

© 2023 ФГБУ «НМИЦ ДГОИ  
им. Дмитрия Рогачева»  
Минздрава России  
Поступила 31.01.2023  
Принята к печати 28.04.2023

DOI: 10.24287/1726-1708-2023-22-3-80-86

# Количественная магнитно-резонансная томография костного мозга у пациентов с острым лимфобластным лейкозом

Г.В. Терещенко, Н.А. Кривенцова, Д.А. Куприянов, М.И. Абу Джабал,  
А.Д. Копанева, Н.В. Мякова, Д.В. Литвинов, А.И. Карачунский, Г.А. Новичкова

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева» Минздрава России, Москва

## Контактная информация:

Кривенцова Наталия Алексеевна,  
врач-рентгенолог, лаборант-исследователь  
отдела лучевой диагностики  
ФГБУ «НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева»  
Минздрава России  
Адрес: 117997, Москва,  
ул. Саморы Машела, 1  
E-mail: nataliya.krivencova@fccho-moscow.ru

Цель исследования – оценить изменение показателей фракции жира (ФЖ) у пациентов с установленным диагнозом острого лимфобластного лейкоза (ОЛЛ) по сравнению с детьми без гематологических заболеваний. При проведении исследования было получено информированное согласие на выполнение магнитно-резонансной томографии (МРТ) от каждого пациента или его законного представителя. Исследование одобрено независимым этическим комитетом, утверждено решением ученого совета НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева и соответствует Этическому кодексу Всемирной медицинской ассоциации (Хельсинкская декларация) для исследований с участием людей. В исследование вошли 33 здоровых добровольца в возрасте  $13,4 \pm 2,8$  года (группа контроля) и 34 пациента с диагнозом ОЛЛ в острую фазу заболевания, средний возраст которых составил  $12,2 \pm 3,6$  года (основная группа). ФЖ рассчитывалась на основании последовательности mDixon-Quant в области костей таза и поясничных позвонков при помощи построения карт на магнитно-резонансном томографе Philips Achieva 3T. Для сравнения данных ФЖ пациентов с группой контроля и между собой применялся U-критерий Манна–Уитни. Были выбраны 4 региона интереса размером  $100 \text{ мм}^2$ : в телах правой и левой подвздошных костей, а также в телах позвонков L4 и L5. Для каждой группы и региона интереса было рассчитано среднее значение ФЖ. В группе пациентов в острый период ОЛЛ показатели были самые низкие: в телах подвздошных костей  $3,53 \pm 2,75\%$  и  $3,72 \pm 3,09\%$  слева и справа соответственно и в телах позвонков L4 и L5  $2,62 \pm 1,86\%$  и  $2,47 \pm 2,17\%$  соответственно. В контрольной группе показатели по тем же точкам составили  $51,3 \pm 9,5\%$ ;  $49,9 \pm 11,0\%$ ;  $31,3 \pm 8,73\%$  и  $32,4 \pm 10,3\%$  соответственно. ФЖ в костном мозге существенно изменяется у пациентов с ОЛЛ по отношению к контрольной группе. Количественный анализ МРТ-изображений может стать новым методом оценки состояния костного мозга у детей с лейкоемиями.

**Ключевые слова:** педиатрия, онкогематология, лучевая диагностика

Терещенко Г.В. и соавт. Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. 2023; 22 (3): 80–6. DOI: 10.24287/1726-1708-2023-22-3-80-86

© 2023 by «D. Rogachev NMRCPHOI»

Received 31.01.2023  
Accepted 28.04.2023

## Quantitative bone marrow magnetic resonance imaging in children with lymphoblastic leukaemia

G.V. Tereshchenko, N.A. Kriventsova, D.A. Kupriyanov, M.I. Abu Jabal, A.D. Kopaneva, N.V. Myakova,  
D.V. Litvinov, A.I. Karachunskiy, G.A. Novichkova

The Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow

## Correspondence:

Natalia A. Kriventsova,  
a radiologist and a research technician  
at the Department of Diagnostic Radiology  
at the Dmitry Rogachev National Medical  
Research Center of Pediatric Hematology,  
Oncology and Immunology, Ministry  
of Healthcare of the Russian Federation  
Address: 1 Samory Mashela St.,  
Moscow 117997, Russia  
E-mail: nataliya.krivencova@fccho-moscow.ru

The aim of the study was to evaluate fat fraction (FF) changes in patients diagnosed with acute lymphoblastic leukaemia (ALL) in comparison with children without haematological disorders. All the patients or their legal representatives gave their informed consent to magnetic resonance imaging (MRI). The study was approved by the Independent Ethics Committee and the Scientific Council of the Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology and was conducted in line with the Ethical Principles of the World Health Organization (the Declaration of Helsinki) for Medical Research Involving Human Subjects. The study included 33 healthy volunteers aged  $13.4 \pm 2.8$  years (the control group) and 34 patients with acute phase ALL whose mean age was  $12.2 \pm 3.6$  years (the group of interest). Imaging of the pelvic bones and lumbar vertebrae was performed on a Philips Achieva 3T scanner using the mDixon-quant sequence, with a subsequent construction of FF maps. The Mann–Whitney U-test was used to compare the FF data of the cases with each other and with the controls. Four regions of interest were selected,  $100 \text{ mm}^2$  each: in the bodies of the right and the left iliac bones as well as in the bodies of the L4 and L5 vertebrae. For each group of subjects and each region of interest, mean FF was calculated. In the group of the patients with acute phase ALL, FF was the lowest:  $3.53 \pm 2.75\%$  and  $3.72 \pm 3.09\%$  in the bodies of the left and right iliac bones respectively, and  $2.62 \pm 1.86\%$  and  $2.47 \pm 2.17\%$  in the L4 and L5 vertebrae respectively. In the control group, FF in the respective regions of interest was  $51.3 \pm 9.5\%$ ;  $49.9 \pm 11.0\%$ ;  $31.3 \pm 8.73\%$  and  $32.4 \pm 10.3\%$ . It is obvious that bone marrow FF in the patients with ALL differs significantly from the control group. Quantitative MRI can become a new method for the assessment of changes in the bone marrow of children with leukaemias.

**Key words:** pediatrics, oncohematology, radiology

Tereshchenko G.V., et al. Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology. 2023; 22 (3): 80–6.  
DOI: 10.24287/1726-1708-2023-22-3-80-86

**О**стрый лейкоз – это самое частое злокачественное заболевание у детей, основной субстрат которого представляют опухолевые клетки, инфильтрирующие костный мозг (КМ). Острый лимфобластный лейкоз (ОЛЛ) составляет порядка 70% всех гемобластозов у детей [1]. Заболеваемость составляет 4:100 000 детского населения, пик приходится на первое пятилетие жизни, в более старших возрастных группах число заболевающих снижается [2].

При подозрении на ОЛЛ пациенту выполняют пункцию (аспирацию) КМ (КМП). Оценка полученного материала позволяет установить процентное соотношение различных клеток гемопоэза в образце КМ. Диагноз подтверждается в случае наличия более 25% бластов в КМ, однако этот показатель может достигать 80–90%. Помимо этого, проводится подтверждение лимфоидной дифференцировки патологического клона клеток методом мультипараметрической проточной цитометрии [2].

По гистологической классификации ОЛЛ относится к гиперклеточным состояниям. Клеточность в данном контексте понимают как отношение клеток миелоидного (кроветворного) ряда к клеткам микроокружения КМ, в том числе к адипоцитам. При ОЛЛ количество опухолевых бластных клеток резко увеличивается, угнетаются нормальные ростки кроветворения, количество жировой ткани относительно сокращается. Клеточность можно оценить по гистологическому исследованию КМ – материалу трепанобиопсии [3]. Как правило, у пациентов с ОЛЛ этот метод не применяется.

Одним из альтернативных способов оценки клеточности является магнитно-резонансная томография (МРТ), так как нормальные и патологические трансформации КМ влияют на интенсивность сигнала от костных структур на МРТ [4, 5]. В нашей практике мы часто сталкиваемся с подобными изменениями у детей с гемобластозами и цитопениями (рисунки 1).

Авторами показана высокая чувствительность всех последовательностей МРТ к неопластическим и воспалительным изменениям в КМ у детей [6]. Интенсивность сигнала (ИС) на T1-взвешенных изображениях (T1-ВИ) и T2-взвешенных изображениях (T2-ВИ) изменяется при поражении КМ у пациентов с гематологическими нарушениями [5]. Фракция жира (ФЖ), рассчитываемая как отношение сигнала жира к сигналу жира и воды с поправками на T2\*, позволяет косвенно оценить соотношение клеток миелопоэза и жировых клеток в структуре КМ [7].

С учетом международных рекомендаций проведения КМП у детей, в которых указано, что пункции выполняются только из гребней подвздошных костей, для оценки состояния КМ поле обзора распола-

гают с полным захватом подвздошных костей [8]. Многие исследователи включают в анализ помимо подвздошных костей еще и позвонки, поэтому поясничный отдел позвоночника также входит в поле обзора [9].

**Целью данного исследования** являлась оценка изменений ФЖ, рассчитанной при помощи МРТ, в КМ у пациентов с ОЛЛ. Для подтверждения гипотезы, что показатели ФЖ в нормальном и патологически инфильтрированном КМ различны, проводилось сравнение с группой здоровых добровольцев.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Пациенты

В исследовании приняли участие 34 пациента (19 мальчиков и 15 девочек) с клинически и морфологически подтвержденным диагнозом ОЛЛ, получавших лечение в НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева в период с октября 2017 г. по август 2022 г., медиана возраста составила 12,1 (9,9–15,0) года (основная группа).

Все пациенты на момент проведения МРТ-сканирования находились в острой фазе заболевания, до начала специфического лечения. В исследование включались пациенты, впервые заболевшие ОЛЛ, а также с первым рецидивом заболевания. В первой острой фазе заболевания находились 24 пациента, во второй острой фазе – 10. В *таблице 1* представлено число пациентов с нормальным уровнем лейкоцитов в периферической крови, с умеренной лейкопенией и гиперлейкоцитозом на момент первичного обследования.

Группа контроля состояла из 33 здоровых добровольцев (22 мальчика и 9 девочек) без гематологических заболеваний в анамнезе, медиана возраста составила 14,0 (12,3–15,0) года.

Все пациенты и/или их законные представители подписали письменное согласие на участие в исследовании. Исследование одобрено независимым этическим комитетом, утверждено решением ученого совета НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева и соответствует Этическому кодексу Всемирной медицинской ассоциации (Хельсинкская декларация) для исследований с участием людей [10].

### Протокол магнитно-резонансной томографии

МРТ-сканирование выполнялось в НМИЦ ДГОИ им. Дмитрия Рогачева на томографе Philips Achieva dStream 3T (Philips Healthcare, Best, Нидерланды). Для регистрации сигнала в комбинации друг с другом применялись приемная 8-канальная брюшная катушка (dStream FlexCoverage) и Posterior FlexCoverage (встроенная в стол томо-

**Рисунок 1**

МРТ костей таза в коронарной плоскости

А, Б – здоровый доброволец без гематологических заболеваний, T1-ВИ и T2-ВИ; В, Г – пациентка в острую фазу ОЛЛ до лечения, T1-ВИ и T2 STIR-ВИ

**Figure 1**

Coronal magnetic resonance image (MRI) of the pelvic bones

А, Б – a healthy volunteer without any hematological diseases, T1WI and T2WI; В, Г – a patient in the acute phase of ALL before treatment, T1WI and T2 STIR WI

**Таблица 1**

Число пациентов с первым и вторым острым периодом ОЛЛ в зависимости от показателя количества лейкоцитов в периферической крови

**Table 1**

The number of patients with the first and second acute episodes of acute lymphoblastic leukaemia (ALL) in accordance with the number of leukocytes in the peripheral blood

Параметр Parameter	Гиперлейкоцитоз ( $> 9,85 \times 10^9/\text{л}$ ) Hyperleukocytosis ( $> 9.85 \times 10^9/\text{L}$ )	Нормоцитоз ( $6,05-9,85 \times 10^9/\text{л}$ ) Normocytosis ( $6.05-9.85 \times 10^9/\text{L}$ )	Лейкопения ( $< 6,05 \times 10^9/\text{л}$ ) Leukopenia ( $< 6.05 \times 10^9/\text{L}$ )
Первый острый период ( $n = 24$ ) Before first-line treatment ( $n = 24$ )	9	3	12
Второй острый период ( $n = 10$ ) Before second-line treatment ( $n = 10$ )	6	2	2

графа). Исследовательский МРТ-протокол включал в себя измерение значений ФЖ с помощью методики mDixon-quant, выполненной в коронарной плоскости с полным захватом костей таза и поясничного отдела позвоночника.

Последовательность mDixon-quant имела следующие параметры регистрации: градиентная последовательность мультиэхо (6 времен эхо – минимальное  $TE (TE_1) - 1,2$  мс, инкремент ( $\Delta TE$ ) –  $0,8$  мс); время повторения  $TR - 11$  мс; угол опрокидывания ( $FA$ ) –

$3^\circ$ , для минимизации эффекта влияния T1-взвешенности; количество срезов – 35, толщина среза – 4 мм с зазором, составляющим  $-2$  мм; поле обзора –  $360 \times 360$  мм<sup>2</sup>, размер вокселя –  $3,5 \times 3,5 \times 4,0$  мм/ $2,5 \times 2,5 \times 2,0$  мм (при регистрации/реконструированный); частотное кодирование в направлении А/Р в целях минимизации артефактов от дыхания пациента; коэффициент ускорения SENSE – 2. Время сканирования 1 мин 2 с. Получение карт распределения PDFF осуществлялось автоматически на МРТ-консоли с использованием 7-пиковой жировой модели, а также с учетом необходимых поправок на T2\*-взвешенность.

На полученных картах, представленных на рисунке 1, рассчитывались средние значения PDFF из ROI размерами 100 мм<sup>2</sup> в телах позвонков L4 и L5, а также в правой и левой подвздошных костях (рисунк 2).

### Статистический анализ

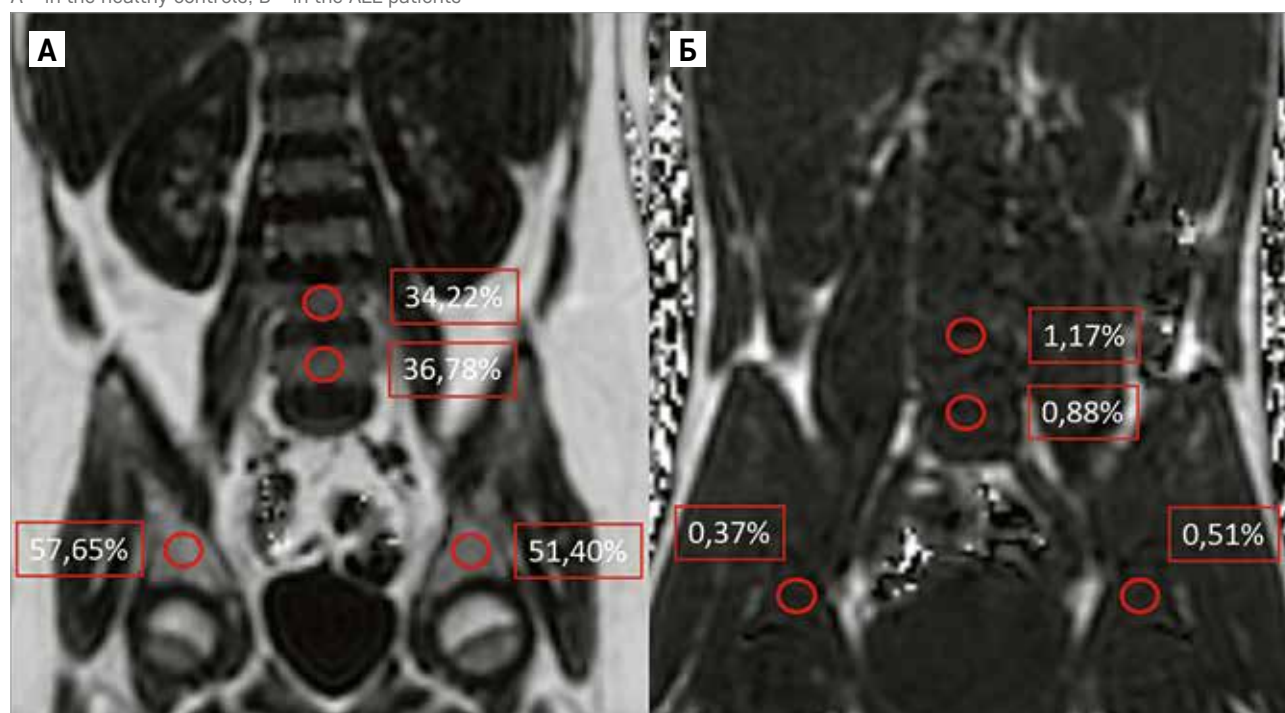
Анализ результатов проводился при помощи методов параметрической и непараметрической статистики. Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программных пакетов Jamovi 2.2.5 (the jamovi project (2021), version 1.6 (Computer Software, <https://www.jamovi.org>) и Excel 2016 (Microsoft, США).

Рисунок 2

Пример расположения регионов интереса (ROI) в области подвздошных костей и позвонков на картах ФЖ  
А – в группе здоровых добровольцев; Б – в группе пациентов с ОЛЛ

Figure 2

Regions of interest (ROIs) in the iliac bones and vertebrae on fat fraction (FF) maps  
А – in the healthy controls; Б – in the ALL patients



Проверка на нормальность производилась на основе анализа диаграмм распределения данных и при помощи критерия Шапиро–Уилка. Для сравнения данных, распределенных по нормальному закону, применялся t-критерий Стьюдента. Для оценки выборок, не подчиняющихся нормальному закону распределения, был применен U-критерий Манна–Уитни. Различия считались значимыми при  $p < 0,01$ , все  $p$ -значения были двусторонними.

Расчет чувствительности и специфичности метода производился при помощи ROC-анализа с подсчетом положительной и отрицательной предиктивной возможностей метода, а также расчета площади под кривой (AUC). Корреляционный анализ выполнялся с применением критерия Пирсона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Среднее значение ФЖ КМ по всем точкам в группе здоровых добровольцев составило  $41,2 \pm 9,88\%$ . В острую фазу ОЛЛ отмечалось резкое снижение ФЖ до  $3,09 \pm 2,47\%$ . Показатели средних значений измеряемого коэффициента диффузии для всех групп пациентов в различных точках измерения представлены в таблице 2.

Поскольку при данной работе распределение значений ФЖ и возраста пациентов в исследуемых выборках не всегда подчинялось законам нормаль-

ного распределения, то для сравнения значений внутри одной группы по разным точкам и групп между собой был выбран непараметрический статистический критерий.

При сравнении возраста пациентов с ОЛЛ и здоровых добровольцев при помощи U-критерия Манна–Уитни не было выявлено достоверной разницы ( $p < 0,05$ ). Также не было выявлено статистически значимой разницы при попарном сравнении показателей ФЖ внутри группы здоровых добровольцев по точкам IliumL и IliumR, L4 и L5 ( $p < 0,05$ ).

При попарном сравнении значений ФЖ КМ различных групп пациентов в каждой точке измерения (в каждой костной структуре) при помощи

Таблица 2

Показатели ФЖ для группы пациентов и группы контроля в различных ROI – в костях таза и поясничных позвонках, средние значения  $\pm$  стандартные отклонения

Table 2

FF mean values  $\pm$  standard deviations in the cases and the controls in different ROIs located in the pelvic bones and the lumbar vertebrae

Группа Group	ФЖ Ilium L, % FF Ilium L, %	ФЖ Ilium R, % FF Ilium R, %	ФЖ L4, % FF L4, %	ФЖ L5, % FF L5, %
Здоровые добровольцы (n = 33) Healthy controls (n = 33)	51,3 $\pm$ 9,5	49,9 $\pm$ 11,0	31,3 $\pm$ 8,73	32,4 $\pm$ 10,3
Острая фаза заболевания (n = 34) Acute phase of ALL (n = 34)	3,53 $\pm$ 2,75	3,72 $\pm$ 3,09	2,62 $\pm$ 1,86	2,47 $\pm$ 2,17

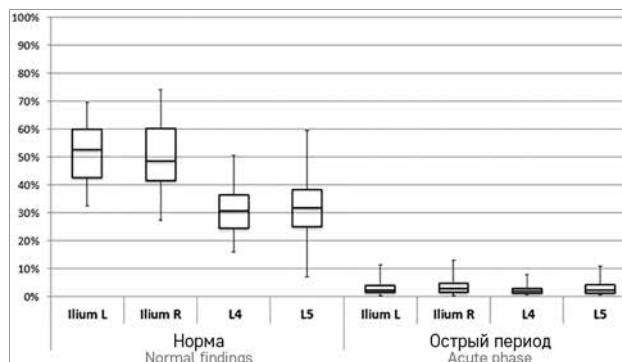


**Рисунок 3**

Диаграмма разброса значений переменной ФЖ для группы пациентов и группы контроля по 4 ROI – в костях таза и поясничных позвонках

**Figure 3**

FF in the cases and the controls in the four ROIs in the pelvic bones and the lumbar vertebrae

**Таблица 3**

Чувствительность и специфичность ФЖ в определении ОЛЛ

**Table 3**

The sensitivity and specificity of FF in determining ALL

ROI	Отсечка, % A cut-off point, %	Чувствительность, % Sensitivity, %	Специфичность, % Specificity, %	AUC
Ilium L	32,35	100	100	1,0
Ilium R	27,23	100	100	1,0
L4	16,07	100	100	1,0
L5	17,98	96,97	100	0,999

U-критерия Манна–Уитни была выявлена достоверная разница показателей ФЖ ( $p < 0,01$ ) (рисунок 3).

На основании ROC-анализа были выявлены границы отсечки значений ФЖ КМ, позволяющие отделить пациента с ОЛЛ от здорового добровольца. В таблице 2 указаны показатели чувствительности, специфичности и AUC для каждой точки измерения. На рисунке 4 представлена ROC-кривая для представленного анализа.

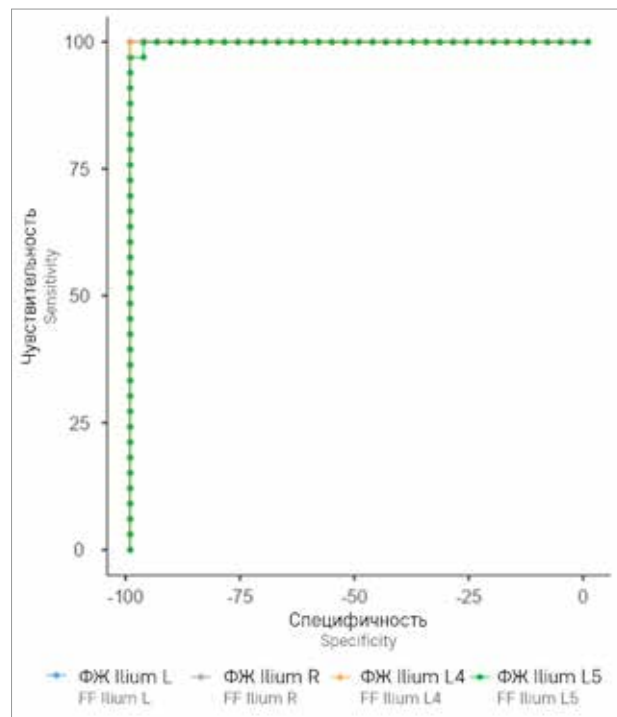
Пациенты были разделены на две группы в зависимости от того, первый раз был установлен диагноз или это был рецидив заболевания. На основании этой бинарной классификации была построена ROC-кривая для показателя ФЖ в КМ, которая не показала значимого результата (рисунок 5А). Помимо этого, пациенты были разделены на 2 группы: 1-я группа – пациенты с инициальной лейкопенией и нормоцитозом в периферической крови, 2-я группа – пациенты с гиперлейкоцитозом. На основании данной бинарной классификации была построена ROC-кривая для показателя ФЖ в КМ, которая не показала значимого результата (рисунок 5Б). Также был выполнен корреляционный анализ между количеством лейкоцитов и ФЖ КМ, коэффициент корреляции Пирсона составил  $-0,127$ , что указывает на отсутствие взаимосвязи этих 2 количественных показателей.

**Рисунок 4**

Кривая ошибок бинарной классификации ОЛЛ/не-ОЛЛ при помощи оценки ФЖ в КМ, рассчитанной на основе последовательности mDixon-quant

**Figure 4**

An ALL/non-ALL ROC-curve of FF in the bone marrow measured by mDixon-quant MRI



## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящем исследовании впервые в России на детской выборке показана чувствительность количественного метода МРТ оценки ФЖ в КМ у пациентов с ОЛЛ. Полученные показатели ФЖ КМ у пациентов с ОЛЛ существенно отличались от показателей здоровых добровольцев той же возрастной группы.

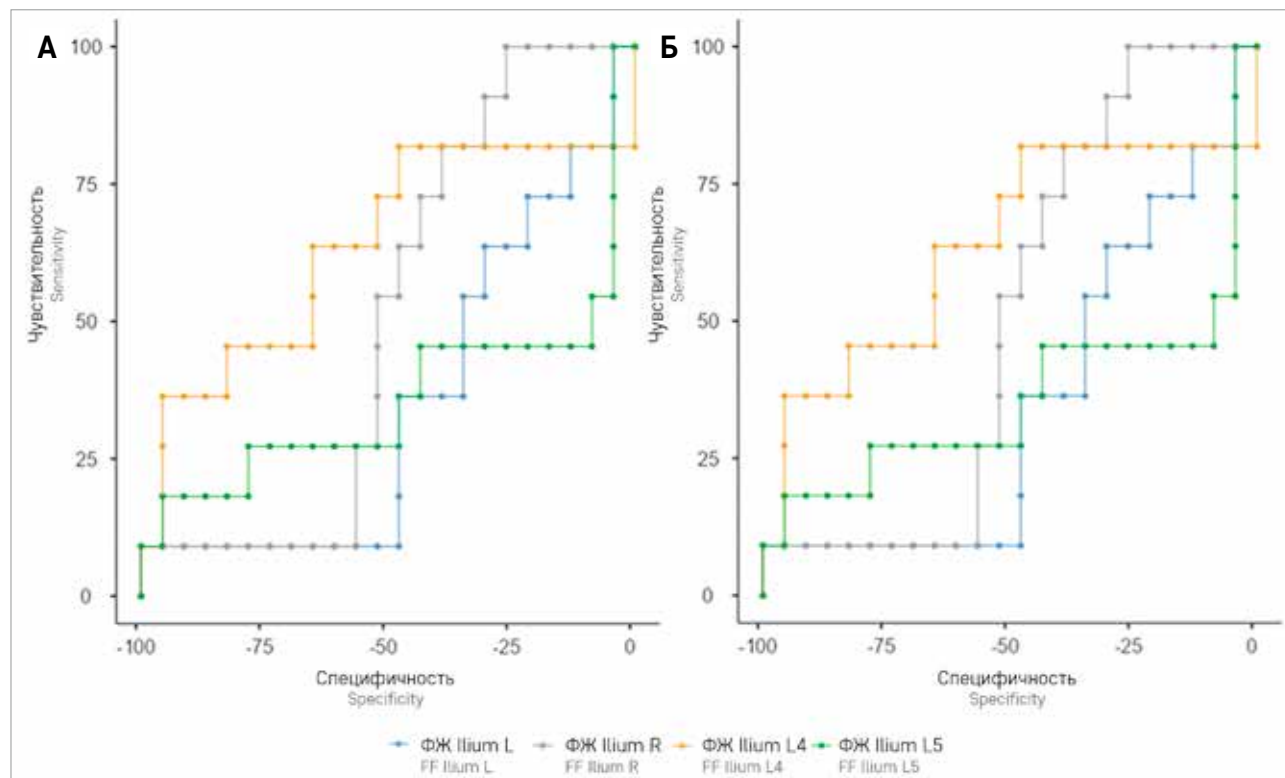
Современные протоколы терапии позволяют излечить до 95% маленьких пациентов, однако своевременная диагностика рецидива по-прежнему является актуальной [11]. С учетом полученных нами данных одним из методов превентивной неинвазивной диагностики и идентификации рецидива заболевания способна выступить МРТ с оценкой ФЖ КМ. МРТ не имеет лучевой нагрузки, не требует подготовки и редко требует применения анестезиологического пособия. Оценка состояния КМ при помощи МРТ может дать врачам дополнительную немаловажную информацию о КМ в целом, а не только о его миелоидной части. Помимо этого, МРТ позволяет оценить количество жира в любой костной структуре организма в зависимости от клинической необходимости.

Рисунок 5

Кривая ошибок бинарной классификации при помощи оценки ФЖ в КМ пациентов с ОЛЛ, рассчитанной на основе последовательности mDixon-quant  
А – для классификации первой и второй острых фаз заболевания; Б – для классификации наличия/отсутствия гиперлейкоцитоза в периферической крови

Figure 5

An ROC-curve of FF in the bone marrow of the ALL patients measured by the mDixon-quant sequence  
A – for the classification of the first and second acute phases of the disease; B – for the classification of the presence/absence of hyperleukocytosis in peripheral blood



Количество опубликованных исследований, посвященных оценке ФЖ в КМ у детей крайне ограничено. В 2017 г. была опубликована одна из первых статей, посвященных измерению ФЖ КМ в педиатрической популяции, однако эта работа была выполнена на когорте здоровых детей, измерения проводились только в области позвонков. По представленным данным, среднее значение ФЖ в позвонках L1–L5 в группе детей в возрасте от 9 до 18 лет составило  $32,9 \pm 11,3\%$ , что полностью согласуется с нашими данными [12].

Визуальная оценка КМ на изображениях МРТ очевидна, однако не объективна и не может дать нам никаких количественных характеристик, поэтому только ее может быть недостаточно для описания состояния КМ на момент исследования [4]. В данной работе была предпринята попытка подбора количественного параметра МРТ для объективизации видимых нами изменений.

В одной из последних работ 2021 г. были описаны пациенты со злокачественными изменениями КМ в возрасте от 3 до 10 лет (4 ребенка с ОЛЛ и 1 – с метастатической формой рабдомиосаркомы), при которых ФЖ составила  $3,8 \pm 1,2\%$ . Контрольная группа составила 7 детей в возрасте от 1 до 13 лет, среднее

значение ФЖ –  $46,1 \pm 12,3\%$  [13]. Наши данные также подтверждают гипотезу, что ФЖ существенно снижается при ОЛЛ. Однако наше исследование включает большее число здоровых добровольцев и более однородную выборку пациентов с одинаковым диагнозом.

В ходе анализа были найдены статистически достоверные отличия между количеством жира в КМ подвздошных костей и позвонков. Более низкое количество жира в позвонках может говорить о более высокой клеточности КМ в данных костных структурах. Снижение ФЖ в подвздошных костях и позвонках при ОЛЛ происходит равномерно. При данной нозологии статистически значимых различий ФЖ в позвонках и подвздошных костях не выявлено.

В острый период заболевания, независимо от того, впервые выявлено заболевание или это рецидив ОЛЛ, зафиксировано одинаково резкое падение показателя ФЖ.

Помимо этого, интересной находкой является то, что клеточность КМ никак не коррелирует с числом лейкоцитов в периферической крови пациента. Показатели периферической крови могут иметь существенный разброс при относительно небольшом разбросе значений ФЖ КМ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В проведенном исследовании было показано, что показатели ФЖ КМ у пациентов в острую фазу лейкемии значительно отличаются при сравнении с контрольной группой здоровых добровольцев. Таким образом, у детей с подозрением на лейкемию или уже установленным диагнозом количественная МРТ-оценка показателей ФЖ представляет собой новый быстрый, безболезненный и неинвазивный метод диагностики и подтверждения высокой клеточности КМ, а также может стать потенциальным методом мониторинга состояния КМ при других гематологических заболеваниях.

## ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Статья финансировалась в рамках гранта Российского научного фонда №22-25-00553 «Новые МРТ-технологии в исследовании тканевых характеристик костного мозга при апластической анемии: возможности контроля эффективности терапии и сравнение с результатами гистопатоморфологии».

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

## ORCID

**Tereshchenko G.V.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7317-7104>

**Kriventsova N.A.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4164-004X>

**Kupriyanov D.A.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5662-896X>

**Abu Jabal M.I.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5216-7427>

**Kopaneva A.D.** ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8093-3221>

**Myakova N.V.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4779-1896>

**Litvinov D.V.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7461-0050>

**Karachunskiy A.I.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9300-5198>

**Novichkova G.A.** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2322-5734>

## Литература

1. Мень Т.Х., Поляков В.Г., Алиев М.Д. Эпидемиология злокачественных новообразований у детей в России. Онкопедиатрия 2014; (1): 7–12.
2. Румянцев А.Г., Масчан А.А., Румянцев Ю.В., Карачунский А.И. Федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению острого лимфобластного лейкоза у детей и подростков. М.; 2015. С. 42.
3. Криволапов Ю.А. Биопсии костного мозга: научно-практическое издание. М.: Практическая медицина; 2014.
4. Foster K., Chapman S., Johnson K. MRI of the marrow in the paediatric skeleton. Clin Radiol 2004; 59 (8): 651–73. DOI: 10.1016/j.crad.2004.02.001
5. Karampinos D.C., Ruschke S., Dieckmeyer M., Diefenbach M., Franz D., Gersing A.S., et al. Quantitative MRI and spectroscopy of bone marrow. J Magn Reson Imaging 2018; 47 (2): 332–53. DOI: 10.1002/jmri.25769
6. Chan B.Y., Gill K.G., Rebsamen S.L., Nguyen J.C. MR Imaging of Pediatric Bone Marrow. Radiographics. 2016; 36 (6): 1911–30. DOI: 10.1148/rg.2016160056
7. Bainbridge A., Bray T.J.P., Sen Gupta R., Hall-Craggs M.A. Practical Approaches to Bone Marrow Fat Fraction Quantification Across Magnetic Resonance Imaging Platforms. J Magn Reson Imaging 2020; 52 (1): 298–306. DOI: 10.1002/jmri.27039
8. Abl O., Friedman J., Doyle J. Performing bone marrow aspiration and biopsy in children: Recommended guidelines. Paediatr Child Health 2008; 13 (6): 499–501. DOI: 10.1093/pch/13.6.499
9. Baum T., Rohrmeier A., Syväri J., Diefenbach M.N., Franz D., Dieckmeyer M., et al. Anatomical variation of age-related changes in vertebral bone marrow composition using chemical shift encoding-based water-fat magnetic resonance imaging. Front Endocrinol (Lausanne) 2018; 9: 141. DOI: 10.3389/fendo.2018.00141
10. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. JAMA 2013; 310 (20): 2191–4. DOI: 10.1001/jama.2013.281053
11. Whitehead T.P., Metayer C., Wiemels J.L., Singer A.W., Miller M.D. Childhood leukemia and primary prevention. Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care 2016; 46 (10): 317–52. DOI: 10.1016/j.cppeds.2016.08.004
12. Ruschke S., Pokorney A., Baum T., Eggers H., Miller J.H., Hu H.H., et al. Measurement of vertebral bone marrow proton density fat fraction in children using quantitative water-fat MRI. MAGMA 2017; 30 (5): 449–60. DOI: 10.1007/s10334-017-0617-0
13. Samet J.D., Deng J., Schafernak K., Arva N.C., Lin X., Peevey J., et al. Quantitative magnetic resonance imaging for determining bone marrow fat fraction at 1.5 T and 3.0 T: a technique to noninvasively assess cellularity and potential malignancy of the bone marrow. Pediatr Radiol 2021; 51 (1): 94–102. DOI: 10.1007/s00247-020-04809-8