

DOI: <https://doi.org/10.17816/mechnikov678782>

EDN: EIOQYC



Сравнительное исследование результатов радиочастотной эхографической мультиспектрометрии и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии при определении минеральной плотности костной ткани

В.И. Мазуров¹, Е.С. Жугрова¹, И.Б. Беляева¹, А.Л. Григорьева², Д.А. Шиманьски³, С.Н. Иванов⁴¹ Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия;² Клиническая ревматологическая больница № 25 им. В.А. Насоновой, Санкт-Петербург, Россия;³ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия;⁴ Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л.Г. Соколова Федерального медико-биологического агентства, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Остеопороз — системное метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы и нарушениями микроархитектоники костной ткани, что приводит к хрупкости костей и перелому при незначительной травме. Переломы, вызванные остеопорозом, представляют одну из актуальных проблем и для здравоохранения Российской Федерации, снижают качество жизни пациентов, ассоциированы с инвалидизацией и высокой смертностью. Своевременная диагностика высокого риска переломов имеет решающее значение в борьбе с остеопорозом.

Цель. Изучить сопоставимость результатов двухэнергетической рентгеноденситометрии (DXA) и радиочастотной эхографической мультиспектрометрии (REMS) при оценке состояния костной ткани у женщин в постменопаузе.

Методы. Одномоментное исследование проведено на базе клинической ревматологической больницы № 25 им. В.А. Насоновой и СЗГМУ им. И.И. Мечникова. DXA поясничного отдела позвоночника (L_1-L_{IV}) и проксимального отдела бедренной кости (шейки и общего показателя бедренной кости) выполнена на аппарате Lunar Prodigy Advance (США). REMS проведена при помощи специального эхографического устройства EchoStation (Echolight Spa, Италия).

Результаты. В исследование включены 50 женщин с постменопаузальным остеопорозом, медиана возраста составила 73,0 [48,0; 77,0] года. Средние показатели T -критерия позвоночника и шейки бедренной кости при исследовании DXA и REMS были сопоставимы и составили: $-2,4$ стандартного отклонения (95% доверительный интервал от $-2,7$ до $-1,8$) против $-2,2$ стандартного отклонения (95% доверительный интервал от $-2,7$ до $-2,0$) и $-0,045 \pm 0,084$ г/см² (95% ДИ от $-0,069$ до $-0,021$) против $-0,210 \pm 0,084$ г/см² (95% ДИ от $-0,233$ до $-0,186$) соответственно. При оценке корреляции REMS и DXA в позвоночнике обнаружена высокая положительная корреляция между показателями T -критерия REMS и DXA ($r=0,769$; высокая теснота связи по шкале Чеддока; $p < 0,001$). Выявлена также высокая положительная корреляция связь между показателями T -критерия при REMS и DXA шейки бедренной кости ($r=0,873$; высокая теснота связи по шкале Чеддока; $p < 0,001$). При оценке результатов DXA и REMS методом Бланда–Альмана обнаружена достаточно высокая степень сопоставимости двух методов, хотя в обеих областях наблюдали небольшое пропорциональное смещение. REMS в среднем показал более высокие значения минеральной плотности костной ткани, чем таковые при DXA.

Заключение. Результаты REMS и DXA сопоставимы, что позволяет использовать их для диагностики остеопороза.

Ключевые слова: остеопороз; переломы; минеральная плотность костной ткани; денситометрия.

Как цитировать

Мазуров В.И., Жугрова Е.С., Беляева И.Б., Григорьева А.Л., Шиманьски Д.А., Иванов С.Н. Сравнительное исследование результатов радиочастотной эхографической мультиспектрометрии и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии при определении минеральной плотности костной ткани // Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. 2025. Т. 17. № 3. С. 62–69. DOI: 10.17816/mechnikov678782 EDN: EIOQYC

DOI: <https://doi.org/10.17816/mechnikov678782>

EDN: EIOQYC

Comparative Study of the Results of Radiofrequency Echographic Multispectrometry and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Determining Bone Mineral Density

Vadim I. Mazurov¹, Elena S. Zhugrova¹, Irina B. Belyaeva¹, Aleksandra L. Grigoreva²,
Daniel A. Shimanski³, Sergei N. Ivanov⁴

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

² Clinical Rheumatology Hospital No. 25 named after V.A. Nasonova, Saint Petersburg, Russia;

³ Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

⁴ North-Western District Scientific and Clinical Center named after L.G. Sokolov Federal Medical and Biological Agency, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Osteoporosis is a systemic metabolic skeletal disease characterized by decreased bone mass and impaired bone microarchitecture, leading to bone fragility and low-trauma fractures. Osteoporotic fractures represent a significant public health concern in the Russian Federation, reducing patients' quality of life and being associated with disability and high mortality. Timely diagnosis of a high fracture risk is crucial in the management of osteoporosis.

AIM: To investigate the comparability of the results from dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and radiofrequency echographic multi-spectrometry (REMS) in assessing bone status in postmenopausal women.

METHODS: A cross-sectional study was conducted on the basis of the Clinical Rheumatology Hospital No. 25 named after V.A. Nasonova and the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov. DXA of the lumbar spine (L1–L4) and proximal femur (femoral neck and total hip) was performed using a Lunar Prodigy Advance machine (USA). REMS was carried out using a specialized echographic device EchoStation (Echolight Spa, Italy).

RESULTS: The study included 50 women with postmenopausal osteoporosis, the median age was 73.0 [48.0; 77.0] years. The mean T-score values for the spine and femoral neck assessed by DXA and REMS were comparable and amounted to: –2.4 standard deviations (95% confidence interval from –2.7 to –1.8) versus –2.2 standard deviations (95% confidence interval from –2.7 to –2.0) and $-0.045 \pm 0.084 \text{ g/cm}^2$ (95% CI from –0.069 to –0.021) versus $-0.210 \pm 0.084 \text{ g/cm}^2$ (95% CI from –0.233 to –0.186), respectively. When assessing the correlation between REMS and DXA in the spine, a high positive correlation was found between the T-scores of REMS and DXA ($r = 0.769$; high strength of association according to the Chaddock scale; $p < 0.001$). A high positive correlation was also found between the T-scores of REMS and DXA for the femoral neck ($r = 0.873$; high strength of association according to the Chaddock scale; $p < 0.001$). When evaluating the DXA and REMS results using the Bland-Altman method, a sufficiently high degree of comparability of the two methods was found, although a small proportional bias was observed in both areas. REMS on average showed higher bone mineral density values than those with DXA.

CONCLUSION: The results of REMS and DXA are comparable, which allows their use for the diagnosis of osteoporosis.

Keywords: osteoporosis; fractures; bone mineral density; densitometry.

To cite this article

Mazurov VI, Zhugrova ES, Belyaeva IB, Grigoreva AL, Shimanski DA, Ivanov SN. Comparative Study of the Results of Radiofrequency Echographic Multispectrometry and Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Determining Bone Mineral Density. *Herald of North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov*. 2025;17(3):62–69. DOI: 10.17816/mechnikov678782 EDN: EIOQYC

ОБОСНОВАНИЕ

Остеопороз — системное метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы и нарушениями микроархитектоники костной ткани. Оно приводит к хрупкости костей и перелому при незначительной травме [1]. Для остеопороза наиболее характерны компрессионные переломы тел позвонков, проксимального отдела бедренной кости (шейки, вертельной и подвертельной областей), а также дистального отдела предплечья и проксимального отдела плечевой кости (так называемые основные остеопорозные переломы) [2, 3]. Заболевание наиболее распространено среди людей пожилого и старческого возраста. Так, в 2019 г. в 27 странах Европейского Союза, Великобритании и Швейцарии зарегистрировано 4,3 млн низкоэнергетических переломов среди лиц в возрасте 50 лет и старше, общее экономическое бремя чего оценено в 57 млрд евро [4].

Переломы, вызванные остеопорозом, представляют одну из актуальных проблем и для здравоохранения Российской Федерации, снижают качество жизни пациентов, ассоциированы с инвалидизацией и высокой смертностью [5]. Так, смертность в течение первого года после перелома проксимального отдела бедренной кости составляет 36%, примерно 20% пациентов нуждаются в длительном уходе на дому и только 40% — возвращаются к уровню самообслуживания, предшествовавшему перелому [6, 7]. При этом остеопорозные переломы приводят к значительным затратам пациентов, системы здравоохранения и общества в целом.

Профилактика переломов при остеопорозе и их возможных осложнений, связанной с ними инвалидности и повышенной смертности служит основной целью лечения остеопороза при условии ранней диагностики и мониторинга эффективности лечения [8]. Исследование Международного фонда остеопороза (International Osteoporosis Foundation, IOF) в 11 странах показало, что одной из основных причин недостаточного выявления и лечения остеопороза является ограниченный доступ к его инструментальной диагностике [9]. Несмотря на доступность эффективных и безопасных лекарств, 71% пациентов с высоким риском переломов остаются без лечения, поскольку остеопороз у них не диагностирован. Таким образом, своевременная диагностика высокого риска переломов имеет решающее значение в борьбе с остеопорозом [10].

В настоящее время «золотым стандартом» диагностики остеопороза является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (Dual-energy X-rays Absorptiometry, DXA), позволяющая измерить ареальную минеральную плотность костной ткани (МПК), выраженная в граммах на квадратный сантиметр, и оценить риск переломов для назначения терапии и контроля за эффективностью лечения. В отношении DXA также используют термин

«рентгеновская остеоденситометрия» [11]. DXA является единственным стандартизованным методом диагностики остеопороза, позволяющим проводить сравнительную оценку результатов исследования на приборах одного класса разных производителей. Исследование выполняют в проксимальном отделе бедренной кости и поясничном отделе позвоночника, реже — в дистальном отделе предплечья. Сравнение МПК с нормативными значениями проводят обычно по двум показателям: с нормальной пиковой костной массой (*T*-критерий), то есть со средним значением для возраста достижения максимума МПК в данном участке скелета (20–40 лет), и с возрастной нормой (*Z*-критерий), то есть со средним значением для данного возраста [12]. *T*- и *Z*-критерии выражают в количестве стандартных отклонений (СО). Согласно критериям Всемирной организации здравоохранения у женщин в постменопаузе и мужчин в возрасте 50 лет и старше остеопороз диагностируют при значении *T*-критерия $-2,5$ СО и ниже [13].

9 марта 2023 г. в Москве под эгидой Российской ассоциации геронтологов и гериатров состоялось заседание совета экспертов, посвященное обсуждению целесообразности внедрения в медицинских организациях Российской Федерации для диагностики остеопороза и прогнозирования риска переломов радиочастотной эхографической мультиспектрометрии (Radiofrequency Echographic Multispectrometry, REMS), предложенной итальянскими инженерами в качестве альтернативы DXA [14]. Технология REMS основана на анализе нативных радиочастотных ультразвуковых сигналов, производимых при эхографическом сканировании костей скелета, и сравнении их спектра с референсными спектральными моделями определенных патологических состояний (остеопороза, остеопении, низкоэнергетических переломов). Исследование, как и при DXA, проводят в поясничных позвонках и проксимальном отделе бедренной кости, а основным выходным параметром этого полностью неионизирующего метода является МПК, выраженная в граммах на квадратный сантиметр и хорошо коррелирующая с соответствующими значениями МПК, полученными при DXA [15]. Ранее ряд зарубежных исследований показал хорошую сопоставимость результатов DXA и REMS [16–18]. Вместе с тем российские эксперты высказались за необходимость подтверждения этих данных на российской популяции.

Цель исследования

Изучить сопоставимость данных исследований DXA и REMS при оценке состояния костной ткани у женщин в постменопаузе.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено одномоментное исследование.

Условия проведения исследования

DXA проведена на базе Клинической ревматологической больницы № 25 им. В.А. Насоновой (Санкт-Петербург). REMS-денситометрия выполнена на базе СЗГМУ им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург). Исследование выполнено в период 1 сентября по 31 декабря 2024 г. Одна и та же пациентка проходила обследование по технологиям REMS и DXA. Время между этими исследованиями не превышало 1 нед.

Критерии соответствия (отбора)

Критерии включения: женский пол, возраст 45 лет и старше, диагноз «постменопаузальный остеопороз», индекс массы тела (ИМТ) ниже 40 кг/м².

Целевые показатели исследования и методы их измерения

Изучали сопоставимость результатов исследований на DXA и REMS, выраженных в виде МПК (в граммах на квадратный сантиметр) и T-критерия (в стандартных отклонениях) при оценке состояния костной ткани у женщин с постменопаузальным остеопорозом.

DXA поясничного отдела позвоночника (L₁–L_{IV}) и проксимального отдела бедренной кости (шейки и общего показателя бедренной кости) выполнена на аппарате Lunar Prodigy Advance (США). Использовали следующие значения МПК по T-критерию для диагностических классификаций [3]: остеопороз определяли при значении ≤–2,5 СО, норму — при ≥–1,0 СО, остеопении — от –2,5 СО до –1,0 СО. В заключении по DXA помимо T-критерия указывали значение МПК исследуемого участка тела, выраженное в граммах на квадратный сантиметр.

Оценка поясничных позвонков и шейки бедренной кости посредством REMS-денситометрии проведена при помощи специального эхографического устройства EchoStation (Echolight Spa, Италия), оснащенного конвексным датчиком номинальной частотой 3,5 МГц и используемого в соответствии с рекомендациями производителя. Программное обеспечение EchoStation включает собственную базу данных стандартных ультразвуковых спектральных моделей [11, 12], используемых для расчета

значений МПК, а также нормативную справочную базу данных (Национальную программу проверки здоровья и питания, NHANES) для получения соответствующих значений T- и Z-критерия.

Особое внимание уделено исключению возможных погрешностей из-за ошибок, способных повлиять на результат обоих методов. В связи с этим исследования выполняли опытные операторы.

Анализ чувствительности

Не проводили.

Статистические процедуры

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Статистический анализ проведен с использованием программ IBM SPSS Statistics 26 (SPSS Inc., США) и StatTech 3.1.8 (ООО «Статтех», Россия). Количественные показатели с нормальным распределением описывали с помощью средних арифметических величин и стандартных отклонений, границ 95% доверительного интервала (ДИ), в случае отсутствия нормального распределения — с помощью медианы и межквартильного размаха. Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и долей в процентах. Сравнение двух групп по количественному показателю с распределением, отличным от нормального, выполняли с помощью U-критерия Манна–Уитни. При сравнении двух количественных показателей с распределением, отличным от нормального, в двух связанных группах использовали критерий Уилкоксона. Направление и тесноту корреляционной связи между двумя количественными показателями оценивали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена (при распределении показателей, отличном от нормального). Прогностическая модель, характеризующая зависимость количественной переменной от факторов, разработана с помощью метода линейной регрессии. Различия считали статистически значимыми при *p* < 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование выборки

В центре остеопороза СЗГМУ им. И.И. Мечникова были осмотрены 100 женщин с постменопаузальным ОП в период 2023–2024 гг. В соответствии с критериями включения/исключения в исследование включены 50 пациенток.

Характеристики выборки

Медиана возраста пациенток составила 73,0 [48,0; 77,0] года. В табл. 1 представлены их основные демографические характеристики.

В исследование включены 4 пациентки с ожирением I степени (ИМТ 30–34,9 кг/м²), избыточная масса тела зарегистрирована у 15 человек (ИМТ 25–29,9 кг/м²), у остальных обследованных был нормальный ИМТ. У 5 пациенток в анамнезе отмечены переломы поясничных позвонков,

Таблица 1. Клиническая характеристика 50 пациентов, включенных в исследование

Table 1. Clinical characteristics of the 50 patients included in the study

Показатель	Медиана	Нижний квартиль	Верхний квартиль
Возраст, лет	73,0	48,0	77,0
Рост, см	159,0	154,0	165,0
Масса тела, кг	66,0	57,0	74,0
Индекс массы тела, кг/м ²	25,4	23,3	27,9
Возраст наступления менопаузы, лет	50,0	47,0	53,0

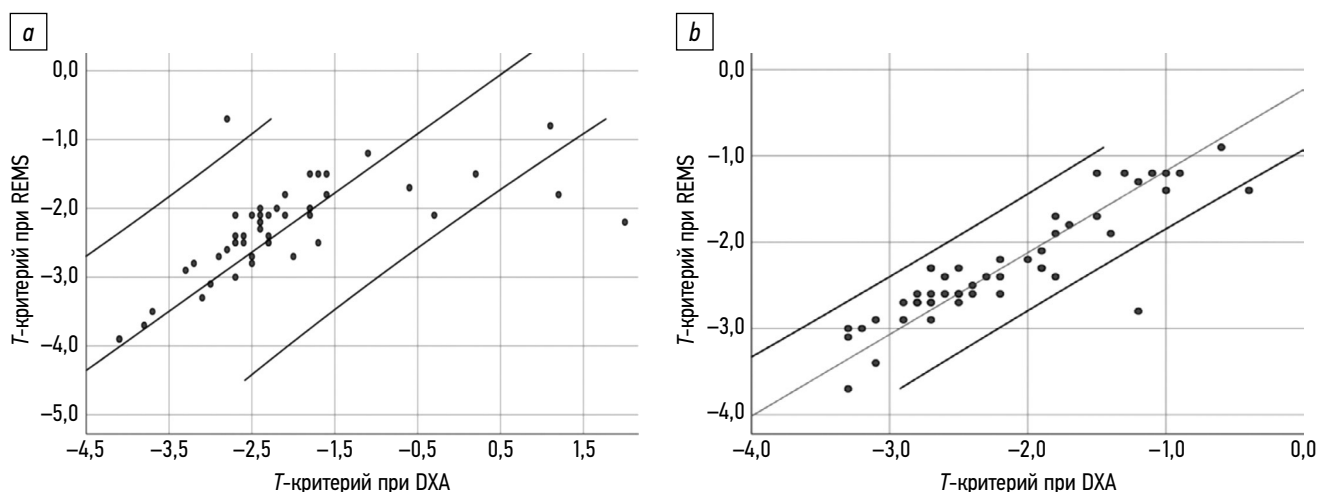


Рис. 1. Результаты корреляционного анализа показателей двухэнергетической рентгеноденситометрии (DXA) и радиочастотной эхографической мультиспектротометрии (REMS) при оценке состояния костной ткани позвоночника (L1–L4) (a) и шейки бедренной кости (b).

Fig. 1. Results of the correlation analysis of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and radiofrequency echographic multi-spectrometry (REMS) parameters in the assessment of bone tissue status of the spine (L1–L4) (a) and the femoral neck (b).

у 3 — грудных позвонков, у 4 — кости дистального отдела предплечья.

Основные результаты исследования

Средние показатели T -критерия позвоночника (L1–L4) и шейки бедренной кости при DXA и REMS были сопоставимы и составили: $-2,4$ CO (95% ДИ от $-2,7$ до $-1,8$) против $-2,2$ CO (95% ДИ от $-2,7$ до $-2,0$; $p > 0,05$) и $-2,4$ CO (95% ДИ от $-2,7$ до $-1,7$) против $-2,4$ CO (95% ДИ от $-2,7$ до $-1,9$; $p > 0,05$). Обнаружена положительная корреляция между T -критериями при REMS и DXA в поясничном отделе позвоночника и шейке бедренной кости (рис. 1, a, b): $r=0,769$ и $r=0,873$ соответственно (высокая теснота связи по шкале Чеддока; $p < 0,001$).

Использование метода Бланда–Альмана позволяет определить согласие между двумя методами исследо-

вания (DXA и REMS) с использованием одного и того же параметра. По позвоночнику выявлено смещение значения МПК, полученного с использованием REMS, относительно МПК при DXA, составившее: $-0,046 \pm 0,106$ г/см² (95% ДИ от $-0,076$ до $-0,016$) против $-0,254 \pm 0,106$ г/см² (95% ДИ от $-0,284$ до $-0,224$) (рис. 2, a). Средняя разница между измерениями составила $0,162 \pm 0,106$ г/см² [95 % ДИ: $0,132$ – $0,192$], пределы согласия по методу Бланда–Альмана от $-0,04$ до $0,132$ г/см². Наблюдаемую зависимость можно описать уравнением парной регрессии ($\beta_0=0,411$; $\beta_1=-0,531$; $R^2=0,433$; $p < 0,001$), что указывает на присутствие пропорционального смещения. По бедренной кости смещение составило $-0,045 \pm 0,084$ г/см² (95% ДИ от $-0,069$ до $-0,021$) против $-0,210 \pm 0,084$ г/см² (95% ДИ от $-0,233$ до $-0,186$) (рис. 2, b). Средняя разница между измерениями составила $0,120 \pm 0,084$ г/см² (95 % ДИ: $0,096$ – $0,144$).

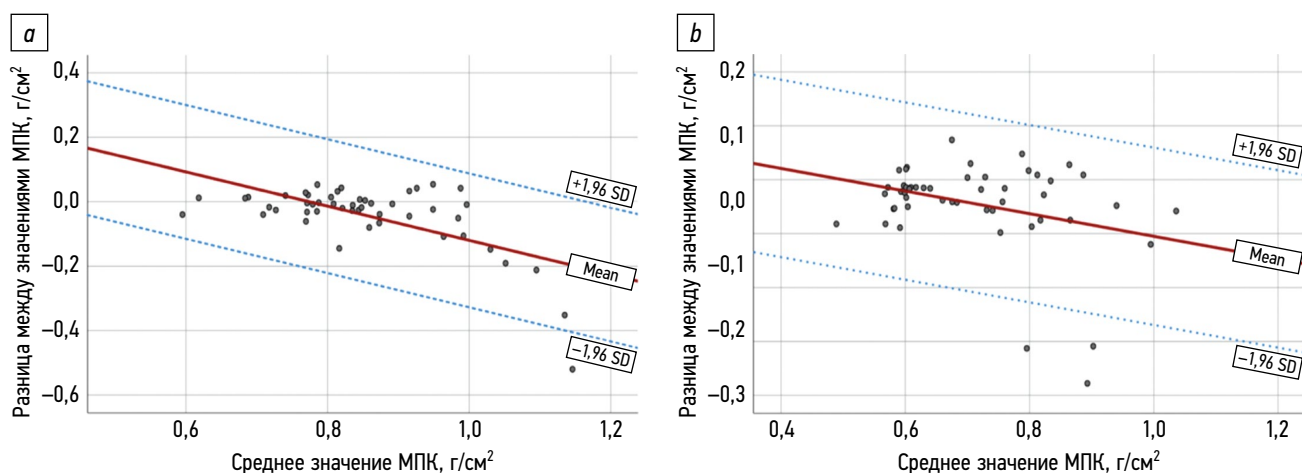


Рис. 2. Результаты анализа Бланда–Альмана показателей двухэнергетической рентгеноденситометрии (DXA) и радиочастотной эхографической мультиспектротометрии (REMS) при оценке состояния костной ткани позвоночника (L1–L4) (a) и шейки бедренной кости (b). МПК — минеральная плотность костной ткани; Mean — среднее арифметическое; SD — стандартное отклонение.

Fig. 2. Results of the Bland-Altman analysis of dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and radiofrequency echographic multi-spectrometry (REMS) parameters in the assessment of bone tissue status of the spine (L1–L4) (a) and the femoral neck (b). МПК, bone mineral density; Mean, arithmetic mean; SD, standard deviation.

Таблица 2. Показатели T -критерия в позвоночнике (L_1 – L_{IV}) и бедренной кости, полученные с помощью двухэнергетической рентгеноденситометрии (DXA) и радиочастотной эхографической мультиспектротометрии (REMS) у пациентов с компрессионными переломами тел позвонков

Table 2. T -score values in the spine (L_1 – L_4) and femur, obtained by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) and radiofrequency echographic multi-spectrometry (REMS) in patients with vertebral body compression fractures

Пациент	Позвоночник		Бедренная кость	
	DXA	REMS	DXA	REMS
1-й	0,2	-1,8	-1,4	-1,9
2-й	0,7	-2,5	-2,5	-2,6
3-й	0,6	-2,7	-1,0	-1,2
4-й	0,8	-1,5	-1,3	-1,2
5-й	0,8	-2,1	-0,6	-0,9

Наблюдаемую зависимость можно описать уравнением парной регрессии ($\beta_0=0,105$; $\beta_1=-0,210$; $R^2=0,102$; $p=0,024$), что указывает на присутствие пропорционального смещения.

Представляет интерес сравнительный анализ эффективности REMS и DXA в диагностике остеопороза у 5 пациентов с компрессионными переломами тел поясничных позвонков (табл. 2). Это исследование показало лучшую эффективность REMS, что продемонстрировано более низкими значениями T -критерия. Это указывает на возможность идентификации большего количества пациентов с остеопорозом с помощью REMS по сравнению с объемом эффекта DXA.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

Полученные результаты показали, что REMS обладает высокой точностью выявления пациентов с остеопорозом. Методология исследования предусматривала оценку корреляции показателей МПК, полученных с помощью REMS, с данными, измеренными на DXA-денситометре. При оценке корреляции REMS и DXA в позвоночнике (L_1 – L_{IV}) обнаружена высокая положительная корреляционная связь между T -критериями REMS и DXA. При оценке результатов DXA и REMS методом Бланда–Альтмана выявлена достаточно высокая степень сопоставимости двух методов, хотя в обеих областях наблюдали небольшое пропорциональное смещение. REMS в среднем показал более высокие значения МПК, чем показатели при DXA.

Ограничения исследования

Повышенные значения ИМТ у части пациентов препятствуют получению объективных результатов из-за повышенной плотности мягких тканей. Для подробной оценки пациентов с ожирением нужны дополнительные исследования. При этом на достоверность REMS не должен влиять ИМТ, если телосложение пациента позволяет правильно настроить фокус датчика и глубину сканирования.

Интерпретация результатов исследования

М. Di Paola и соавт. [17] показали на популяции итальянских пациенток, что при выполнении DXA и REMS в строгом соответствии с руководствами и рекомендациями, значения МПК обоих методов соответствуют друг другу для каждого исследуемого участка тела. Эти результаты показали, что REMS обладает высокой точностью выявления пациентов с остеопорозом с чувствительностью и специфичностью более 90% и диагностической согласованностью около 86% для обоих референтных анатомических участков. В. Cortet и соавт. [18] в международном многоцентровом исследовании на обширной европейской женской популяции в возрасте от 30 до 90 лет также показали надежность REMS в диагностике остеопороза. G. Adami и соавт. [19] исследовали возможности REMS и DXA прогнозировать риск остеопорозных переломов и продемонстрировали более высокую эффективность REMS по сравнению с результатом DXA в виде более высоких значений площади под кривой для T -показателей REMS при дифференциации новых клинических случаев остеопорозных переломов.

Представленные в настоящем исследовании результаты могут иметь важное значение для ранней диагностики остеопороза у женщин не только в перименопаузе. Кроме того, неионизирующий подход позволяет анализировать и мониторировать МПК у беременных и кормящих женщин. С другой стороны, даже пожилое население может получить клиническую пользу от REMS, поскольку эта технология способна распознавать и автоматически исключать артефакты, и ее результаты не будут искажены возрастными дегенеративными явлениями и компрессиями позвонков. Именно поэтому С. Caffarelli и соавт. (2022) считают, что REMS обладает преимуществом перед DXA при диагностике остеопороза у пациентов со спондилоартрозом и компрессионными переломами тел позвонков [20]. В настоящем исследовании REMS также продемонстрировала более высокую чувствительность в выявлении остеопороза у таких пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом результаты REMS и DXA хорошо согласуются между собой, что позволяет использовать их для диагностики остеопороза. При этом REMS обладает определенными преимуществами в безопасности и возможности оценки качества костной ткани, что делает ее более информативным инструментом для диагностики остеопороза. Она позволяет раньше начать лечение за счет более раннего выявления патологических изменений и обеспечивает более точную стратификацию риска переломов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.С. Жугрова — определение концепции, привлечение финансирования, проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; В.И. Мазуров — проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; И.Б. Беляева — анализ

данных, написание черновика, пересмотр и редактирование рукописи; А.Л. Григорьева — проведение исследования; Д.А. Шиманский — определение концепции, проведение исследования, анализ данных, написание черновика рукописи; С.Н. Иванов — проведение исследования, анализ данных. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты настоящей работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом СЗГМУ им. И.И. Мечникова (протокол № 1305 от 15.05.2015). Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия на участие в исследовании. Исследование и его протокол не регистрировали.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При проведении исследования и создании настоящей статьи авторы не использовали ранее полученные и опубликованные сведения (данные, текст, иллюстрации).

Доступ к данным. Все данные, полученные в настоящем исследовании, представлены в статье.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовал один внутренний рецензент из состава редакционной коллегии.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contributions: E.S. Zhugrova: conceptualization, funding acquisition, investigation, formal analysis, writing—original draft; V.I. Mazurov: investigation, formal analysis, writing—original draft; I.B. Belyaeva: formal analysis, writing—original draft, writing—review & editing; A.L. Grigoreva: investigation; D.A. Shimanski: conceptualization, investigation, formal analysis, writing—original draft; S.N. Ivanov: investigation, formal analysis. All the authors approved the version of the manuscript to be published and agreed to be accountable for all aspects of the work, ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Ethics approval: The study was approved by the local Ethics Committee of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov (Protocol No. 1305 dated May 15, 2015). All participants provided written informed consent to participate in the study. The study and its protocol were not registered.

Funding sources: No funding.

Disclosure of interests: The authors have no relationships, activities, or interests over the past three years related to for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality: No previously obtained or published material (text, images, or data) was used in this study or article.

Data availability statement: All data obtained in this study are available in this article.

Generative AI: No generative artificial intelligence technologies were used to prepare this article.

Provenance and peer-review: This paper was submitted unsolicited and reviewed following the standard procedure. The peer review process involved a member of the Editorial Board.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Arceo-Mendoza RM, Camacho PM. Postmenopausal Osteoporosis: Latest Guidelines. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 2021;50(2):167–178. doi: 10.1016/j.ecl.2021.03.009
2. Kanis JA, Cooper C, Rizzoli R, et al. Executive summary of the European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women. *Calcif Tissue Int.* 2019;104(3):235–238. doi: 10.1007/s00223-018-00512-x
3. Belaya ZhE, Belova KYu, Biryukova EV, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis and Bone Diseases.* 2021;24(2):4–47. doi: 10.14341/osteo12930 EDN: TUONYE
4. Kanis JA, Norton N, Harvey NC, et al. SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Arch Osteoporos.* 2021;16(1):82. doi: 10.1007/s11657-020-00871-9
5. Lesnyak OM, Baranova IA, Belova KYu, et al. Osteoporosis in Russian Federation: Epidemiology, socio-medical and economical aspects (review). *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2018;24(1):155–168. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-1-155-168 EDN: YVGNSE
6. Johnell O, Kanis JA. An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int.* 2006;17(12):1726–1733. doi: 10.1007/s00198-006-0172-4
7. Sing CW, Lin TC, Bartholomew S, et al. Global epidemiology of hip fractures: secular trends in incidence rate, post-fracture treatment, and all-cause mortality. *J Bone Miner Res.* 2023;38(8):1064–1075. doi: 10.1002/jbmr.4821
8. Hemlund E, Svedbom A, Ivergård M, et al. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch Osteoporos.* 2013;8(1):136. doi: 10.1007/s11657-013-0136-1
9. How fragile is her future? Survey and Report [Internet]. Available from: https://www.osteoporosis.foundation/sites/iofbonehealth/files/2020-04/how_fragile_is_her_future.pdf. Accessed: 12 June 2000.
10. Reginster JY, Silverman SL, Alokail M, et al. Cost-effectiveness of radiofrequency echographic multi-spectrometry for the diagnosis of osteoporosis in the United States. *JBM R Plus.* 2024;9(1):ziae138. doi: 10.1093/jbmrlp/ziae138
11. Skripnikova IA. Modern approaches to instrumental diagnostics of osteoporosis *Osteoporosis and Bone Diseases.* 2022;25(3):113–114. (In Russ.) doi: 10.14341/osteo13090. EDN: IEZOWG
12. Anthamatten A, Parish A. Clinical update on osteoporosis. *J Midwifery Womens Health.* 2019;64(3):265–275. doi: 10.1111/jmwh.12954
13. Resolution of Expert Council “The Use Radiofrequency Echographic Multi Spectrometry (REMS) for osteoporosis diagnosis and fracture risk prediction in medical organizations of the Russian Federation”. *Russian Journal of Geriatric Medicine.* 2023;(2):138–141. (In Russ.)
14. Conversano F, Franchini R, Greco A, et al. A novel ultrasound methodology for estimating spine mineral density. *Ultrasound Med Biol.* 2015;41(1):281–300. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.08.017
15. Casciaro S, Peccarisi M, Pisani P, et al. An advanced quantitative echosound methodology for femoral neck densitometry. *Ultrasound Med Biol.* 2016;42(6):1337–1356. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2016.01.024
16. Giovanni A, Luisa BM, Carla C, et al. Bone health status evaluation in men by means of REMS technology. *Aging Clin Exp Res.* 2024;36(1):74. doi: 10.1007/s40520-024-02728-4
17. Di Paola M, Gatti D, Viapiana O, et al. Radiofrequency echographic multispectrometry compared with dual X-ray absorptiometry for osteoporosis diagnosis on lumbar spine and femoral neck. *Osteoporos Int.* 2019;30(2):391–402. doi: 10.1007/s00198-018-4686-3
18. Cortet B, Dennison E, Diez-Perez A, et al. Radiofrequency Echographic Multi Spectrometry (REMS) for the diagnosis of osteoporosis in a European multicenter clinical context. *Bone.* 2021;143:115786. doi: 10.1016/j.bone.2020.115786
19. Adami G, Arioli G, Bianchi G, et al. Radiofrequency echographic multi spectrometry for the prediction of incident fragility fractures: A 5-year follow-up study. *Bone.* 2020;134:115297. doi: 10.1016/j.bone.2020.115297
20. Caffarelli C, Tomai Pitinca MD, Al Rafea A, et al. Could radiofrequency echographic multispectrometry (REMS) overcome the overestimation in BMD by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) at the lumbar spine? *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):469. doi: 10.1186/s12891-022-05430-6

ОБ АВТОРАХ

Мазуров Вадим Иванович, д-р мед наук, профессор,
академик РАН, заслуженный деятель науки
Российской Федерации;
ORCID: 0000-0002-0797-2051;
eLibrary SPIN: 6823-5482;
e-mail: maz.nwgm@yandex.ru

*** Жугрова Елена Сергеевна**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 191015, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41;
ORCID: 0000-0002-8622-5205;
eLibrary SPIN: 5504-3159;
e-mail: jugrova@mail.ru

Беляева Ирина Борисовна, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-7981-6349;
eLibrary SPIN: 3136-9062;
e-mail: belib@mail.ru

Григорьева Александра Леонидовна, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0888-8991;
eLibrary SPIN: 3621-7361;
e-mail: grigoreva@mail.ru

Шиманьски Даниэль Анджеевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-6903-2217;
eLibrary SPIN: 2022-5223;
e-mail: d.shimanski@list.ru

Иванов Сергей Николаевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0009-0006-4097-9649;
eLibrary SPIN: 3834-1261;
e-mail: 3000i@mail.ru

AUTHORS INFO

Vadim I. Mazurov, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor,
Academician of the Russian Academy of Sciences,
Honored Scientist of the Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-0797-2051;
eLibrary SPIN: 6823-5482;
e-mail: maz.nwgm@yandex.ru

*** Elena S. Zhugrova**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 41 Kirochnaya st, Saint Petersburg, 191015, Russia;
ORCID: 0000-0002-8622-5205;
eLibrary SPIN: 5504-3159;
e-mail: jugrova@mail.ru

Irina B. Belyaeva, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-7981-6349;
eLibrary SPIN: 3136-9062;
e-mail: belib@mail.ru

Aleksandra L. Grigoreva, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0888-8991;
eLibrary SPIN: 3621-7361;
e-mail: grigoreva@mail.ru

Daniel A. Shimanski, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-6903-2217;
eLibrary SPIN: 2022-5223;
e-mail: d.shimanski@list.ru

Sergei N. Ivanov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0009-0006-4097-9649;
eLibrary SPIN: 3834-1261;
e-mail: 3000i@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author