная последовательность T2 RTr позволяет улучшить диагностику опухолей лёгких, что подтвердилось в текущем исследовании – чувствительность МРТ без использования T2 RTr составила 68,4%, с ее использованием – 84,6%. Остальные импульсные последовательности, такие как T1-ВИ и STIR, FIESTA, ДВИ и карты ИКД, были статистически значимо менее чувствительны и эффективны, что согласуется с данными других авторов. Так,

A. Fischer с соавт. оценили эффективность ДВИ и FIESTA при диагностике поражения лёгких у 68 пациентов со злокачественными опухолями, у 11 из которых имела место лимфома. ДВИ и FIESTA по отдельности смогли выявить по 14 из 72 поражений лёгких – чувствительность 19%. При синхронном просмотре ДВИ и FIESTA чувствительность составила только 33% [22]. Возвращаясь к роли импульсной последовательности T2 RTr, целесообразно процитировать исследование Zeng J. с соавт., в котором сравнили эффективность данной импульсной последовательности и КТ при диагностике поражений лёгких у пациентов с туберкулёзом, используя КТ в качестве стандарта. МРТ смогла выявить 50% некальцинированных очагов размером менее 5 мм, 91% – размером 5-10 мм и 100% – размером более 10 мм. Эффективность МРТ и КТ при визуализации участков консолидации, образований, интерстициальных изменений не различалась. МРТ выявила 5 из 6 участков консолидации по типу матового стекла [23]. Необходимо отметить, что, в отличие от нашей работы, авторы использовали дополнительную методику подавления двигательных артефактов PROPELLER, что объясняет несколько лучшие результаты. В другом исследовании сравнили возможности МРТ и КТ при диагностике пневмонии у 40 пациентов со сниженным иммунитетом [24]. Чувствительность методов при визуализации консолидации, в том числе по типу матового стекла, утолщения перибронхиального и междолькового интерстиция, плевры, перикардального выпота статистически значимо не различалась. Наиболее эффективной импульсной последовательностью была T2 RTr. В нашем исследовании данная импульсная последовательность статистически значимо повысила чувствительность диагностики поражения лёгких при небольшом снижении специфичности, что связано с лучшей анатомической детализацией вследствие синхронизации сбора данных с дыхательным циклом, в отличие от остальных импульсных последовательностей, выполнявшихся при свободном дыхании.

Согласно международным рекомендациям, ПЭТ/КТ – основной метод стадирования ФДГ-авидных лимфом. При вариабельно-авидных лимфомах рекомендуется использовать КТ [1]. Вместе с тем эффективность ПЭТ при диагностике небольших поражений лёгких ограничена пространственной разрешающей способностью метода, которая составляет 6-8 мм, и влиянием дыхательных артефактов [2, 3]. В исследовании H. Nomori с соавт. у пациентов, страдающих раком лёгкого или метастазами злокачественных опухолей в лёгких, все очаги размером до 1 см были негативными при ПЭТ [3]. В исследовании M. Allen-Auerbach у 160 пациентов с разными злокачественными опухолями, включая 40 пациентов с лимфомами, ПЭТ/КТ, выполненная при поверхностном дыхании, выявила только 125 (44%) из 285 субсантиметровых очагов в лёгких, выявленных при КТ с задержкой дыхания на вдохе. Все пропущенные очаги не показали повышенного накопления ФДГ [2].

Но и в случаях, когда очаги в лёгких по размеру соответствуют разрешающей способности ПЭТ/КТ, эффективность метода может быть неоптимальной вследствие ложноположительных заключений. Так, в исследовании В. Жаркова с соавт. у 70 пациентов с известной злокачественной опухолью и множественными очагами в лёгких размером более 8 мм чувствительность ПЭТ/КТ составила 78%, в то время как специфичность – только 16%. Стандартом диагностики в данной работе являлась видео-ассистированная торакоскопия с биопсией [25]. Влияние размера очагов в лёгких на диагностическую эффективность ПЭТ/КТ при лимфомах ранее не исследовали. Поэтому мы провели сравнение эффективности двух критериев интерпретации ПЭТ/КТ, учитывающих либо не учитывающих размер очагов. При использовании критериев, учитывающих размер очагов, произошло статистически незначимое повышение чувствительности диагностики – с 85,7 до 95,2% при снижении специфичности с 97,9 до 96,6%. Эффективность диагностики статистически незначимо повысилась – AUC 0,918 и 0,959, соответственно. Результаты нашего исследования не позволяют сделать однозначного вывода о преимуществе критериев, учитывающих размер поражений в лёгких при лимфомах. Необходимо отметить, что субсантиметровые очаги были основной причиной ошибок как при ПЭТ/КТ, так и при МРТ и КТ.

### Выводы

1. Частота поражения лёгких при лимфоме составила 14%, в том числе 18% – при ЛХ и 12% – при НХЛ. Чаще встречается поражение в виде

очагов/образований (в 76% случаев поражения), реже – консолидация (29%) и интерстициальные изменения (9%). Одиночные, единичные (2-5 поражений) и множественные (>5) поражения встречаются одинаково часто.

2. По данным МРТ, у пациентов с поражением лёгких статистически значимо чаще поражены ЛУ средостения (89%), чем у пациентов без поражения лёгких (66%), ЛУ корней лёгких (67 и 37%, соответственно), имеется переход опухоли из ЛУ на лёгкое (47 и 10%, соответственно). Частота распада в поражении лёгкого составила 14%.

3. Чувствительность, специфичность, точность МРТ при диагностике поражения лёгких составила 84,6; 95,6 и 94,1%, соответственно, эффективность диагностики высокая (AUC 0,901). Наиболее эффективная импульсная последовательность – T2-ВИ с респираторным триггером.

4. Не получено статистически значимых различий чувствительности и эффективности МРТ и КТ, МРТ и ПЭТ/КТ. Характеристика субсантиметровых очагов является основной причиной ошибок при каждом из трех методов диагностики.

5. МРТ грудной полости – эффективный метод диагностики поражения лёгких при лимфоме и рекомендуется к практическому использованию, в том числе как часть МРТ-ДВИ всего тела, особенно у пациентов с вариably ФДГ-авидными лимфомами, молодого возраста, у беременных.

### Литература

- Recommendations for initial evaluation, staging, and response assessment of Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma: The Lugano Classification / B. D. Cheson [et al.] // J. Clin. Oncol. – 2014. – Vol. 32, № 27. – P. 3059-3068. – doi: 10.1200/jco.2013.54.8800.
- Standard PET/CT of the chest during shallow breathing is inadequate for comprehensive staging of lung cancer / M. Allen-Auerbach [et al.] // J. Nucl. Med. – 2006. – Vol. 47, № 2. – P. 298-301.
- Evaluation of F-18 fluorodeoxyglucose (FDG) PET scanning for pulmonary nodules less than 3 cm in diameter, with special reference to the CT images / H. Nomori [et al.] // Lung Cancer. – 2004. – Vol. 45, № 1. – P. 19-27. – doi: 10.1016/j.lungcan.2004.01.009.
- Хоружик, С. А. Повторные компьютерно-томографические исследования: дозы облучения и радиационный риск при злокачественных лимфомах / С. А. Хоружик, Е. А. Леусик // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. – Т. 54, № 5. – С. 466-473. – doi: 10.7868/S0869803114050075.
- Building blocks for thoracic MRI: Challenges, sequences, and protocol design / C. A. Raptis [et al.] // J. Magn. Reson. Imaging. – 2019. – Vol. 50, № 3. – P. 682-701. – doi: 10.1002/jmri.26677.
- Evaluation of diffusion-weighted MRI for pretherapeutic assessment and staging of lymphoma: results of a prospective study in 140 patients / M. E. Mayerhoefer [et al.] // Clin. Cancer Res. – 2014. – Vol. 20, № 11. – P. 2984-2993. – doi: 10.1158/1078-0432.CCR-13-3355.
- Comparison between whole-body MRI with diffusion-weighted imaging and PET/CT in staging newly diagnosed FDG-avid lymphomas / D. Albano [et al.] // Eur. J. Radiol. – 2016. – Vol. 85, № 2. – P. 313-318. – doi: 10.1016/j.ejrad.2015.12.006.
- Whole-body diffusion-weighted imaging: the added value to whole-body MRI at initial diagnosis of lymphoma / J. Gu [et al.] // Am. J. Roentgenol. – 2011. – Vol. 197, № 3. – P. 384-391. – doi: 10.2214/AJR.10.5692.
- Сравнение возможностей диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии всего тела и рентгеновской компьютерной томографии при стадировании лимфом / С. А. Хоружик [и др.] // Онкологический журнал. – 2015. – Т. 9, № 1. – С. 43-48.
- Хоружик, С. А. Новый алгоритм стадирования лимфомы на основе диффузионно-взвешенной магнитно-резонансной томографии всего тела / С. А. Хоружик, Э. А. Жаврид, Н. В. Сачивко // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. мед. наук. – 2018. – Т. 15, № 2. – С. 179-198. – doi: 10.29235/1814-6023-2018-15-2-179-198.
- Диффузионно-взвешенная магнитно-резонансная томография всего тела и позитронная эмиссионная томография, комбинированная с компьютерной томографией, при стадировании лимфом / С. А. Хоружик [и др.] // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2019. – № 6. – С. 321-334. – doi:10.20862/0042-4676-2019-100-6-321-334.

12. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging / D. M. Hansell [et al.] // Radiology. – 2008. – Vol. 246, № 3. – P. 697-722. – doi: 10.1148/radiol.2462070712.
13. Whole-Body Diffusion-weighted Imaging in Hodgkin Lymphoma and Diffuse Large B-Cell Lymphoma / S. Toledano-Massiah [et al.] // Radiographics. – 2015. – Vol. 35, № 3. – P. 747-764. – doi: 10.1148/rg.2015140145.
14. Сравнение диагностической эффективности магнитно-резонансной томографии с диффузионно-взвешенным исследованием всего тела и позитронной эмиссионной томографии/компьютерной томографии при определении степени регрессии лимфомы после завершения химиотерапии: Минская шкала и шкала Довиль / С. А. Хоружик [и др.] // Лучевая диагностика и терапия. – 2020. – Т. 11, № 1. – С. 78-92. – doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-1-78-92.
15. Dual time point 18F-FDG PET for the evaluation of pulmonary nodules / A. Matthies [et al.] // J. Nucl. Med. – 2002. – Vol. 43, № 7. – P. 871-875.
16. Relationship of temporal resolution to diagnostic performance for dynamic contrast enhanced MRI of the breast / R. H. El. Khoully [et al.] // J. Magn. Reson. Imaging. – 2009. – Vol. 30, № 5. – P. 999-1004. – doi: 10.1002/jmri.21947
17. Crewson, P. E. Reader agreement studies. Am. J. Roentgenol. – 2005. – Vol. 184, № 5. – 1391-97.
18. Spectrum of CT Findings in Thoracic Extranodal Non-Hodgkin Lymphoma / M. P. Bligh [et al.] // Radiographics. – 2017. – Vol. 37, № 2. – P. 439-461. – doi: 10.1148/rg.2017160077.
19. The radiological spectrum of pulmonary lymphoproliferative disease / S. S. Hare [et al.] // Br. J. Radiol. – 2012. – Vol. 85, № 1015. – P. 848-864. – doi: 10.1259/bjr/16420165.
20. Pulmonary involvement in lymphoma / N. Berkman [et al.] // Leuk. Lymphoma. – 1996. – Vol. 20, № 3-4. – P. 229-237. doi: 10.3109/10428199609051612.
21. Computed tomography patterns of pulmonary and pleural involvement in lymphoma / K. Manrai [et al.] // Med. J. Armed Forces India. – 2020. – Vol. 76, № 1. – P. 77-83. – doi: 10.1016/j.mjafi.2018.09.004.
22. Diagnostic accuracy of whole-body MRI/DWI image fusion for detection of malignant tumours: a comparison with PET/CT / M. A. Fischer [et al.] // Eur. Radiol. – 2011. – Vol. 21, № 2. – P. 246-255. – doi: 10.1007/s00330-010-1929-x.
23. MRI evaluation of pulmonary lesions and lung tissue changes induced by tuberculosis / J. Zeng [et al.] // Int. J. Infect. Dis. – 2019. – Vol. 82. – P. 138-146. – doi: 10.1016/j.ijid.2019.03.004.
24. MRI of pneumonia in immunocompromised patients: comparison with CT / A. Ekinici [et al.] // Diagn. Interv. Radiol. – 2017. – Vol. 23, № 1. – P. 22-28. – doi: 10.5152/dir.2016.16055.
25. Жарков, В. В. Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной томографией в диагностике диссеминированных поражений легких у онкологических пациентов / В. В. Жарков, А. В. Подобед, Н. Ю. Парамонова // Онкологический журнал. – 2019. – Т. 13, № 1. – С. 50-54.
26. jco.2013.54.8800.
27. Allen-Auerbach M, Yeom K, Park J, Phelps M, Czernin J. Standard PET/CT of the chest during shallow breathing is inadequate for comprehensive staging of lung cancer. J. Nucl. Med. 2006;47(2):298-301.
28. Nomori H, Watanabe K, Ohtsuka T, Naruke T, Suemasu K, Uno K. Evaluation of F-18 fluorodeoxyglucose (FDG) PET scanning for pulmonary nodules less than 3 cm in diameter, with special reference to the CT images. Lung Cancer. 2004;45(1):19-27. doi: 10.1016/j.lungcan.2004.01.009.
29. Horuzhik SA, Leusik EA. Povtornye kompjuternotomograficheskie issledovanija: dozy obluchenija i radiacionnyj risk pri zlokachestvennyh limfomah. Radiacionnaja biologija. Radiojekologija. 2014;54(5):466-473. doi: 10.7868/S0869803114050075. (Russian).
30. Raptis CA, Ludwig DR, Hammer MM, Luna A, Broncano J, Henry TS, Bhalla S, Ackman JB. Building blocks for thoracic MRI: Challenges, sequences, and protocol design. J. Magn. Reson. Imaging. 2019;50(3):682-701. doi: 10.1002/jmri.26677.
31. Mayerhoefer ME, Karanikas G, Kletter K, Prosch H, Kiesewetter B, Skrabas C, Porpacz E, Weber M, Pinker-Domenig K, Berzacz D, Hoffmann M, Sillaber C, Jaeger U, Müllauer L, Simonitsch-Klupp I, Dolak W, Gaiger A, Ubl P, Lukas J, Raderer M. Evaluation of diffusion-weighted MRI for pretherapeutic assessment and staging of lymphoma: results of a prospective study in 140 patients. Clin. Cancer Res. 2014;20(11):2984-2993. doi: 10.1158/1078-0432.CCR-13-3355.
32. Albano D, Patti C, La Grutta L, Agnello F, Grassettonio E, Mulè A, Cannizzaro G, Ficola U, Lagalla R, Midiri M, Galia M. Comparison between whole-body MRI with diffusion-weighted imaging and PET/CT in staging newly diagnosed FDG-avid lymphomas. Eur. J. Radiol. 2016;85(2):313-318. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.12.006.
33. Gu J, Chan T, Zhang J, Leung AY, Kwong YL, Khong PL. Whole-body diffusion-weighted imaging: the added value to whole-body MRI at initial diagnosis of lymphoma. Am. J. Roentgenol. 2011;197(3):384-391. doi: 10.2214/AJR.10.5692.
34. Horuzhik SA, Zhavrid JeA, Sachivko NV, Portasova NP, Karman EI, Karman AV. Sravnenie vozmozhnostej diffuzionno-vzveshennoj magnitno-rezonansnoj tomografii vsego tela i rentgenovskoj kompjuternoj tomografii pri stadirovanii limfom. Onkologicheskij zhurnal. 2015;9(1):43-48. (Russian).
35. Horuzhik SA, Zhavrid JeA, Sachivko NV. Novyj algoritm stadirovaniya limfomy na osnove diffuzionno-vzveshennoj magnitno-rezonansnoj tomografii vsego tela. Vesci Nacyjanalnej akademii navuk Belarusi. Seryja medycynskih navuk. 2018;15(2):179-198. doi: 10.29235/1814-6023-2018-15-2-179-198. (Russian).
36. Horuzhik SA, Zhavrid JeA, Dzjuban AV, Poddubnyj KV, Sukolinskaja EV, Kalenik OA. Diffuzionno-vzveshennaja magnitno-rezonansnaja tomografija vsego tela i pozitronnaja jemissionnaja tomografija, kombinirovannaja s kompjuternoj tomografiej, pri stadirovanii limfom. Vestnik rentgenologii i radiologii. 2019;(6):321-334. doi:10.20862/0042-4676-2019-100-6-321-334. (Russian).
37. Hansell DM, Bankier AA, MacMahon H, McLoud TC, Müller NL, Remy J. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. Radiology. 2008;246(3):697-722. doi: 10.1148/radiol.2462070712.
38. Toledano-Massiah S, Luciani A, Itti E, Zerbib P, Vignaud A, Belhadj K, Baranes L, Haïoun C, Lin C, Rahmouni A. Whole-Body Diffusion-weighted Imaging in Hodgkin

### References

1. Cheson BD, Fisher RI, Barrington SF, Cavalli F, Schwartz LH, Zucca E, Lister TA. Recommendations for initial evaluation, staging, and response assessment of Hodgkin and non-Hodgkin lymphoma: The Lugano Classification. J. Clin. Oncol. 2014;32(27):3059-3068. doi: 10.1200/



- Lymphoma and Diffuse Large B-Cell Lymphoma. Radiographics. 2015;35(3):747-764. doi: 10.1148/rg.2015140145.
14. Horuzhik SA, Zhavrid JeA, Dzjuban AV, Sukolinskaja EV, Kalenik OA. Sravnenie diagnosticheskoy jeffektivnosti magnitno-rezonansnoj tomografii s diffuzionno-vzveshennym issledovaniem vsego tela i pozitronnoj jemissionnoj tomografii/kompjuternoj tomografii pri opredelenii stepeni regressii limfomy posle zaversheniya himioterapii: Minskaja shkala i shkala Dovol. Luchevaja diagnostika i terapija. 2020;11(1):78-92. doi: 10.22328/2079-5343-2020-11-1-78-92. (Russian).
  15. Matthies A, Hickeson M, Cuchiara A, Alavi A. Dual time point 18F-FDG PET for the evaluation of pulmonary nodules. J. Nucl. Med. 2002;43(7):871-875.
  16. El Khouli RH, Macura KJ, Barker PB, Habba MR, Jacobs MA, Bluemke DA. Relationship of temporal resolution to diagnostic performance for dynamic contrast enhanced MRI of the breast. J. Magn. Reson. Imaging. 2009;30(5):999-1004. doi: 10.1002/jmri.21947.
  17. Crewson PE. Reader agreement studies. Am. J. Roentgenol. 2005; 184(5):1391-97.
  18. Bligh MP, Borgonkar JN, Burrell SC, MacDonald DA, Manos D. Spectrum of CT Findings in Thoracic Extranodal Non-Hodgkin Lymphoma. Radiographics. 2017;37(2):439-461. doi: 10.1148/rg.2017160077.
  19. Hare SS, Souza CA, Bain G, Seely JM, Frepc, Gomes MM, Quigley M. The radiological spectrum of pulmonary lymphoproliferative disease. Br. J. Radiol. 2012;85(1015):848-864. doi: 10.1259/bjr/16420165.
  20. Berkman N, Breuer R, Kramer MR, Polliack A. Pulmonary involvement in lymphoma. Leuk. Lymphoma. 1996;20(3-4):229-237. doi: 10.3109/10428199609051612.
  21. Manrai K, Chaturvedi A, Avinash Rao S, Choudhary PS, Dhagat P, Shenoy A, Vishwakarma G. Computed tomography patterns of pulmonary and pleural involvement in lymphoma. Med. J. Armed Forces India. 2020;76(1):77-83. doi: 10.1016/j.mjafi.2018.09.004.
  22. Fischer MA, Nanz D, Hany T, Reiner CS, Stolzmann P, Donati OF, Breitenstein S, Schneider P, Weishaupt D, von Schulthess GK, Scheffel H. Diagnostic accuracy of whole-body MRI/DWI image fusion for detection of malignant tumours: a comparison with PET/CT. Eur. Radiol. 2011;21(2):246-255. doi: 10.1007/s00330-010-1929-x.
  23. Zeng J, Liu Z, Shen G, Zhang Y, Li L, Wu Z, Luo D, Gu Q, Mao H, Wang L. MRI evaluation of pulmonary lesions and lung tissue changes induced by tuberculosis. Int. J. Infect. Dis. 2019;82:138-146. doi: 10.1016/j.ijid.2019.03.004.
  24. Ekinci A, Yücel Uçarkuş T, Okur A, Öztürk M, Doğan S. MRI of pneumonia in immunocompromised patients: comparison with CT. Diagn. Interv. Radiol. 2017;23(1):22-28. doi: 10.5152/dir.2016.16055.
  25. Zharkov VV, Podobed AV, Paramonova NJu. Pozitronno-jemissionnaja tomografija, sovmeshhennaja s kompjuternoj tomografiej v diagnostike disseminirovannyh porazhenij legkih u onkologicheskix pacientov. Onkologicheskij zhurnal. 2019;13(1):50-54. (Russian).

## MAGNETIC RESONANCE IMAGING DIAGNOSIS OF LUNG LESIONS IN LYMPHOMA

Kharuzhyk S. A.

N. N. Alexandrov National Cancer Center, Lesnoy, Minsk district, Belarus

*Aim:* to study the MRI semiotics of lung involvement and compare the diagnostic efficacy of MRI, CT and PET/CT in lymphomas.

*Material and methods:* the study included 314 patients with morphologically verified lymphoma, who before the start of treatment underwent MRI of the whole body and CT of the thorax and/or PET/CT of the whole body.

*Results.* The frequency of lung involvement was 14%. The lesions were in the form of nodules/masses in 76% of cases, consolidation in 29% and interstitial changes in 9%. The sensitivity, specificity, and accuracy of MRI were 85%, 96%, and 94%, respectively, and the diagnostic efficiency was high (AUC 0.901). There were no significant differences in the sensitivity and efficiency of MRI and CT, MRI and PET/CT.

*Conclusion.* MRI of the thorax is an effective method for diagnosing lung involvement in lymphoma and is recommended for practical use, especially in patients with variable fluorodeoxyglucose-avid lymphomas, young patients and pregnant women.

**Keywords:** Hodgkin lymphoma, non-Hodgkin lymphoma, lungs, magnetic resonance imaging, positron emission tomography computed tomography.

**For citation:** Kharuzhyk SA. Magnetic resonance imaging diagnosis of lung lesions in lymphoma. Journal of the Grodno State Medical University. 2020;18(3):292-303. <http://dx.doi.org/10.25298/2221-8785-2020-18-3-292-303>.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declare no conflict of interest.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках задания 02.09 Государственной научно-технической программы «Новые методы оказания медицинской помощи».

**Financing.** The study was performed as part of task 02.09 of the State Scientific and Technical Program «New Methods of Providing Medical Care».

**Об авторе**

Хорузык Сергей Анатольевич / Kharuzhyk Siarhei, e-mail: skharuzhyk@nld.by, ORCID: 0000-0002-0010-8324

Поступила / Received: 13.04.2020

Принята к публикации / Accepted for publication: 15.05.2020