

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ФРАКЦИИ ЖИРА ПРИ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ В ВЫЯВЛЕНИИ СНИЖЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОЙ ПЛОТНОСТИ КОСТИ У ПАЦИЕНТОВ С ГЕМОБЛАСТОЗАМИ: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ОПИСАТЕЛЬНОЕ ОДНОЦЕНТРОВОЕ

¹В. С. Блинов[✉], ²Ю. С. Китаева[✉], ³Е. А. Праскурничий[✉]

¹Верхнепышминская центральная городская клиническая больница имени П. Д. Бородина, Верхняя Пышма, Россия

²Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

³Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

ВВЕДЕНИЕ: На прочность кости влияет количество минеральных веществ, микроархитектоника кости, количество органических веществ, в том числе жировой ткани. Традиционные методы исследования количества жировой ткани в костном мозге инвазивны. Магнитно-резонансная томография неинвазивна и может быть использована для оценки жировой фракции костной ткани. Связи между фракцией жира и минеральной плотностью кости недостаточно изучены.

ЦЕЛЬ: Исследовать диагностические возможности измерения фракции жира в поясничных позвонках при магнитно-резонансной томографии у пациентов с гемобластомами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ: Проанализированы магнитно-резонансные томограммы I–IV поясничных позвонков (импульсная последовательность IDEAL) и данные двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии 46 пациентов с гемобластомами (средний возраст женщин 41,6±13,7 года, средний возраст мужчин 43,7±12,3 года). Магнитно-резонансная томография и двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия проведена на аппаратах GE Signa Voyager и Dexam соответственно. Фракция жира рассчитывалась как соотношение интенсивности сигнала от протонов жира и протонов воды на изображениях поясничных позвонков.

Статистика: Для оценки диагностической значимости методик использовался ROC-анализ. Для вычисления корреляции использовался корреляционный анализ Пирсона. Для вычисления изменчивости измерений между наблюдателями использовался графический метод Бланда–Альтмана.

РЕЗУЛЬТАТЫ: Значения фракции жира поясничных позвонков у мужчин с нормальными значениями минеральной плотности кости (МПК) составили 67,8±6% (58–72%), у женщин — 58,3±11% (45–68%). У мужчин со снижением МПК значения фракции жира составили 72,2±8% (61–86%), у женщин — 74,1±7% (59–83%). Средняя разница для измерений интенсивности сигнала от протонов жира между двумя наблюдателями составила 11%, для протонов воды — 12% (p<0,05). У женщин выявлена умеренная корреляция между МПК и фракцией жира (r=–0,38, p=0,04), умеренная корреляция между фракцией жира и возрастом (r=0,39, p=0,04). У мужчин выявлена слабая корреляция между МПК и фракцией жира (r=–0,26, p=0,05). Чувствительность измерения фракции жира более 75% при снижении минеральной плотности кости составила 60%, специфичность 85%, точность 73% (p<0,05).

ОБСУЖДЕНИЕ: При уменьшении минеральной плотности кости увеличивается фракция жира, при увеличении возраста фракция жира увеличивается. У мужчин с нормальными значениями минеральной плотности кости фракция жира выше, чем у женщин того же возраста. Низкие значения межисследовательской вариабельности показывают высокую воспроизводимость вычисления значений интенсивности сигнала на изображениях IDEAL. Данные исследования соотносятся с данными других работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: МРТ поясничного отдела позвоночника с дополнением последовательности IDEAL у пациентов с гемобластомами может быть использована для неинвазивной оценки состояния костей, измерения фракции жира и косвенной оценки снижения минеральной плотности кости с умеренной диагностической точностью и воспроизводимостью, без дополнительного назначения двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остеопороз, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, магнитно-резонансная томография, фракция жира

* Для корреспонденции: Блинов Владислав Сергеевич, e-mail: VladSBlinov@mail.ru

Для цитирования: Блинов В.С., Китаева Ю.С., Праскурничий Е.А. Исследование диагностических возможностей измерения фракции жира при магнитно-резонансной томографии в выявлении снижения минеральной плотности кости у пациентов с гемобластомами: ретроспективное описательное одноцентровое // *Лучевая диагностика и терапия*. 2026. Т. 17, № 1. С. 88–95, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-1-88-95>.

STUDY OF DIAGNOSTIC CAPABILITIES OF FAT FRACTION MEASUREMENT WITH MAGNETIC RESONANCE IMAGING IN DETECTING DECREASE IN BONE MINERAL DENSITY IN PATIENTS WITH HEMOBLASTOSIS: RETROSPECTIVE DESCRIPTIVE SINGLE-CENTER

¹Vladislav S. Blinov[✉], ²Yulia S. Kitaeva[✉], ³Evgeniy A. Praskurnichiy[✉]

¹Verkhnepyshminskaya Central City Clinical Hospital named after P. D. Borodin, Verkhnyaya Pyshma, Russia

²Ural State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russia, Yekaterinburg, Russia

³Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov, Moscow, Russia

INTRODUCTION: Bone strength depends on the amount of minerals, microarchitecture and the amount of organic matter, including adipose tissue. Traditional methods for assessing the amount of fat in bone marrow are invasive. Magnetic resonance imaging is noninvasive and can be used to assess the fat fraction in bone. The associations between fat fraction and bone mineral density are poorly understood.

OBJECTIVE: To study the diagnostic capabilities of measuring fat fraction using magnetic resonance imaging in patients with hemoblastoses.

MATERIALS AND METHODS: Magnetic resonance imaging (MRI) scans of lumbar vertebrae 1–4 (IDEAL pulse sequence) and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) data from 46 patients with hematological malignancies (mean age of women, 41.6 ± 13.7 years; mean age of men, 43.7 ± 12.3 years) were analyzed. MRI and DXA scans were performed using GE Signa Voyager and Dexxum systems respectively. The fat fraction was calculated as the ratio of the signal intensity of fat protons to water protons in lumbar vertebrae images.

Statistics: ROC analysis was used to assess the diagnostic significance of the methods. Pearson correlation analysis was used to calculate correlation. The Bland-Altman graphical method was used to calculate interobserver variability.

RESULTS: The fat fraction values for men with normal bone mineral density values were $67.8 \pm 6\%$ (58–72%), and for women — $58.3 \pm 11\%$ (45–68%). For men with decreased BMD the fat fraction values were $72.2 \pm 8\%$ (61–86%), and for women — $74.1 \pm 7\%$ (59–83%). The average difference in the signal intensity measurements from fat protons between two observers was 7%, for water protons — 8% ($p < 0.05$). For women a moderate correlation was found between BMD and fat fraction ($r = -0.38$, $p = 0.04$), a moderate correlation was found between fat fraction and age ($r = 0.39$, $p = 0.04$). For men a weak correlation was found between BMD and fat fraction ($r = -0.26$, $p = 0.05$). The sensitivity for a fat fraction greater than 75% with a decrease in bone mineral density was 60%, specificity 85%, accuracy 73% ($p < 0.05$).

DISCUSSION: With decreasing bone mineral density the fat fraction increases, and with increasing age the fat fraction increases. For men with normal bone mineral density values the fat fraction is higher than for women of the same age. Low interobserver variability values indicate high reproducibility of signal intensity values calculation on IDEAL sequence images. These data are consistent with data from other studies.

CONCLUSION: In patients with hemoblastoses lumbar spine MRI supplemented with the IDEAL sequence can be used for non-invasive bone assessment, fat fraction measurement, and indirect assessment of bone mineral density loss with relatively with moderate diagnostic accuracy and reproducibility, without the need for dual-energy X-ray absorptiometry.

KEYWORDS: osteoporosis, dual-energy X-Ray absorptiometry, magnetic resonance imaging, fat fraction

* For correspondence: Vladislav S. Blinov, e-mail: VladSBlinov@mail.ru

For citation: Blinov V.S., Kitaeva Yu.S., Praskurnichiy E.A. Study of diagnostic capabilities of fat fraction measurement with magnetic resonance imaging in detecting decrease in bone mineral density in patients with hemoblastosis: retrospective descriptive single-center // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2026. Vol. 17, No. 1. P. 88–95, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2026-17-1-88-95>.

Введение. Гемобластозы — это группа злокачественных заболеваний, развивающихся из кроветворной и лимфоидной тканей. Лечение гемобластозов заключается в применении различных схем химиотерапии, лучевой терапии и использовании глюкокортикостероидов (ГКС). ГКС способствуют снижению минеральной плотности кости (МПК)

и потере костной массы, что повышает риск переломов [1]. Пациенты с гемобластомами, как правило, молодые люди с высокой ожидаемой продолжительностью жизни, поэтому особое внимание необходимо уделять диагностике и своевременной профилактике осложнений терапии ГКС: снижению МПК, развитию остеопороза и низкоэнергетических переломов.

Хотя двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) признана Всемирной организацией здравоохранения «золотым стандартом» диагностики снижения МПК, ее клиническое применение имеет ограничения. В частности, диагностическая точность ДРА может быть снижена при наличии дегенеративно-дистрофических изменений в поясничных позвонках, при наличии артефактов от металлических инородных тел, 25% пациентов с низкоэнергетическими переломами костей имеют нормальные значения МПК при проведении ДРА [2]. По этой причине поиск альтернативных и более точных диагностических методов является очень актуальным.

МПК — это количество костной массы на единицу объема или площади. МПК является одной из костных показателей прочности кости. Прочность кости зависит также от толщины кортикального слоя, морфологии губчатого вещества кости, внутренних свойств костной ткани [3]. На внутренние свойства кости влияет, в том числе, количество жировой ткани. У здоровых людей существует обратная связь между накоплением жира в костном мозге и МПК, независимо от возраста, пола и общего содержания жира в организме [4]. Посмертные исследования показали, что у пациентов с остеопорозом содержание жира в костном мозге на 10% больше, чем у здоровых людей [5]. Кроме того, несколько исследований показали, что у пациентов с переломами позвонков содержание жира в костном мозге выше [6].

Костномозговые адипоциты находятся в костном мозге в тесном контакте с костными и гемопоэтическими клетками. Адипоциты костного мозга практически отсутствуют при рождении, их количество увеличивается в процессе роста и развития скелета и максимальное их количество наблюдается после менопаузы у женщин и у представителей обоих полов в старости. Только 20–30% костного мозга в возрасте до 20 лет представляет собой желтый костный мозг, и его количество увеличивается примерно на 7% каждые 10 лет, достигая $\pm 50\%$ к 50 годам [7]. До 50 лет скорость замещения красного костного мозга жировой тканью у мужчин выше, чем у женщин, но после 50 лет эта разница исчезает. Увеличение количества жира в костном мозге наблюдается при остеопорозе, в том числе вызванном применением ГКС, ожирении, сахарном диабете.

Для измерения количества жира в костном мозге используется несколько методов. Традиционно применяется биопсия гребня подвздошной кости. Определяемыми параметрами при биопсии являются общий объем адипоцитов, размер отдельных адипоцитов и их количество [8]. Биопсия является инвазивной методикой, соответственно не всегда доступна и сопровождается определенными рисками.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является неинвазивным методом и может быть использована для оценки характеристик костной ткани. Количество жировой ткани можно измерять

при следующих импульсных последовательностях: инверсия-восстановление спинного эха (STIR), итеративное разложение воды и жира (DIXON), при магнитно-резонансной спектроскопии [9].

Разделение жира и воды было предложено Томасом Диксоном в 1984 г. на основе их химического сдвига. Метод Диксона основан на разнице в резонансной частоте между жиром и водой. Изображения получают в два времени эха, в которые сигналы от протонов водорода жира и водорода воды совпадают и не совпадают по фазе. За одну последовательность по методу Диксона получают изображения только сигнала от жира, только сигнала от воды, синфазные и противофазные изображения [10]. На основе метода Диксона разработана последовательность IDEAL. Последовательность лишена недостатков метода Диксона и позволяет получить фракцию жира в нескольких позвонках за короткий промежуток времени [11].

Цель. Исследовать диагностические возможности измерения фракции жира при магнитно-резонансной томографии у пациентов с гемобластомами.

Материалы и методы. Исследование выполнялось в соответствии с принципами Хельсинской декларации. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом ГАУЗ СО «Областная клиническая больница № 1» (протокол № 158 от 06.03.2024). Дизайн исследования: ретроспективное описательное одноцентровое. Анализ данных пациентов, проходивших обследование в ГАУЗ СО «Верхнепышминская ЦГКБ им. П. Д. Бородина», выполнен за период с июня 2024 по январь 2025 г. В исследование включено 29 женщин (средний возраст $41,6 \pm 13,7$ года, от 19 до 52 лет) и 17 мужчин (средний возраст $43,7 \pm 12,3$ года, от 19 до 57 лет). 10 человек (22%) с лимфомой Ходжкина, 11 человек (24%) с острым лимфобластным лейкозом, 17 человек (37%) с острым миелобластным лейкозом, 5 человек (11%) с хроническим миелолейкозом, один человек (2%) с Т-клеточной лимфомой, 2 человека (4%) с В-клеточной лимфомой.

Критериями включения в исследование было: 1) наличие гемобластома; 2) отсутствие противопоказаний для ДРА и МРТ. Критерии исключения: 1) наличие специфического поражения костной ткани; 2) наличие металлических конструкций в областях сканирования (эндопротезы тазобедренных суставов, транспедикулярные винты в позвонках); 3) наличие патологических переломов позвонков.

Всем пациентам, включенным в исследование, выполнялась МРТ поясничного отдела позвоночника (ПОП). МРТ проводилась на томографе GE Signa Voyager с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл. Пациентам была проведена МРТ ПОП по рутинному протоколу, протокол дополнялся сагиттальной последовательностью IDEAL со средним временем сканирования 3 мин 50 сек. Обработка полученных изображений проводилась на рабочей станции

Advanced Workstation 4.7 (GE Healthcare). Один врач-рентгенолог оценивал изображения для исключения случаев, не соответствующих критериям включения. После удаления данных случаев изображения IDEAL передавались для анализа двум врачам-рентгенологам с опытом работы более 10 лет. Врачи-рентгенологи не общались между собой и проводили анализ в разное время. Для измерения интенсивности сигнала от поясничных позвонков (L_{I-IV}) использовался ручной метод, путем вычерчивания округлой зоны интереса (ROI) в центральных отделах тел поясничных позвонков (рис. 1).

пакета программ IBM SPSS Statistics 23. Нормальность распределения параметрических параметров оценивалась с помощью теста Шапиро–Уилка. Для оценки достоверности различий использовался однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для количественных переменных рассчитывались средние арифметические значения и стандартные отклонения. Для оценки диагностической значимости методик строились ROC-кривые с вычислением площади под ROC-кривой, чувствительности и специфичности. Для вычисления корреляции между двумя различными параметрическими

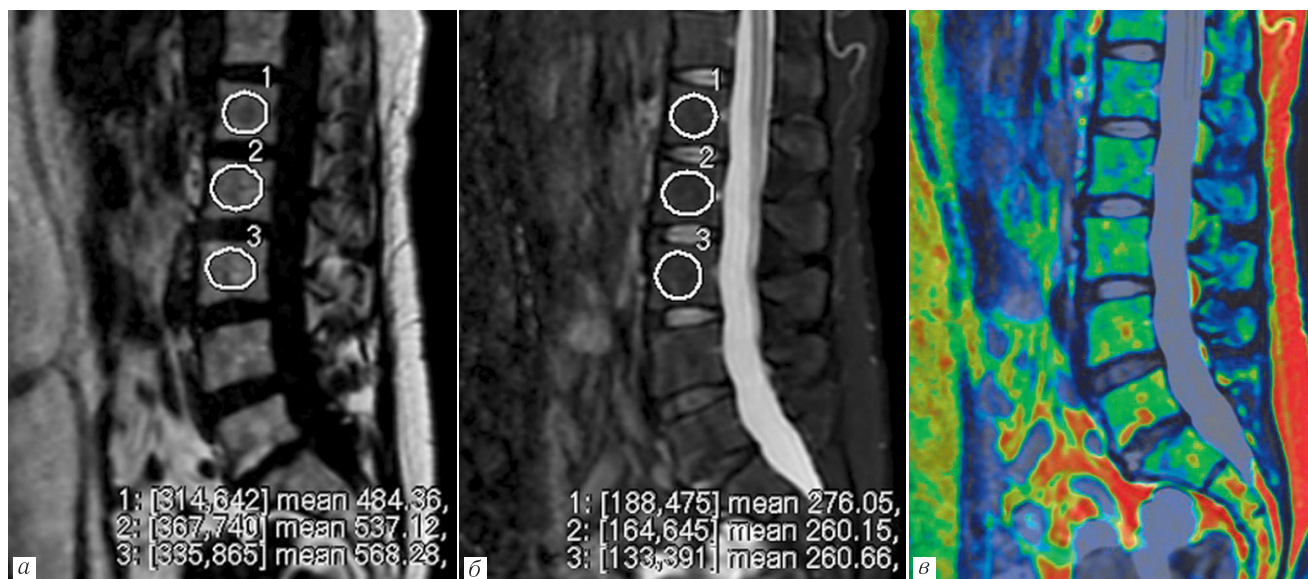


Рис. 1. Магнитно-резонансные томограммы поясничного отдела позвоночника пациентки В., 41 год, лимфома Ходжкина, сагиттальные срезы: *а* — сигнал от протонов жира на изображениях поясничных позвонков; *б* — сигнал от протонов воды на изображениях поясничных позвонков; *в* — цветовая карта распределения жира; *а, б* — локализация области интереса (ROI) с результатами измерения интенсивности сигнала губчатого вещества в позвонках L_{I-III}

Fig. 1. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine of patient V., 41 years old, Hodgkin's lymphoma, sagittal sections: *a* — signal from fat protons in images of lumbar vertebrae; *b* — signal from water protons in images of lumbar vertebrae; *v* — color map of fat distribution; *a, б* — localization of the region of interest (ROI) with the results of signal intensity measurements of the spongy substance of the L_{I-III} vertebrae

Фракция жира была вычислена по формуле: $FF = SI_f / (SI_f + SI_w) \times 100$, где FF — фракция жира (%), SI_f — значения интенсивности сигнала от протонов жира на изображениях позвонков; SI_w — значения интенсивности сигнала от протонов воды на изображениях позвонков.

Всем пациентам выполнена двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия поясничного отдела позвоночника (L_{I-IV}) и проксимальных отделов бедренной кости на остеоденситометре DEXA (OsteoSys, Южная Корея). Получены значения МПК в граммах на см². Для мужчин и женщин старше 50 лет и женщин в постменопаузе вычислялся T-критерий. Для мужчин и женщин младше 50 лет и женщин без менопаузы использовался Z-критерий.

Методика статистической обработки данных исследования. Статистический анализ данных проводился на персональном компьютере с помощью

переменными применялся корреляционный анализ Пирсона (r). Сила корреляции оценивалась по шкале Чеддока. Для вычисления изменчивости измерений между наблюдателями использовался графический метод Бланда–Альмана. Статистически значимым считался уровень различий $p < 0,05$.

Результаты. Согласно критериям включения и исключения проанализированы данные 46 пациентов. При проведении ДРА в группе из 17 мужчин выявлено 8 пациентов (47%) с T-критерием ниже $-1,0$ CO или Z-критерием ниже $-2,0$ CO, что интерпретировалось как «снижение МПК». В группе из 29 женщин 14 пациенток (48%) имели сниженную МПК по тем же критериям, что и у мужчин. Показатели в группе исследования, полученные при ДРА, представлены в таблице.

Значения фракции жира у мужчин с нормальными показателями МПК составили $67,8 \pm 6\%$ (58–72%),

Показатели состояния костной ткани при двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии

Table

Indicators of bone tissue condition during DXA

Показатель	Пол	Норма	Снижение МПК
Минеральная плотность кости, г/см ²	Мужчины (n=17)	1,29±0,17 (n=9)	1,06±0,09 (n=8)
	Женщины (n=29)	1,2±0,15 (n=15)	1,04±0,10 (n=14)
Индекс массы тела	Мужчины (n=17)	25,8±5,2 (n=9)	25,1±2,0 (n=8)
	Женщины (n=29)	23,1±4,9 (n=15)	24,1±4,8 (n=14)

у женщин — 58,3±11% (45–68%). У мужчин со снижением МПК значения фракции жира составили 72,2±8% (61–86%), у женщин — 74,1±7% (59–83%). На рис. 2 представлены значения фракции у мужчин и женщин исследуемой группы.

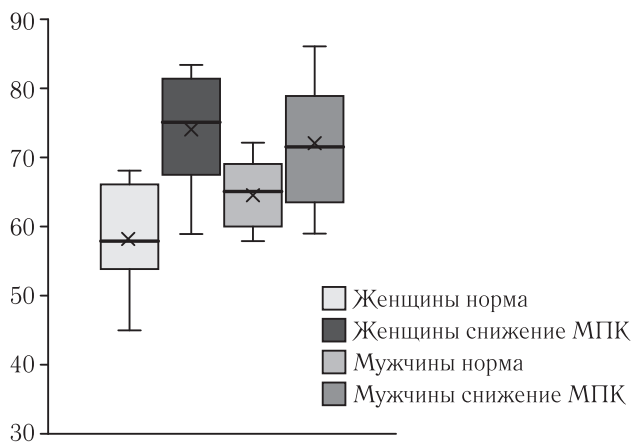


Рис. 2. Значения фракции жира у мужчин и женщин с гемобластомами с нормальными и сниженными значениями минеральной плотности кости

Fig. 2. The values of fat fraction in men and women with hemoblastoses with normal and reduced BMD

При нормальных значениях МПК у 95% женщин с гемобластомами фракция жира будет менее 62%, при снижении МПК фракция жира у 95% женщин будет более 75% ($p=0,03$). У мужчин значения фракции жира менее 67% и более 79% будут соответствовать нормальным и сниженным значениям МПК соответственно ($p=0,03$).

При значениях фракции жира 75% и более чувствительность измерений при снижении МПК составляет 60%, специфичность 85%, точность 73% ($p<0,05$). Площадь под ROC-кривой — 0,77 ($p=0,003$), порог Юдена — 0,77, что соответствует хорошему качеству метода. На рис. 3 приведен график ROC-анализа для измерений фракции жира и снижения МПК.

Исследование изменчивости измерений между наблюдателями. Изменчивость измерений между наблюдателями оценивалась с помощью графического метода Бланда–Альтмана, путем оценки средней разницы между индивидуальными измерениями интенсивности сигнала на изображениях позвонков и средними значениями двух измерений на одном и том же изображении двумя исследователями.

Средняя разница для измерений интенсивности сигнала от протонов жира составила 22±5, что соответствует 11% от общей средней интенсивности сигнала ($p<0,05$). Средняя разница для измерений интенсивности сигнала от протонов воды составила 16±4, что соответствует 12% от общей средней интенсивности сигнала ($p<0,05$).

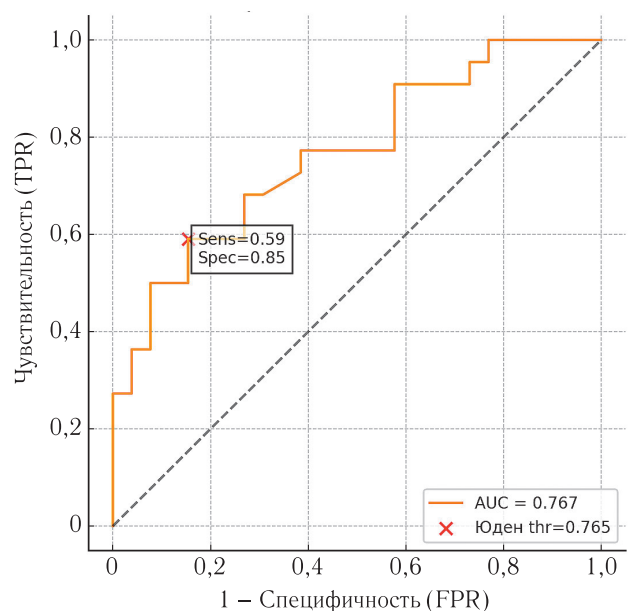


Рис. 3. ROC-кривая при значениях фракции жира 75% при снижении минеральной плотности кости

Fig. 3. ROC-curve for fat fraction values of 75% with decreased bone mineral density

Исследование корреляции между параметрами.

Для анализа корреляции между МПК и фракцией жира использовался корреляционный анализ Пирсона. У женщин коэффициент корреляции между МПК и значениями фракции жира составил $r=-0,38$ ($p=0,04$), что указывает на умеренную отрицательную связь: при уменьшении значений МПК фракция жира увеличивается. Корреляция между фракцией жира и ИМТ слабая ($r=0,19$) и статистически незначимая ($p=0,3$). Корреляция между возрастом и фракцией жира умеренная ($r=0,39$), статистически достоверная ($p=0,04$). На рис. 4 представлены графики корреляционного анализа Пирсона у женщин с гемобластомами.

У мужчин коэффициент корреляции между МПК и фракцией жира составил $r=-0,26$ ($p=0,05$), коэффициент указывает на слабую отрицательную связь: при уменьшении значений МПК фракция

жира увеличивается. Корреляция между фракцией жира и ИМТ — слабая ($r=0,15$) и статистически незначимая ($p=0,5$). Корреляция между возрастом и фракцией жира — слабая ($r=0,09$, $p=0,7$).

ИМТ и фракцией жира не было выявлено. Y. Zhao и соавт. также не обнаружили статистически значимой корреляции между фракцией жира и ИМТ, а также полом [15].

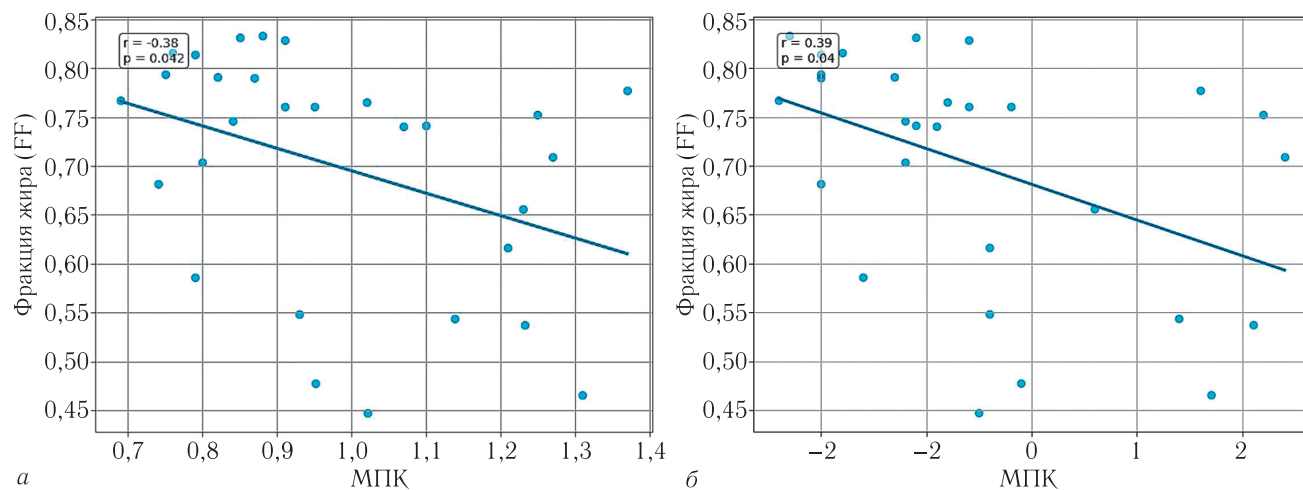


Рис. 4. *a* — График корреляции между фракцией жира и минеральной плотностью кости у женщин с гемобластозами; *b* — график корреляции между фракцией жира и возрастом

Fig. 4. *a* — Graph of correlation between fat fraction and BMD in women with hemoblastoses; *b* — graph of correlation between fat fraction and age

Обсуждение. Костный мозг является динамической биологической системой, состав которой изменяется в процессе роста, старения и множества патологических процессов, в том числе при остеопорозе [12]. При остеопорозе красный костный мозг заменяется желтым костным мозгом. С помощью МРТ можно оценить фракцию жира как косвенный признак трансформации красного костного мозга в желтый. МРТ активно используется для оценки заболеваний поясничного отдела позвоночника, для оценки специфического поражения позвонков при онкогематологических заболеваниях. Добавление МР-последовательностей, позволяющих вычислить фракцию жира, таких как IDEAL, к рутинному протоколу обследования позвоночника, позволит провести косвенную оценку снижения МПК.

В настоящем исследовании показано, что при уменьшении МПК увеличивается фракция жира, при увеличении возраста фракция жира также увеличивается. Данное исследование впервые изучало диагностические возможности измерения фракции жира в поясничных позвонках у пациентов с гемобластомами. Другие исследования оценивали пациентов старше 50 лет без гемобластозов, но также продемонстрировали схожие результаты. А.Д. Лукашев и соавт. приводят обратную корреляцию между фракцией жира и МПК у 71 пациента со средним возрастом 57 лет [13]. F. Zhou и соавт. приводят обратную корреляцию между фракцией жира (последовательность IDEAL) и МПК, положительную корреляцию между фракцией жира и возрастом у пациентов старше 30 лет и приходят к выводу, что фракция жира может стать новым биологическим признаком остеопороза [14]. В настоящем исследовании корреляции между

Авторы отмечают, что значения фракции жира увеличиваются по мере снижения МПК как у мужчин, так и у женщин [16, 17]. В публикациях также отмечено, что при нормальной МПК значения фракции жира у мужчин выше, чем у женщин. Это согласуется с результатами нашего исследования. Фракция жира у мужчин с нормальными значениями МПК была выше, чем у женщин — 67% и 58% соответственно.

В настоящем исследовании показано, что при фракции жира более 75% у женщин и более 79% у мужчин у пациентов с гемобластомами будет фиксироваться снижение МПК. Z. Liu и соавт. приводят значения фракции жира $65 \pm 9\%$ у пациентов с остеопорозом и $69 \pm 8\%$ с остеопорозными переломами [18]. Авторы приведенной статьи исследовали группу пациентов старше 50 лет с болями в пояснице, без онкогематологического анамнеза, в нашем исследовании пациенты были преимущественно младше 50 лет.

Выявленная чувствительность, специфичность и точность порогов фракции жира в 75% и более к снижению МПК составили 60%, 85% и 73% соответственно. T. Aoki и соавт. приводят чувствительность последовательности IDEAL к выявлению остеопороза в 69% при специфичности 64% и демонстрируют умеренную обратную корреляцию между МПК и фракцией жира ($r=-0,313$), а также сообщают, что скорость нарастания фракции жира за десятилетие жизни составляет около 6,4% [16].

Перспективным представляется использование систем для автоматической сегментации позвонков и автоматического вычисления фракции жира. J. Zhou и соавт. продемонстрировали возможности моделей глубокого обучения к точной сегментации

позвонков и оценки фракции жира, сопоставимые с результатами ручной сегментации. Авторы приводят разницу в измерениях по методу Бланда–Альтмана от $-3,3$ до $+2,1\%$ и отмечают скорость автоматической сегментации позвонков 16 ± 1 сек. [19]. В настоящем исследовании разница в измерениях интенсивности сигналов от протонов воды и протонов жира была не более 12% .

Данное исследование имеет несколько ограничений. Размер выборки был относительно небольшим, необходимы дальнейшие исследования на большей выборке для корректировки полученных пороговых

значений. В исследование включены пациенты с различными видами гемобластозов, в дальнейшем необходимо исследовать более однородные по нозологии группы пациентов.

Заключение. МРТ поясничного отдела позвоночника с дополнением последовательности IDEAL у пациентов с гемобластомами может быть использована для неинвазивной оценки состояния костей, измерения фракции жира и косвенной оценки снижения минеральной плотности кости с умеренной диагностической точностью и воспроизводимостью, без дополнительного назначения ДРА.

Сведения об авторах:

Блинов Владислав Сергеевич — кандидат медицинских наук, заведующий рентгенодиагностическим отделением государственного автономного учреждения здравоохранения Свердловской области «Верхнепышминская центральная городская клиническая больница имени П. Д. Бородина», 624090, г. Верхняя Пышма, ул. Чайковского, д. 32; e-mail: VladSBlinov@mail.ru; ORCID 0000-0002-4677-8614;

Китаева Юлия Сергеевна — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры пропедевтики внутренних болезней федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 620028, Екатеринбург, ул. Репина, д. 3; e-mail: JKhema@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4092-6305;

Праскурничий Евгений Аркадьевич — доктор медицинских наук, заведующий кафедрой терапии медико-биологического университета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский научно-исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации; 117997, Москва, ул. Островитянова, д. 1; e-mail: praskurnichy@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966.

Information about the authors:

Vladislav S. Blinov — Cand. of Sci. (Med.), Head of the X-ray diagnostic department of State Autonomous Healthcare Institution of the Sverdlovsk Region «Verkhnepyshminskaya Central City Clinical Hospital named after P. D. Borodin»; 624090, Russia, Verkhnyaya Pyshma, st. Chaykovskogo, 32; e-mail: VladSBlinov@mail.ru; ORCID 0000-0002-4677-8614;

Yulia S. Kitaeva — Cand. of Sci. (Med.), Assistant of the Department of Propaedeutics of Internal Diseases Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Urals State Medical University» of the Ministry of Health of Russia; 620028, Ekaterinburg, st. Repina; e-mail: JKhema@yandex.ru; ORCID 0000-0002-4092-6305;

Evgeniy A. Praskurnichiy — Dr. of Sci. (Med.), Head of Department of Therapy, Medical and Biological University Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian National Research Medical University named after N. I. Pirogov» Ministry of Health of Russia; 117997, Moscow, st. Ostrovityanova, 1; e-mail: praskurnichy@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — *В. С. Блинов, Ю. С. Китаева*; сбор и анализ данных — *В. С. Блинов, Ю. С. Китаева, Е. А. Праскурничий*; подготовка рукописи — *В. С. Блинов, Ю. С. Китаева*.

Authors' contributions. All authors confirm their authorship according to the international ICMJE criteria (all authors made substantial contributions to the conception, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication). Special contribution: *VSB, YuSK* aided in the concept and plan of the study; *VSB, YuSK, EAP* provided collection and mathematical analysis of data; *VSB, YuSK* preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure: the authors declares no conflict of interest.

Соответствие принципам этики: исследование одобрено локальным этическим комитетом ГАУЗ СО «Областная клиническая больница № 1», протокол № 158 от 06.03.2024. Информированное согласие получено от каждого пациента.

Adherence to ethical standards: the study was approved by the local ethics committee of the Regional Clinical Hospital No. 1, Protocol No. 158 dated 03/06/2024. Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 19.09.2025

Принята к печати/Accepted: 25.02.2026

Опубликована/Published: 29.03.2026

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Compston J.E. Management of glucocorticoid-induced osteoporosis // *Nature Reviews Rheumatology*. 2010. No. 6. P. 82–88. doi.org/10.1038/nrrheum.2009.259.
2. Schuit S.C., Klift M., Weel A.E. et al. Fracture incidence and association with bone mineral density in elderly men and women: the Rotterdam Study // *Bone*. 2004. No. 34. P. 195–202. doi: 10.1016/j.bone.2003.10.001.

3. Ammann P., Rizzoli R. Bone strength and its determinants // *Osteoporosis International*. 2003. No. 14, Sup. 3, pp. 13–18. doi.org/10.1007/s00198-002-1345-4.
4. Griffith J.F., Yeung D.K., Ma H.T. et al. Bone marrow fat content in the elderly: A reversal of sex difference seen in younger subjects // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2012. No. 36. P. 225–230. doi.org/10.1002/jmri.23619.
5. Justesen J., Stenderup K., Ebbesen E.N. et al. Adipocyte tissue volume in bone marrow is increased with aging and in patients with osteoporosis // *Biogerontology*. 2001. No. 2. P. 165–171. doi.org/10.1023/a:1011513223894.
6. Schwartz A.V., Sigurdsson S., Hue T.F. et al. Vertebral bone marrow fat associated with lower trabecular BMD and prevalent vertebral fracture in older adults // *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*. 2013. No. 98. P. 2294–2300. doi.org/10.1210/jc.2012-3949.
7. Ergen F.B., Gulal G., Yildiz A.E. et al. Fat fraction estimation of the vertebrae in females using the T2*-IDEAL technique in detection of reduced bone mineralization level: comparison with bone mineral densitometry // *Journal of Computer Assisted Tomography*. 2014. No. 38. P. 320–324. doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182aa4d9d.
8. Veldhuis-Vlug A.G., Rosen C.J. Clinical implications of bone marrow adiposity // *Journal of Internal Medicine*. 2018. No. 283 (2). P. 121–139. doi: https://doi.org/10.1111/joim.12718.
9. Reeder S.B., Wen Z., Yu H. et al. Multicoil Dixon chemical species separation with an iterative least-squares estimation method // *Magnetic Resonance in Medicine*. 2004. No. 51. P. 35–45. doi.org/10.1002/mrm.10675.
10. Watanabe D., Kimura T., Yanagida K. et al. Feasibility of assessing male osteoporosis using MRI IDEAL-IQ sequence of proximal femur in prostate cancer patients // *The Aging Male*. 2022. No. 25 (1). P. 228–233. doi.org/10.1080/13685538.2022.2112663.
11. Huang X.C., Huang Y.L., Guo Y.T. et al. An experimental study for quantitative assessment of fatty infiltration and blood flow perfusion in quadriceps muscle of rats using IDEAL-IQ and BOLD-MRI for early diagnosis of sarcopenia // *Experimental Gerontology*. 2003. No. 183. P. 112322. doi.org/10.1016/j.exger.2023.112322.
12. Zhang L., Zheng Y.L., Wang R., Wang X.Q., Zhang H. Exercise for osteoporosis: A literature review of pathology and mechanism // *Frontiers in Immunology*. 2022. No. 9. P. 1005665. doi: 10.3389/fimmu.2022.1005665.
13. Лукашев А.Д., Ахатов А.Ф., Рыжкин С.А., Михайлов М.К., Залаева Д.Р. Применение МРТ-последовательности DIXON в диагностике изменений губчатого вещества тел позвонков в сопоставлении с данными остеоденситометрии // *Медицинская визуализация*. 2023. № 27 (3). С. 76–83. [Lukashew A.D., Akhatov A.F., Ryzhkin S.A., Mikhailov M.K., Zalaeva D.R. Application of DIXON MRI sequencing in the diagnosis of changes in the spongy substance of vertebral bodies in comparison with osteodensitometry data. *Medical Visualization*, 2023, No. 27 (3), pp. 76–83 (In Russ.)].
14. Zhou F., Sheng B., Lv F. Quantitative analysis of vertebral fat fraction and R2* in osteoporosis using IDEAL-IQ sequence // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2023. No. 11. P. 1–8. doi.org/10.1186/s12891-023-06846-4.
15. Zhao Y., Huang M., Ding J. et al. Prediction of Abnormal Bone Density and Osteoporosis From Lumbar Spine MR Using Modified Dixon Quant in 257 Subjects With Quantitative Computed Tomography as Reference // *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2019. No. 49 (2). P. 390–399. doi.org/10.1002/jmri.26233.
16. Aoki T., Shinpei Y., Shunsuke K. et al. Quantification of bone marrow fat content using iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least-squares estimation (IDEAL): reproducibility, site variation and correlation with age and menopause // *British Journal of Radiology*. 2016. No. 89. P. 20150538. doi.org/10.1259/bjr.20150538.
17. He J., Fang H., Li X. Vertebral bone marrow fat content in normal adults with varying bone densities at 3T magnetic resonance imaging // *Acta Radiologica*. 2018. No. 60 (4). P. 509–515. doi.org/10.1177/0284185118786073.
18. Liu Z., Huang D., Jiang Y. et al. Correlation of R2* with fat fraction and bone mineral density and its role in quantitative assessment of osteoporosis // *European Radiology*. 2023. No. 33 (9). P. 6001–6008. doi.org/10.1007/s00330-023-09599-9.
19. Zhou J., Damasceno P.F., Chachad R. et al. Automatic Vertebral Body Segmentation Based on Deep Learning of Dixon Images for Bone Marrow Fat Fraction Quantification // *Frontiers in Endocrinology (Lausanne)*. 2020. No. 11. P. 612. doi.org/10.3389/fendo.2020.00612.

Открыта подписка на 2-е полугодие 2026 года.

Подписной индекс:

«Урал Пресс» (Пресса России) **014023**