

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ МР-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ IDEAL И ФРАКЦИИ ЖИРА В ДИАГНОСТИКЕ ОСТЕОПОРОЗА: РЕТРОСПЕКТИВНОЕ ОПИСАТЕЛЬНОЕ ОДНОЦЕНТРОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

<sup>1</sup>В. С. Блинов<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Ю. С. Китаева<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Е. А. Праскурничий<sup>✉</sup>, <sup>4</sup>К. Д. Парфененкова<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Верхнепышминская центральная городская клиническая больница имени П. Д. Бородина, Верхняя Пышма, Россия

<sup>2</sup>Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова, Москва, Россия

<sup>4</sup>Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

**ВВЕДЕНИЕ:** Прочность кости на 60–70% зависит от ее минеральной плотности. Остальные 30–40% прочности зависят от ее микроархитектоники и состава. При остеопорозе происходит жировая инволюция костного мозга. На основании этого было предложено определять количество жировой ткани в кости в виде жировой фракции. Магнитно-резонансная томография может быть использована для оценки жировой фракции. МР-последовательность IDEAL недостаточно изучена для исследования фракции жира и корреляции с данными двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии.

**ЦЕЛЬ:** Исследовать возможность использования фракции жира, получаемой с помощью последовательности IDEAL при магнитно-резонансной томографии, в диагностике остеопороза у женщин старше 50 лет.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** Проанализированы магнитно-резонансные томограммы I–IV поясничных позвонков (последовательность IDEAL) и данные двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии 43 женщин старше 50 лет (средний возраст  $63,9 \pm 8,4$  года). МРТ проведена на аппарате GE Signa Voyager. ДРА проведена на остеоденситометре DEXHIT. Фракция жира рассчитывалась как соотношение интенсивности сигнала на изображениях только от жира и только от воды.

**Статистика:** Для корреляционного анализа рассчитывался коэффициент Пирсона ( $r$ ), применялся ROC-анализ, производилась оценка чувствительности и специфичности. Значения считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

**РЕЗУЛЬТАТЫ:** Фракция жира менее 0,66 соответствует нормальным значениям МПК, фракция жира более 0,71 соответствует остеопорозу ( $p = 0,030$ ). Чувствительность МРТ для выявления остеопороза составила 99%, специфичность 87%, точность 88% ( $p < 0,05$ ). Коэффициент корреляции между МПК и фракцией жира отрицательный и статистически значимый ( $r = -0,316$ ;  $p = 0,041$ ). Коэффициент корреляции между Т-критерием и фракцией жира статистически значимый, отрицательный ( $r = -0,300$ ;  $p = 0,05$ ). Коэффициент корреляции между возрастом и фракцией жира положительный, статистически значимый ( $r = 0,374$ ;  $p = 0,015$ ). Коэффициент корреляции между ИМТ и фракцией жира статистически недостоверный ( $r = -0,147$ ;  $p = 0,347$ ).

**ОБСУЖДЕНИЕ:** При уменьшении минеральной плотности кости увеличивается фракция жира, при уменьшении Т-критерия фракция жира увеличивается, при увеличении возраста фракция жира увеличивается. Корреляции между индексом массы тела и фракцией жира не было выявлено. Данные исследования соотносятся с данными других работ.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ:** МР-последовательность IDEAL является перспективной методикой оценки фракции жира. Магнитно-резонансная томография широко используется в диагностике дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника. Последовательность IDEAL длится всего чуть более 3 минут и может быть добавлена к рутинному протоколу МРТ поясничного отдела позвоночника без значимого увеличения времени обследования, без назначения дополнительных методик исследования, без воздействия ионизирующего излучения и со значительным увеличением количества диагностической информации для выявления остеопороза.

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

\* Для корреспонденции: Блинов Владислав Сергеевич, e-mail: [VladSBlinov@mail.ru](mailto:VladSBlinov@mail.ru).

Для цитирования: Блинов В.С., Китаева Ю.С., Праскурничий Е.А., Парфененкова К.Д. Изучение возможностей МР-последовательности IDEAL и фракции жира в диагностике остеопороза: ретроспективное описательное одноцентровое исследование // *Лучевая диагностика и терапия*. 2025. Т. 16, № 3. С. 100–108, doi: <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-3-100-108>.

# STUDYING THE CAPABILITIES OF IDEAL MR-SEQUENCE AND FAT FRACTION IN OSTEOPOROSIS DIAGNOSTICS: A RETROSPECTIVE DESCRIPTIVE SINGLE-CENTER STUDY

<sup>1</sup>Vladislav S. Blinov<sup>✉</sup>, <sup>2</sup>Yulia S. Kitaeva<sup>✉</sup>, <sup>3</sup>Evgeniy A. Praskurnichiy<sup>✉</sup>, <sup>4</sup>Kristina D. Parfenenkova<sup>✉</sup>

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

<sup>2</sup>Ural State Medical University, Ministry of Healthcare of the Russia, Yekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Russian National Research Medical University named after. N. I. Pirogov, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

**INTRODUCTION:** Bone strength is 60–70% depends on its mineral density. The remaining 30–40% of strength depend on the microarchitecture and composition. Osteoporosis is characterized by fatty involution of bone marrow. Based on this, it has been proposed to determine the amount of adipose tissue in bone as a fat fraction. Magnetic resonance imaging can be used to assess the fat fraction. The IDEAL MR sequence has not been sufficiently studied for the research of fat fraction and correlation with data of dual-energy X-ray absorptiometry.

**OBJECTIVE:** To investigate the possibility of using fat fraction derived from the IDEAL sequence in MRI in the diagnosis of osteoporosis for women over 50 years of age.

**MATERIALS AND METHODS:** Magnetic resonance imaging of I–IV lumbar vertebrae (IDEAL pulse sequence) and dual-energy X-ray absorptiometry data of 43 women over 50 years of age (mean age  $63.9 \pm 8.4$  years) were analyzed. MRI was performed on a GE Signa Voyager. DRA was performed on a Dexam osteodensitometer. Fat fraction was calculated as the ratio of signal intensity at fat to signal from water.

**Statistics:** Pearson's coefficient ( $r$ ) was calculated for correlation analysis, ROC analysis was used, sensitivity and specificity were assessed. Values were considered statistically significant at  $p < 0.05$ .

**RESULTS:** Fat fraction less than 0.66 corresponds to normal IPC values, fat fraction greater than 0.71 corresponds to osteoporosis ( $p = 0.030$ ). The sensitivity of MRI for detecting osteoporosis was 99%, specificity 87%, accuracy 88% ( $p < 0.05$ ). The correlation coefficient between IPC and fat fraction is negative and statistically significant ( $r = -0.316$ ;  $p = 0.041$ ). The correlation coefficient between T-criterion and fat fraction is statistically significant, negative ( $r = -0.300$ ;  $p = 0.05$ ). The correlation coefficient between age and fat fraction is positive, statistically significant ( $r = 0.374$ ;  $p = 0.015$ ). The correlation coefficient between BMI and fat fraction is not statistically significant ( $r = -0.147$ ;  $p = 0.347$ ).

**DISCUSSION:** With decreasing bone mineral density the fat fraction increases, with decreasing T-score the fat fraction increases, with increasing age the fat fraction increases. No correlation was found between body mass index and fat fraction. The data of the study are consistent with the data of other studies.

**CONCLUSION:** IDEAL MR-sequencing is a promising technique for assessing fat fraction that can be used as a dose-free opportunistic screening of osteoporosis. Magnetic resonance imaging is widely used in the diagnosis of degenerative-dystrophic diseases of the spine. The IDEAL sequence lasts just over 3 minutes and can be added to the routine lumbar spine MRI protocol without significantly increasing the examination time, without prescribing additional examination methods, without exposure to ionizing radiation and with a significant increase in the amount of diagnostic information for detecting osteoporosis.

**KEYWORDS:** osteoporosis, dual-energy X-ray absorptiometry, magnetic resonance imaging

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

**For citation:** Blinov V.S., Kitaeva Y.S., Praskurnichiy E.A., Parfenenkova K.D. Studying the capabilities of IDEAL MR-sequence and fat fraction in osteoporosis diagnostics: a retrospective descriptive single-center study // *Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2025. Vol. 16, No. 3. P. 100–108, <http://dx.doi.org/10.22328/2079-5343-2025-16-3-100-108>.

**Введение.** Остеопороз является четвертым по распространенности заболеванием в мире после сердечно-сосудистых, онкологических заболеваний и травмы. В Российской Федерации среди лиц в возрасте 50 лет и старше остеопороз выявляется у 34% женщин и 27% мужчин. Остеопороз является наиболее распространенной причиной низкоэнергетических переломов костей. Все меры профилактики, скрининга, лечения остеопороза должны быть направлены в конечном счете на предотвращение остеопорозных переломов.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) является признанной и стандартизированной методикой оценки минеральной плотности кости (МПК), входит в калькулятор FRAX, оценивающий риск низкоэнергетических переломов, имеет мало противопоказаний и неинвазивна, но сопровождается воздействием ионизирующего излучения [1].

Минеральная плотность кости — это количество костной массы на единицу объема (объемная МПК) или на единицу площади (проекционная МПК). На основании МПК вычисляется Т-критерий.

Согласно рекомендациям ВОЗ, Т-критерий соответствует норме при его значениях выше  $-1,0$  стандартных отклонений (СО), остеопения определяется при Т-критерии между  $-1,0$  и  $-2,5$  СО, остеопороз — при Т-критерии равном или ниже  $-2,5$  СО. Однако показано, что прочность кости на 60–70% зависит от МПК и МПК не является единственным фактором, определяющим прочность кости. Другими факторами является: микроархитектоника трабекулярной кости, толщина кортикальной кости и внутренние свойства костной ткани [2].

Магнитно-резонансная томография (МРТ) может быть использована для оценки характеристик костной ткани. Многие данные свидетельствуют о значительной роли жировой ткани в состоянии костей скелета, хотя механизмы такого воздействия еще не полностью понятны. Были достигнуты значительные технические достижения при МРТ в количественной оценке общего содержания жира в костном мозге. Однако надежная количественная оценка состава костного жира *in vivo* остается трудной задачей из-за сложного состава губчатой кости.

Основываясь на предположении, что при остеопорозе происходит жировая инволюция костного мозга [3], было предложено определять количество жировой ткани в виде жировой фракции (fat fraction). Количество жировой ткани можно измерять при следующих МР-последовательностях: инверсия-восстановление спинного эха (STIR), разложение воды и жира (DIXON, IDEAL), магнитно-резонансная спектроскопия [4].

Разделение жира и воды, на основе их химического сдвига на МР-изображениях, было предложено W. T. Dixon в 1984 г. [5]. Метод Диксона основан на разнице в резонансной частоте между жиром и водой. Этот метод предполагает упрощенную двухкомпонентную схему, в которой МР-сигнал является суммой двух источников сигнала: протонов жира и протонов воды, которые характеризуются отчетливым химическим сдвигом. Изображения получаются в два времени эха (TE), в которые сигналы от протонов жира и протонов воды совпадают и не совпадают по фазе. Это дает методу Диксона уникальную возможность за одну последовательность получать изображения только жира, только воды, синфазные и противофазные изображения. D. Kim и соавт. сообщают о чувствительности МРТ (последовательность DIXON VIBE) 65% (56–73%) для остеопении, 72% (61–78%) для остеопороза [6].

Последовательность IDEAL — это импульсная последовательность количественной оценки жира с кодированием химического сдвига, разработанная на основе метода Диксона. IDEAL устраняет мешающие факторы эффекта T2\*, эффекта релаксации T1 и эффекта вихревых токов [7]. Последовательность IDEAL недостаточно изучена для измерения фракции жира и корреляции с данными ДРА.

**Цель.** Исследовать возможность использования фракции жира, получаемой с помощью последовательности IDEAL при МРТ, в диагностике остеопороза у женщин старше 50 лет.

**Материалы и методы.** Исследование одобрено этическим комитетом ГАОУ СО «ОКБ №1», протокол № 166 от 25.04. 2025 г. Информированное согласие получено от каждого пациента. Дизайн исследования: ретроспективное описательное эпидемиологическое исследование. Анализ выполнен за период с июня 2024 по январь 2025 г. в популяции жителей Свердловской области, проходивших обследование в ГАОУ СО «Верхнепешминская ЦГКБ им. П. Д. Бородина». В исследование включено 43 женщины (средний возраст  $63,9 \pm 8,4$  года, от 50 до 77 лет). Критериями включения в исследование было: возраст старше 50 лет, менопауза. Критерии исключения: 1) известный онкологический анамнез с наличием метастатического поражения костной ткани; 2) гематологические заболевания; 3) наличие металлических конструкций в областях сканирования (эндопротезы тазобедренных суставов, винты в позвонках); 4) противопоказания к МРТ.

Всем пациентам, включенным в исследование, выполнялась МРТ поясничного отдела позвоночника (ПОП). МРТ проводилась на магнитно-резонансном томографе GE Signa Voyager с напряженностью магнитного поля 1,5 Т без предварительной подготовки. На столе пациент находился в горизонтальном положении на спине. Использовалась встроенная в стол МР-катушка. Пациентам была проведена МРТ ПОП по рутинному диагностическому протоколу и сагиттальная последовательность IDEAL. Верхняя граница сканирования: XII грудной позвонок, нижняя граница сканирования — середина крестца. Общее время сканирования: 20 мин, среднее время сканирования последовательности IDEAL: 3 мин 50 сек.

Обработка полученных МРТ-изображений проводилась на рабочей станции МР-томографа Advanced Workstation 4.7 (GE Healthcare). Для измерения интенсивности сигнала от поясничных позвонков (L1–IV) на изображениях импульсной последовательности IDEAL, вычерчивалась округлая зона интереса (ROI) в центральных отделах тел поясничных позвонков, исключая кортикальный слой и позвоночную вену (рис. 1).

Фракция жира (fat fraction (FF)) была вычислена по формуле:  $FF = M_f / (M_f + M_w)$ , где  $M_f$  — значения интенсивности сигнала на изображениях только жира;  $M_w$  — значения интенсивности сигнала на изображениях только воды.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия выполнялась на остеоденситометре Dexxim (Южная Корея). Всем пациентам была проведена ДРА поясничного отдела позвоночника (L1–IV) и ДРА проксимальных отделов бедренной кости.

Получены значения: минерального содержания кости (МСК) в граммах, площадь исследования в см<sup>2</sup>, минеральная плотность кости (МПК) в грам-

нормой, остеопенией и остеопорозом проводился ROC-анализ с оценкой площади под ROC-кривой. Для оценки диагностической точности методов вычисляли чув-



**Рис. 1.** Магнитно-резонансные томограммы пациентки Г., 68 лет: *а* — сагиттальный срез T2 FSE IDEAL, сигнал только от воды; *б* — сагиттальный срез, T2 FSE IDEAL, сигнал только от жира; *а, б* — локализация области интереса (ROI) с результатами измерения интенсивности сигнала губчатого вещества позвонков L<sub>I–IV</sub>

**Fig. 1.** MRI of the lumbar spine of patient G., 68 years: *a* — sagittal slice, T2 FSE IDEAL, signal only from water; *б* — sagittal slice, T2 FSE IDEAL sequence, signal only from fat; *а, б* — localization of region of interest (ROI) with the effect of measuring the signal of the cancellous substance of L<sub>I–IV</sub> vertebrae

мах на см<sup>2</sup>. Полученная МПК сравнивалась со средней МПК референсной базы здоровых пациентов от 20 до 29 лет с вычислением Т-критерия.

**Методика статистической обработки данных.** Статистический анализ данных проводился по общепринятым методам вариационной статистики на персональном компьютере с помощью пакета программ SPSSInc/Statistics23. Данные были распределены нормально, без выбросов. Для оценки достоверности различий использовался однофакторный дисперсионный анализ One-way ANOVA. Для вычисления корреляции

ствительность и специфичность. Статистически значимым считался уровень отличий  $p < 0,05$ .

**Результаты.** При проведении ДРА выявлено 5 человек (12%) с Т-критерием ниже  $-2,5$  СО, что по критериям ВОЗ соответствовало остеопорозу, у 18 человек (42%) Т-критерий был от  $-1,0$  до  $-2,5$  СО, что соответствовало остеопении и 20 человек (46%) с Т-критерием более  $-1,0$  СО, что соответствовало норме. ИМТ в группе с остеопорозом составил  $25,06 \pm 4,37$  ( $17,60-27,90$ ), в группе пациентов с остеопенией:  $26,55 \pm 4,06$  ( $19,90-34,50$ ), в группе

Показатели состояния костной ткани при двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии

Таблица 1

| Indicators of bone tissue condition during DXA |                       |                       |                        |                        |
|------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Показатель                                     | Локализация           | Норма                 | Остеопения             | Остеопороз             |
| Минеральная плотность кости, г/см <sup>2</sup> | L <sub>I–IV</sub>     | 1,28±0,18 (1,09–1,71) | 1,00±0,06 (0,92–1,12)  | 0,81±0,04 (0,76–0,81)  |
|                                                | Шейка бедренной кости | 1,01±0,09 (0,89–1,25) | 0,84±0,07 (0,74–1,00)  | 0,67±0,01 (0,6–0,68)   |
| Т-критерий                                     | L <sub>I–IV</sub>     | 0,7±1,3 (–0,8–3,0)    | –1,6±0,4 (–2,2...–1,0) | –3,0±0,4 (–3,5...–2,6) |
|                                                | Шейка бедренной кости | 0,2±0,8 (–0,8–2,3)    | –1,4±0,3 (–2,0...–1,0) | –2,5±0,1 (2,6...–2,5)  |

между двумя различными параметрическими переменными применялся корреляционный анализ Пирсона (r). Для оценки качества методов и порогов границ между

с нормой:  $30,35 \pm 4,06$  ( $22,80-37,10$ ). Показатели в группе исследования, полученные при ДРА представлены в табл. 1.

Показатели фракции жира представлены в табл. 2. Таким образом, при фракции жира менее 0,66 значения соответствовали норме, при фракции жира

Чувствительность для порога фракции жира более 0,71 составила 99%, при специфичности 87%, точности 88% ( $p<0,05$ ). Однако полученная чувстви-

Показатели фракции жира, выявленные при магнитно-резонансной томографии

Table 2

| Fat fraction indicators detected by MRI |             |             |             |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Показатель                              | Норма       | Остеопения  | Остеопороз  |
| Фракция жира                            | 0,656±0,060 | 0,675±0,061 | 0,736±0,012 |

0,67≤FF<0,71 значения соответствовали остеопении, и при фракции жира более 0,71 — остеопорозу, значения статистически значимы ( $p=0,030$ ).

тельность порогов для остеопении низкая — 18%, при специфичности 96% и точности 61% ( $p<0,05$ ). На рис. 3 показаны графики ROC-анализа.

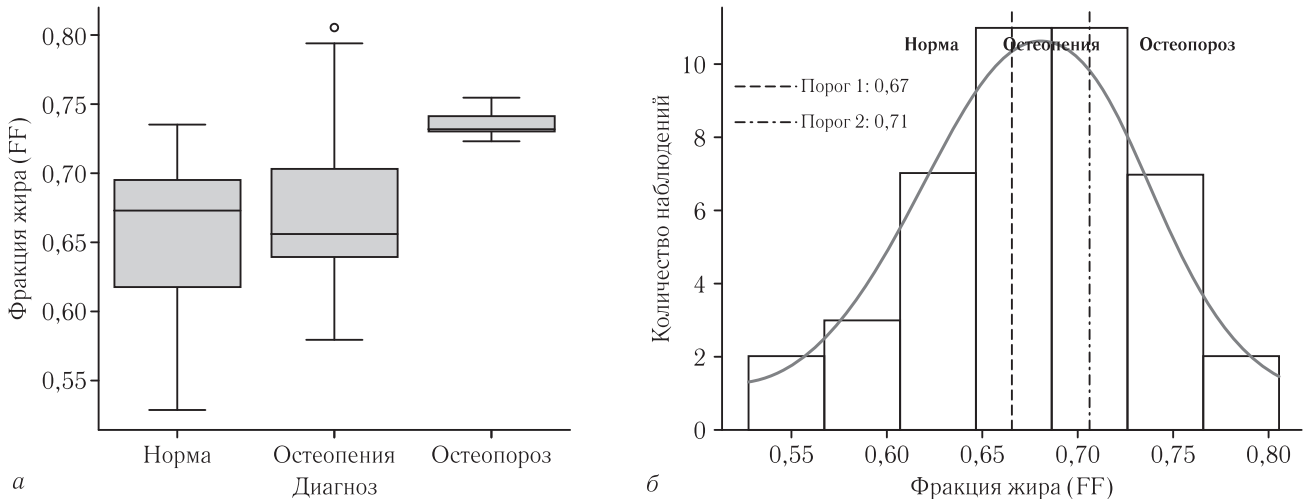


Рис. 2. Диаграмма (а) показывает значения фракции жира при норме, остеопении и остеопорозе; график (б) показывает значение порога фракции жира при норме, остеопении и остеопорозе

Fig. 2. Plot (a) shows the values of the fat fraction in normal conditions, osteopenia and osteoporosis; graph (b) shows the threshold value of the fat fraction in normal conditions, osteopenia and osteoporosis

На рис. 2 представлены диаграммы значений фракции жира в норме, при остеопорозе, остеопении и распределение по пороговым значениям.

Площадь под ROC-кривой для оценки фракции жира составила 0,723 ( $p=0,003$ ), что соответствует хорошему качеству метода.

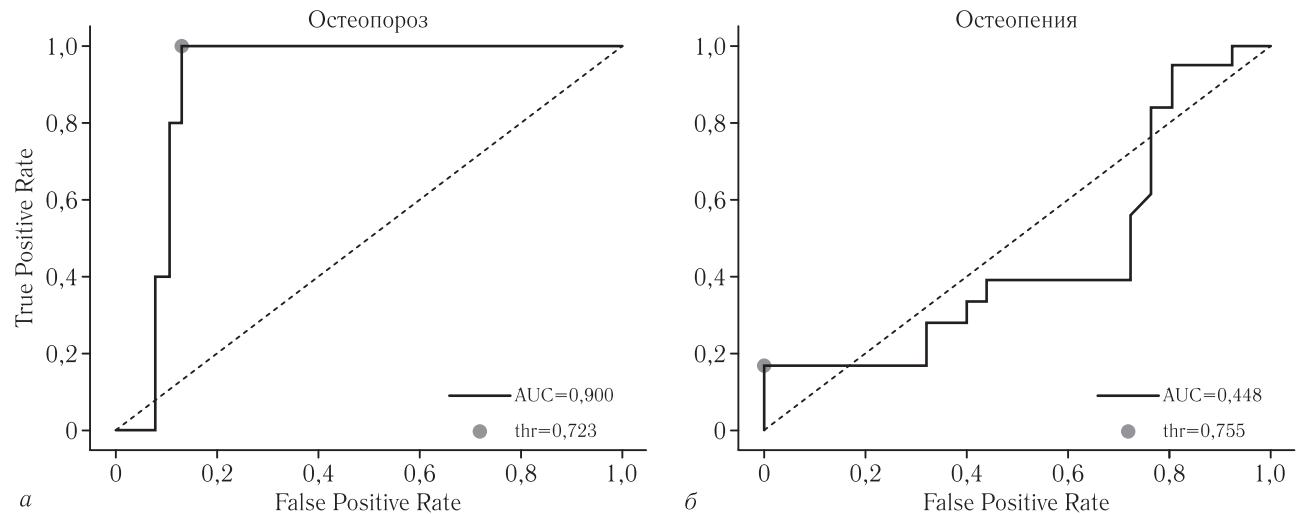


Рис. 3. ROC-кривая: а — для порога фракции жира 0,71 для остеопороза; б — для порога фракции жира 0,67 для остеопении

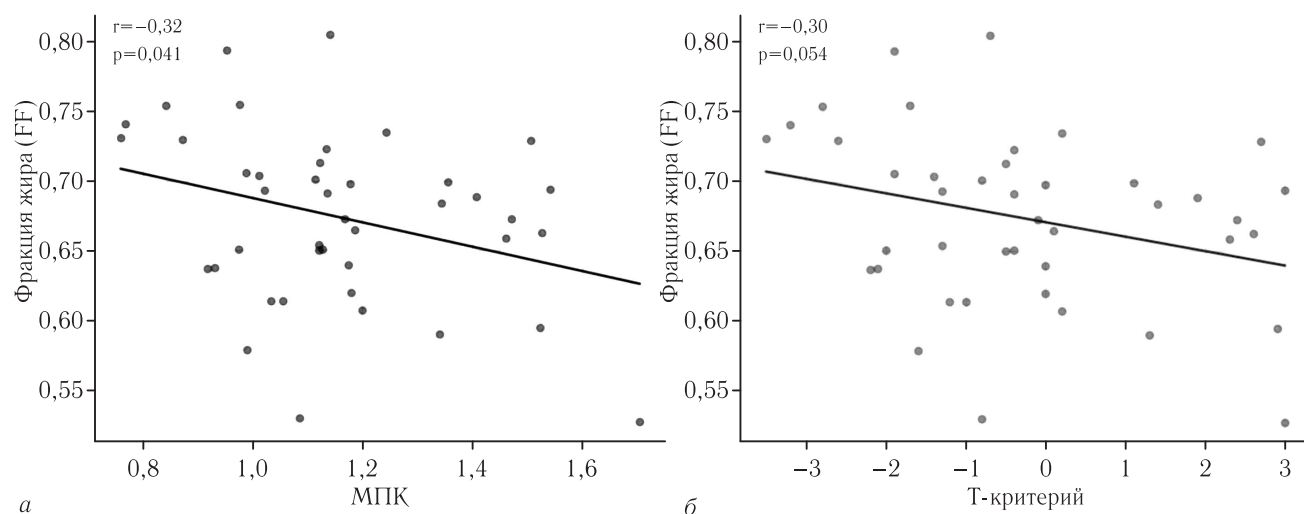
Fig. 3. ROC curve: a — for the threshold of fat fraction 0.71 for osteoporosis; б — for the threshold of fat fraction 0.67 for osteopenia

Для анализа корреляции между МПК и фракцией жира использовался корреляционный анализ Пирсона. Коэффициент корреляции между МПК и фракцией жира составил  $r=-0,316$  ( $p=0,041$ ). Коэффициент корреляции указывает на умеренную отрицательную связь: при уменьшении значения МПК фракция жира увеличивается.

Коэффициент корреляции между Т-критерием и фракцией жира составил  $r=-0,300$  ( $p=0,05$ ). Коэффициент корреляции указывает на умеренную отрицательную корреляцию, то есть при уменьшении Т-критерия фракция жира имеет тенденцию

между ИМТ и фракцией жира составил  $r=-0,147$  ( $p=0,347$ ), что указывает на слабую отрицательную связь между ИМТ и фракцией жира, данные статистически незначимы ( $p=0,347$ ). На рис. 5 представлены результаты корреляционного анализа фракции жира, возраста и ИМТ.

**Обсуждение.** Остеопороз является четвертым по распространенности заболеванием в мире, приводящим к низкоэнергетическим переломам костей. Несмотря на высокую распространенность, остеопороз недостаточно диагностируется и лечится. Причины недостаточной диагностики многофакторны и вклю-



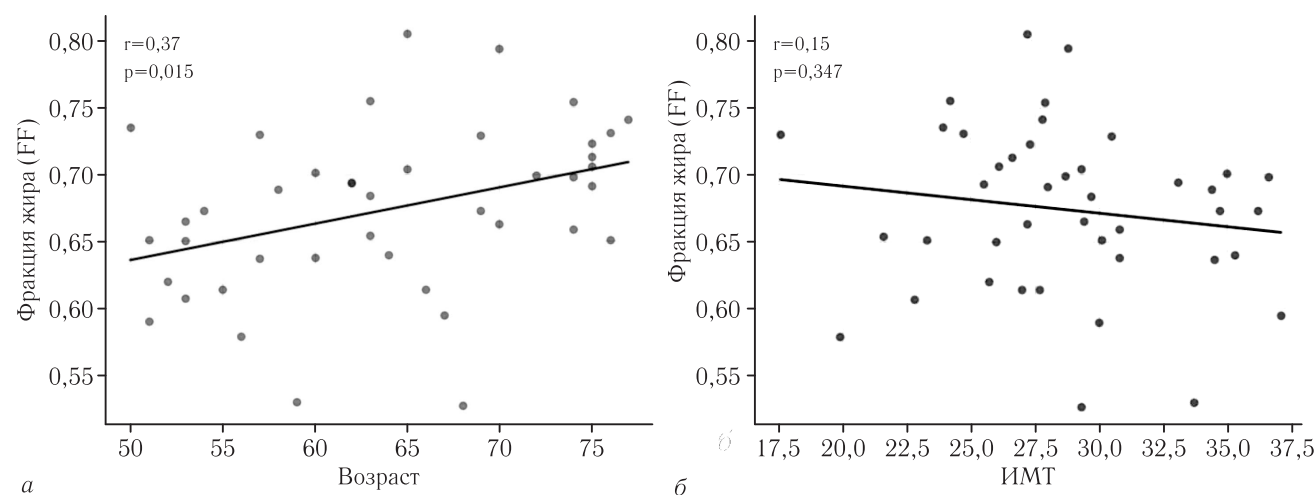
**Рис. 4.** График корреляции: *а* — фракции жира от минеральной плотности кости; *б* — фракции жира от Т-критерия  
**Fig. 4.** Correlation graph: *a* — of fat fraction on MIC; *b* — correlation graph of the fat fraction on the T-score

увеличиваться. На рис. 4 представлены результаты корреляционного анализа фракции жира от МПК и Т-критерия.

Коэффициент корреляции между возрастом и фракцией жира составил  $r=0,374$  ( $p=0,015$ ), что

чают, в том числе, отсутствие характерных симптомов заболевания, до возникновения переломов и противоречивых данных по скринингу данного заболевания.

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия и количественная компьютерная томография



**Рис. 5.** График корреляции: *а* — фракции жира от возраста пациенток; *б* — фракции жира от индекса массы тела  
**Fig. 5.** Correlation graph: *a* — of the fat fraction on the age of the patients; *b* — correlation graph of fat fraction versus BMI

свидетельствует о умеренной положительной связи. То есть с увеличением возраста фракция жира имеет тенденцию увеличиваться. Коэффициент корреляции

являются наиболее часто используемыми методиками оценки МПК [8]. Однако методики являются рентгеновскими и несут определенные риски воздействия

рентгеновского излучения. Кроме того, методики нацелены на определение только МПК, а прочность кости зависит не только от ее минеральных свойств.

MPT является бездозовой альтернативной рентгеновских методик. MPT активно используется для оценки заболеваний поясничных позвонков, межпозвонковых дисков, дегенеративно-дистрофических изменений в поясничном отделе позвоночника. Однако оценка МР-изображений основана на визуальной оценке нормы и патологии. Для оценки качества костной ткани при MPT необходимо было разработать количественные методы оценки. Одним из количественных методов является оценка жировой фракции. Последовательности итеративного разложения воды и жира, к которым относятся и последовательность IDEAL, являются одними из методов оценки фракции жира. О. Yu. Rapina и соавт. продемонстрировали, что последовательность IDEAL возможно использовать для оценки фракции жира [9]. Т. Aoki и соавт. отмечают, что последовательность IDEAL обеспечивает надежную количественную оценку содержания жира в костном мозге [10]. Авторы отмечают, что при снижении МПК значения фракции жира увеличиваются как у мужчин, так и у женщин [11].

В нашем исследовании показано, что при уменьшении МПК возрастает фракция жира, при уменьшении Т-критерия фракция жира увеличивается, при увеличении возраста фракция жира повышается. Эти результаты соотносятся с данными других работ. А. Д. Лукашев и соавт. продемонстрировали обратную корреляцию между фракцией жира и МПК. Также авторы предлагают ввести последовательность DIXON в рутинные протоколы MPT поясничного отдела позвоночника и использовать измерение фракции жира в качестве скрининга на остеопороз [12]. F. Zhou и соавт. приводят обратную корреляцию между фракцией жира и МПК, положительную корреляцию между фракцией жира и возрастом и приходят к выводу, что фракция жира может стать новым биологическим признаком остеопороза [13]. E. F. Bilge и соавт. также демонстрируют умеренную обратную корреляцию между МПК и фракцией жира ( $r = -0,42$ ) и приводят чувствительность MPT (последовательность IDEAL) к остеопорозу 93% при специфичности 60% [14].

В нашем исследовании корреляции между 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].

В нашем исследовании значения фракции жира более 0,71 соответствовали остеопорозу. Z. Liu и соавт. приводят значения фракции жира в  $0,65 \pm 9$  у пациентов с остеопорозом и  $0,69 \pm 8$  с остеопорозными переломами [16].

Последовательность IDEAL может быть добавлена к рутинному протоколу обследования ПОП без существенного увеличения времени сканирования. Среднее время сканирования IDEAL составляет 3 мин 50 сек. MPT поясничного отдела позвоночника — одна из самых распространенных методик исследования среди всех методик MPT, точных данных о количестве проводимых MPT поясничного отдела позвоночника пациентам старше 50 лет нет, но внедрение последовательности IDEAL в рутинный протокол MPT способно потенциально увеличить выявляемость остеопороза.

Наше исследование имеет несколько ограничений. Во-первых, размер выборки был относительно небольшим, а количество пациентов с остеопорозом было относительно недостаточным. Во-вторых, исследование включало только женщин старше 50 лет, необходимо включить в исследование мужчин и изучить корреляцию между признаками у мужчин. В-третьих, в нашем исследовании при фракции жира менее 0,66 значения МПК соответствовали норме, при фракции жира более 0,71 значения МПК соответствовали остеопорозу. Необходимы дальнейшие исследования на большей выборке для корректировки полученных пороговых значений.

**Заключение.** Последовательность IDEAL является перспективной методикой оценки характеристик костной ткани (фракции жира), которую можно использовать в качестве бездозовой альтернативной методики выявления остеопороза при проведении MPT поясничного отдела позвоночника, направленного по другим показаниям. Добавление последовательности IDEAL незначительно увеличит время сканирования при рутинном обследовании позвоночника, но предоставит дополнительную информацию о фракции жира и снижении минеральной плотности костной ткани.

#### 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: praskurnichey@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966;

Парфененкова Кристина Дмитриевна — студентка 6 курса кафедры медицинской биохимии и биофизики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»; 620062, Екатеринбург, ул. Мира, д. 19; e-mail: kparfenenkova@yandex.ru; ORCID 0009-0002-1073-8634.

#### 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: praskurnichey@mail.ru; ORCID 0000-0002-9523-5966;

Kristina D. Parfenenkova — 6<sup>th</sup> year student of the Department of Medical Biochemistry and Biophysics Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin», 620062, Ekaterinburg, st. Mira, 19; e-mail: kparfenenkova@yandex.ru; ORCID 0009-0002-1073-8634.

**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, К. Д. Парфененкова; 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, YSK; aided in the concept and plan of the study — VSB, YSK, EAP, KDP; preparation of the manuscript — VSB, YSK.

**Потенциальный конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Disclosure:** the authors declare that they have no competing interests.

**Соответствие принципам этики:** Исследование одобрено этическим комитетом ГАЗУ СО «ОКБ №1», протокол № 166 от 25.04. 2025 г. Информированное согласие получено от каждого пациента.

**Adherence to ethical standards:** The study was approved by the Ethics Committee of the SAHI SB OKB No. 1, Protocol No. 166 dated 04/25/2025. Informed consent was obtained from each patient.

Поступила/Received: 11.05.2025

Принята к печати/Accepted: 29.08.2025

Опубликована/Published: 29.09.2025

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Низовцова Л.А., Морозов С.П., Петрайкин А.В., Босин В.Ю., Сергунова К.А., Владимирский А.В., Шантаревич М.Ю. К унификации выполнения и интерпретации результатов остеоденситометрии // *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2018. № 99 (3). С. 158–163. [Nizovtsova L.A., Morozov S.P., Petraykin A.V., Bosin V.Yu., Sergunova K.A., Vladzimirskiy A.V., Shantarevich M.Yu. On the unification of bone densitometry and interpretation of its results. *Journal of radiology and nuclear medicine*, 2018, No. 99 (3), pp. 158–163 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2018-99-3-158-163>.
2. Maslaris A., Bungartz M., Layher F. et al. Feasibility Analysis of a Novel Method for the Estimation of Local Bone Mechanical Properties: A Preliminary Investigation of Different Pressure Rod Designs on Synthetic Cancellous Bone Models // *Arch. Bone Jt. Surg.* 2021. No. 9. P. 203–210. <https://doi.org/10.22038/abjs.2020.47854.2365>.
3. Calciolari E., Donos N., Park J.C. et al. Panoramic measures for oral bone mass in detecting osteoporosis: a systematic review and meta-analysis // *J. Dent. Res.* 2015. No. 94 (3 Suppl). P. 17S–27S. <https://doi.org/10.1177/0022034514554949>.
4. Jafari R., Spincemaille P., Zhang J. et al. Deep neural network for water/fat separation: Supervised training, unsupervised training, and no training // *Magn. Reson. Med.* 2021. No. 85. P. 2263–2277. <https://doi.org/10.1002/mrm.28546>.
5. Dixon W.T. Simple proton spectroscopic imaging // *Radiology*. 1984. Vol. 153. No. 1. P. 189–194. <https://doi.org/10.1148/radiology.153.1.6089263>.
6. Bydder M., Yokoo T., Hamilton G. et al. Relaxation effects in the quantification of fat using gradient echo imaging // *Magn. Reson. Imaging*. 2008. No. 26 (3). P. 347–359. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2007.08.012>.
7. Xin-Chen Huang, Yi-Long Huang, Yi-Tong Guo 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*. 2023. No. 183. P. 112322. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2023.112322>.
8. Петрайкин А.В., Скрипникова И.А. Количественная компьютерная томография, современные данные. Обзор // *Медицинская визуализация*. 2021. № 25 (4). С. 134–146. [Petraikin A.V., Skripnikova I.A. Quantitative Computed Tomography, modern data. Review. *Medical Visualization*, 2021, No. 25 (4), pp. 134–146 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1049>.

9. Panina O.Yu., Gromov A.I., Akhmad E.S. et al. Accuracy of fat fraction estimation using Dixon: experimental phantom study // *Medical Visualization*. 2022. No. 26 (4). P. 147–158. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1160>.
10. Aoki T., Yamaguchi S., Kinoshita S. 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. <https://doi.org/10.1259/bjr.20150538>.
11. 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. <https://doi.org/10.1177/0284185118786073>.
12. 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.)]. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1201>.
13. Zhou F., Sheng B., Lv F. Quantitative analysis of vertebral fat fraction and  $R2^*$  in osteoporosis using IDEAL-IQ sequence // *BMC Musculoskelet. Disord*. 2023. No. 11. P. 1–8. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06846-4>.
14. Bilge E.F., Gulsah G., Elcin Y.A. 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. <https://doi.org/10.1097/RCT.0b013e3182aa4d9d>.
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 // *J. Magn. Reson. Imaging*. 2019. No. 49 (2). P. 390–399. <https://doi.org/10.1002/jmri.26233>.
16. Liu Z., Huang D., Jiang Y., Ma X., Zhang Y., Chang R. Correlation of  $R2^*$  with fat fraction and bone mineral density and its role in quantitative assessment of osteoporosis // *Eur. Radiol*. 2023. No. 33 (9). P. 6001–6008. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09599-9>.

Открыта подписка на 1-е полугодие 2026 года.

Подписной индекс:

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