

РАДИОЧАСТОТНАЯ ЭХОГРАФИЧЕСКАЯ МУЛЬТИСПЕКТРОМЕТРИЯ (REMS): ОПИСАНИЕ МЕТОДА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КЛИНИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ



© А.С. Жданова*, М.А. Телегина, А.М. Артемова, Ж.Е. Белая

ГНЦ РФ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, Москва, Россия

Остеопороз — системное заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы и изменением микроархитектоники ткани. Возникновение низкотравматических переломов вследствие остеопороза приводит к снижению качества и продолжительности жизни старшего населения, а также к увеличению затрат здравоохранения на лечение и реабилитацию данных пациентов, что делает остеопороз медико-социальной проблемой XXI века. Помимо профилактики и лечения, важное значение имеет ранняя и полноценная диагностика остеопороза для инициирования своевременной терапии. Наряду с существующими методами диагностики остеопороза до развития перелома: оценка риска патологических переломов (FRAX), измерение минеральной плотности кости (МПК) двухэнергетической рентгеновской остеоденситометрией (DXA), постоянно развиваются новые технологии, в том числе учитывающие низкую доступность и малую мобильность DXA. Инновационным методом оценки плотности костной ткани и риска переломов является радиочастотная эхографическая мультиспектрометрия — неионизирующий метод сканирования осевых участков скелета — позвоночника и бедра. Настоящий обзор суммирует проведенные исследования и накопленные знания по использованию REMS в клинической практике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остеопороз; патологический перелом; методы диагностики; DXA; FRAX; REMS; минеральная плотность кости; радиочастотная эхография.

RADIOFREQUENCY ECHOGRAPHIC MULTI SPECTROMETRY (REMS): DESCRIPTION OF THE METHOD AND PERSPECTIVE FOR ITS USAGE IN CLINICAL PRACTICE

© Anastasiia S.Zhdanova*, Maria A. Telegina, Alla M. Artemova, Zhanna E. Belaya

Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

Osteoporosis is a systemic skeletal disease characterized by decreased bone mass and changes in tissue microarchitecture. The occurrence of post-traumatic fractures due to osteoporosis leads to a decrease in the quality and life expectancy of the affected population, as well as to an increase in health care costs for the treatment and rehabilitation of these patients, which makes osteoporosis a medical and social problem of the 21st century. In addition to prevention, early and complete diagnosis of osteoporosis is crucial for the initiation of timely treatment. Along with existing methods for osteoporosis diagnostics before a fracture develops: fracture risk assessment (FRAX) and bone mineral density (BMD) measurement by dual-energy X-ray osteodensitometry (DXA), new technologies are constantly being developed, including those that take into account the low availability and low mobility of DXA. An innovative method for assessing bone density and the risk of fractures is radiofrequency echographic multi spectrometry (REMS) - a non-ionizing method for scanning axial areas of the skeleton - the spine and hip. This review summarizes the studies conducted and accumulated knowledge on the use of REMS in clinical practice.

KEYWORDS: osteoporosis; pathological fractures; diagnostic methods; DXA; FRAX; REMS; bone mineral density; radiofrequency echography.

ВВЕДЕНИЕ

Остеопороз (ОП) — метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы, нарушением микроархитектоники костной ткани и, как следствие, переломами при минимальной травме [1]. На фоне остеопороза патологические переломы могут возникнуть при падении с высоты собственного роста, кашле, чихании, неловком движении без видимого травматического повреждения [2]. Остеопоротические переломы вносят существенный вклад в инвалидизацию и смертность населения старшей возрастной группы.

С учетом прогнозируемого роста продолжительности жизни в России в ближайшие годы будет наблюдаться рост случаев патологических переломов. Так, например, к 2035 году у женщин число случаев перелома проксимального отдела бедренной кости вырастет на 43%, у мужчин — на 36% [3], в связи с чем остеопороз становится медицинской, социальной и экономической проблемой для здравоохранения Российской Федерации.

В качестве диагностики остеопороза рекомендуется использовать один из трех способов согласно современным клиническим рекомендациям [4]:

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author.



1. Наличие патологических переломов крупных костей скелета (бедренной кости, тел(а) позвонков(-а), множественных переломов) в анамнезе или выявленных при обследовании, независимо от результатов рентгеноденситометрии или расчета FRAX® (при условии исключения других заболеваний скелета).
2. Наличие высокой индивидуальной 10-летней вероятности основных патологических переломов (результат оценки FRAX® соответствует Российскому порогу вмешательства и/или превышает его) независимо от показателя рентгеноденситометрии.
3. Снижение минеральной плотности кости (МПК), измеренной в ходе двухэнергетической рентгеноденситометрии (DXA), на 2,5 и более стандартных отклонений (SD) по Т-критерию в шейке бедренной кости, и/или в целом в проксимальном отделе бедренной кости, и/или в поясничных позвонках (L1-L4, L2-L4) у женщин в постменопаузе и мужчин старше 50 лет.

Золотым стандартом диагностики и оценки эффективности терапии остеопороза является определение МПК двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрией осевого скелета человека. Этот метод основан на измерении поглощения рентгеновских лучей ионами кальция в костях, что позволяет определить минеральную плотность кости в единицах г/см². Преимуществом метода является измерение МПК вне зависимости от толщины мягких тканей за счет использования двух уровней энергии [5].

При обследовании методом DXA проводят анализ показателей минерализации кости:

- Костный минеральный компонент (bone mineral content, BMC) — определяется длиной сканируемого пути (г/см), отражает количество минерализованной ткани (г) при сканировании костей.
- МПК (или bone mineral density, BMD) — количество минерализованной костной ткани в сканируемой площади (г/см²).

При оценке результатов денситометрии не рекомендуется использовать отдельное тело позвонка, вертел, область Варда или фрагмент лучевой кости [6].

Дополнительным параметром оценки микроархитектоники кости при проведении DXA является трабекулярный костный индекс (TBS), который совместно с алгоритмом FRAX позволяет повысить чувствительность метода для выявления пациентов из групп с высоким риском переломов [6].

На основании измерения МПК проводились исследования существующих препаратов для лечения остеопороза, в связи с чем метод рентгеновской двухэнергетической абсорбциометрии стал ключевым в диагностике и динамическом наблюдении данных пациентов. Вместе с тем DXA имеет ряд ограничений, в первую очередь ввиду высокой стоимости аппарата, крупногабаритных размеров, необходимости наличия отдельного оборудованного помещения и наличия лучевой нагрузки для пациента [7].

Ввиду технических ограничений рентгеновского денситометра по весу и росту человека, диагностика пациентов выше 196 см и весом более 120 кг не осуществима. Проведение исследования не учитывает ситуации, когда число поясничных позвонков отлично от 5 (сacroiliзация, люмбализация, добавочные ребра, наличие 6 пояс-

ничных позвонков), что затрудняет применение стандартного анализа в указанных случаях. Кроме того, результат денситометрии зависит от правильности расположения пациента, что диктует необходимость наличия у медицинского сотрудника соответствующей подготовки [8, 9].

Дополнительными ограничениями для проведения DXA являются беременность, наличие у пациента ортопедических конструкций, недавно проведенное контрастное исследование КТ или ПЭТ-КТ [7].

Кроме того, при рекомендуемых 11 аппаратах на 1 млн населения [10] в Российской Федерации обеспеченность составляет лишь 2,9 на 1 млн населения [11]. В первую очередь это связано с высокой стоимостью оборудования, что делает его недоступным в большом числе регионов страны.

Постоянно развиваются и становятся предметом активных обсуждений новые технологии оценки минеральной плотности и/или качества кости. Предлагается использовать как рентгенологические, так и ультразвуковые методы исследования: количественная компьютерная томография (QCT), периферическая QCT (pqcт, которая измеряет микроархитектуру кости в периферийных участках, таких как лучевая кость и большеберцовая кость), pqcт высокого разрешения (HR-pqcт), количественное ультразвуковое исследование (QUS) и магнитно-резонансная томография (MRI) [11, 12]. Все вышеперечисленные методы имеют различные ограничения, которые включают ионизирующее излучение (методы компьютерной томографии), низкую переносимость, ограниченный доступ/доступность в клинической практике (особенно для тех, которые используются только в исследовательских условиях: pqcт и MRI), длительное время сбора данных (MRI) и технические/зависящие от оператора вариации (QUS) [13].

Очевидным ограничением является недостаточный объем проспективных исследований, связывающих результаты этих исследований с фактом перелома и эффективности терапии остеопороза. Вместе с тем демографическая ситуация и увеличение продолжительности жизни населения приводят к росту частоты остеопоротических переломов, что подчеркивает важность профилактики и ранней диагностики заболевания для проведения своевременного лечения пациентов с высоким риском переломов.

Целью настоящего обзора является анализ результатов исследования, продемонстрировавших возможности технологии REMS для оценки плотности костной ткани.

РАДИОЧАСТОТНАЯ ЭХОГРАФИЧЕСКАЯ МУЛЬТИСПЕКТРОМЕТРИЯ (REMS): ФИЗИКА ПРОЦЕССА

Технология позволяет оценить радиочастотные сигналы, отражающиеся от костной ткани, с последующим автоматизированным анализом результатов с эталонной базой данных NHANES для соответствующего пола, возраста, индекса массы тела [14, 15].

Сравнение спектральных характеристик проводится с моделями пациентов с остеопорозом, остеопенией и нормой [16].

При проведении исследования сканированию подвергаются аксиальные участки скелета, как и при

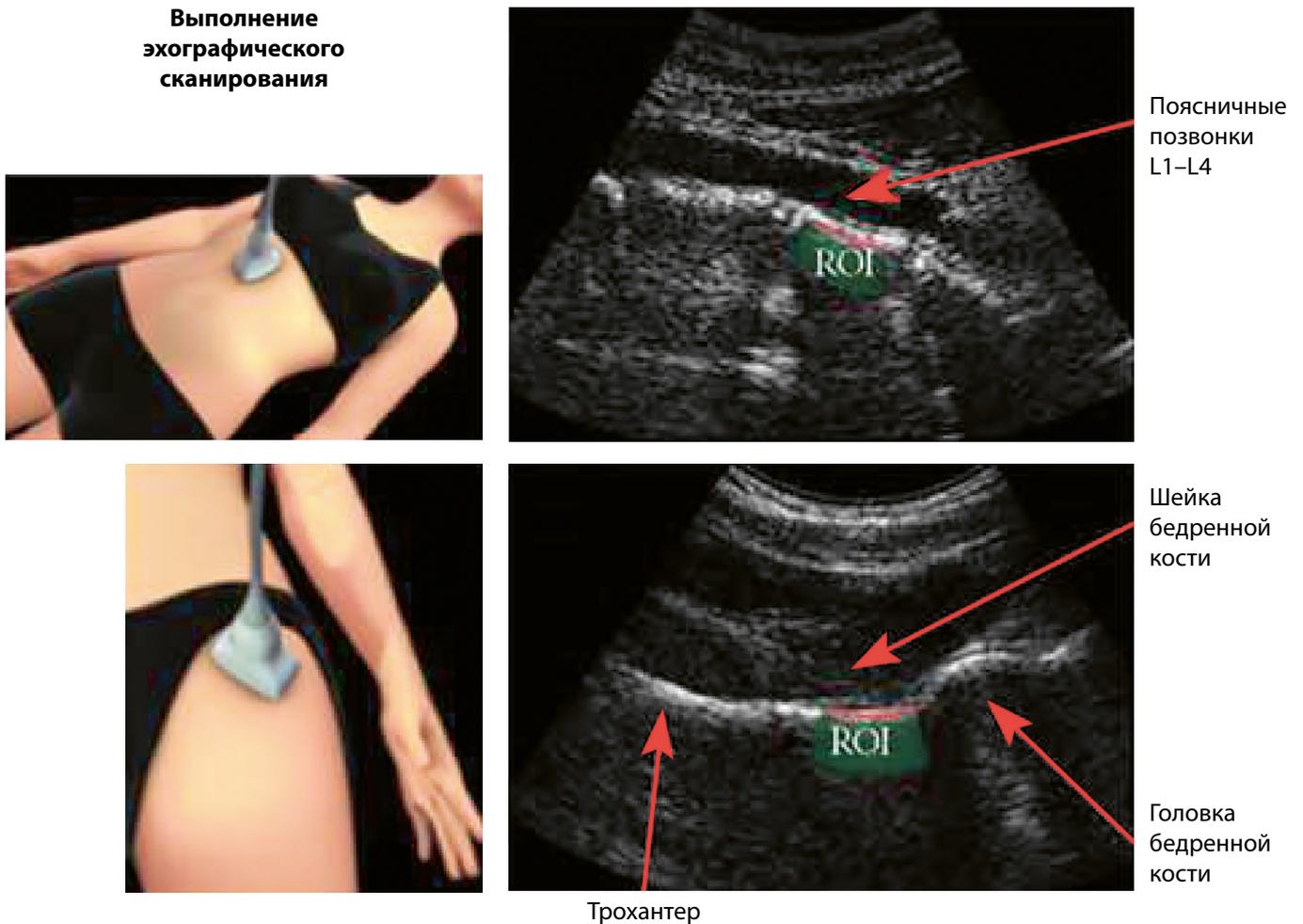


Рисунок 1. Радиочастотная эхографическая мультиспектрометрия. Технология сканирования.

рентгеновской денситометрии — проксимальный отдел бедренной кости и поясничные позвонки. Визуализация осуществляется путем сканирования искомым областей датчиком 3,5 МГц через переднюю брюшную стенку и/или область верхней трети бедра с подбором параметров фокуса и глубины в зависимости от конституции пациента (рис. 1) [17].

Ценной возможностью метода является исключение артефактов (остеофитов, кальциноза) в процессе обследования пациента путем идентификации необработанных сигналов и последующим их удалением [17].

Конечный результат обследования отображается в виде показателей Osteoporosis Score (OS) и Fragility Score (FS). OS характеризует кость как остеопорозную, остеопеническую или норму, выражаясь в виде T и Z-критериев.

FS или «индекс хрупкости» — количественный параметр 5-летнего риска перелома в числовом значении от 1 до 100, который рассчитывается программой при сравнении полученных данных с базой данных пациентов без переломов и с наличием низкотравматических переломов в анамнезе. Корреляция показателя с риском десятилетней вероятности остеопоротического перелома по FRAX позволяет рассматривать его как самостоятельную характеристику состояния костной ткани [18–20].

Технические характеристики аппарата REMS определяют отличительные особенности среди других методов оценки состояния костной ткани [6]:

- отсутствие лучевой нагрузки для пациента и сотрудника и, как следствие, возможность проведения исследования в любом помещении, в том числе вне медицинской организации;
- ввиду сканирования позвонков через переднюю брюшную стенку ограничение исследования для пациентов с индексом массы тела более 40 кг/м²;
- с учетом отсеивания артефактов возможность проведения сканирования в группе пациентов с наличием металлоконструкций, кальцификацией брюшного отдела аорты;
- оценка качества костной ткани, независимо от результатов МПК, при расчете FS как дополнительного параметра.

КЛИНИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ REMS ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОСТЕОПОРОЗА

В октябре 2018 г. технология радиочастотной эхографической мультиспектрометрии была разрешена к применению Food and Drugs Administration (FDA) США. В настоящее время методика зарегистрирована в 49 странах, в том числе в РФ с 2020 г. [21].

Одним из первых исследований по оценке валидности REMS было одноцентровое исследование Casciaro S. с соавт. в 2016 г., по результатам которого в группе из 377 женщин ревматологического отделения в возрасте 61–70 лет конкордантность REMS и DXA в бедренной кости составила 94,7% [22].

Сопоставимость диагностической применимости REMS по сравнению с DXA позже была проанализирована в европейском многоцентровом клиническом исследовании, опубликованном в 2021 г. Среди 4307 пациентов европеоидной расы в возрасте от 30 до 90 лет было проведено 4245 сканирования поясничного отдела позвоночника и 4271 сканирование шейки бедренной кости. За исключением 340 (8%) и 408 (9,6%) ошибочных отчетов DXA для шейки бедренной кости и поясничного отдела позвоночника соответственно и 323 (7,6%) и 373 (8,8%) ошибочных REMS-сканирования, 360 случаев сканирования шейки бедренной кости и 3464 случая сканирования поясничного отдела позвоночника были использованы для анализа функциональных характеристик [23].

Опубликованные результаты исследования продемонстрировали высокую чувствительность (90,9%) и специфичность (95,1%) в рамках диагностики остеопороза для поясничного отдела позвоночника и шейки бедренной кости (90,4% и 95,5% соответственно), положительную прогностическую значимость в диапазоне 82–86% и отрицательную прогностическую значимость более 97% для обоих референтных анатомических участков.

Авторы работы опубликовали данные по достойной корреляции ($r=0,93$ по шейке бедра и $r=0,94$ по поясничному отделу позвоночника) между результатами измерения МПК методами DXA и REMS в исследуемой популяции.

С учетом анамнестических данных пациентов (с наличием низкотравматического перелома и без него) полученные Т-показатели методом DXA в меньшей степени отражали перенесенные переломы, чем результаты REMS [23].

В исследовании Giovanni Adam с соавт. [24] в течение 5 лет изучалась возможность выявления пациентов с высоким риском низкотравматического перелома с использованием значений Т-критерия методом REMS. В исследование было включено 1516 женщин в возрасте 30–90 лет. Всем исследуемым было проведено сканирование аксиальных участков скелета двумя методами: DXA и REMS.

За период наблюдения частота патологических переломов составила 14,0%. Было отмечено 192 перелома: 14,6% запястья, 12,5% позвонков, 11,8% плечевой кости, 11,1% бедра, 7,7% предплечья, 6,9% голеностопного сустава, 4,6% таза, 22,3% других локализаций.

По данным исследования, чувствительность и специфичность REMS в отношении сканирования позвонков составила 92,4% и 94,4%, для бедренной кости 90,9% и 96,2% соответственно. Полученные результаты обследования выявили связь между более низкими значениями Т-критерия и более высокой частотой переломов. У 39,5% пациентов с остеопорозом наблюдались переломы в течение всего периода наблюдения при DXA, против 43,7% — при REMS.

В заключении исследования авторы выделяют Т-критерий REMS в качестве прогностического фактора возникновения случайных патологических переломов среди женщин (двойной риск перелома на единицу снижения), что дает дополнительную возможность диагностики остеопороза в клинической практике.

Самостоятельным показателем качества костной ткани является «индекс хрупкости» — Fragility score. По результатам проведенного анализа 1989 случаев пациентов с остеопорозом, Paola Pisani и соавт. была продемонстрирована дополнительная возможность выявления пациентов высокого риска перелома в краткосрочной перспективе благодаря использованию специфических пороговых значений FS [25].

Вероятность и причины ошибочных результатов сканирования методом REMS были проанализированы с учетом внутри- и межисследовательской воспроизводимости данных в итальянском исследовании 2019 г. [26].

Исследование проводилось с привлечением 1914 женщин в постменопаузе от 51 до 70 лет и индексом массы тела (ИМТ) менее 40 кг/м². Каждый случай включал повторный анализ (одного оператора и разных операторов) методом REMS для исключения ошибок сканирования.

По результатам двойной проверки разными операторами каждого случая было выделено 280 ошибочных сканирований методом REMS позвоночника (18%) и 205 неверных сканов проксимального отдела бедра (12%). После перекрестной проверки и исключения некорректных данных было проанализировано 1195 позвоночных и 1373 сопоставимых бедренных случаев.

Неправильно подобранные параметры фокуса и глубины сканирования отмечены как основные ошибки при проведении исследования. Отдельное внимание авторов уделяется должному обучению оператора, которое необходимо для качественного выполнения данного метода обследования.

После исключения 30% ошибочных результатов сканирования из исследования, чувствительность REMS при разделении пациентов с остеопорозом и без составила 91,7% для позвоночника и 91,5% для бедра, специфичность — 92% и 91,8% соответственно [26].

Изучение взаимосвязи между REMS и DXA описано в сравнительном исследовании пациентов с первичным остеопорозом и остеопорозом, связанным с иммобилизацией, в общей сложности у 175 пациентов. Диагностическое соответствие составило 63% (каппа Коэна = 0,31) у пациентов с первичным остеопорозом и 13% (каппа Коэна = -0,04) у пациентов с остеопорозом, связанным с иммобилизацией. В группе пациентов с первичным остеопорозом ($n=140$) не было выявлено существенной разницы между показателями МПК шейки бедра и общей МПК бедренной кости (средняя разница между REMS и DXA: $-0,015$ г/см² и $0,004$ г/см² соответственно), подтверждая хорошее соответствие между REMS и DXA у пациентов с первичным остеопорозом; однако имелась значительная разница в показателях МПК, связанных с иммобилизацией ($n=35$, средние различия составляют $0,136$ г/см² и $0,236$ г/см² соответственно), демонстрирующая плохую диагностическую согласованность в этой меньшей популяции [27].

Особое значение приобретает обследование пациентов с сахарным диабетом 2 типа (СД2) в связи с ростом заболеваемости и прогрессирующим числом осложнений.

В отличие от лиц с сахарным диабетом 1 типа (СД1), пациенты с СД2 имеют нормальную или даже высокую

минеральную плотность кости, однако риск переломов любой локализации у них в 3 раза выше, чем в общей популяции [28], что связано с непосредственным изменением «качества» костной ткани.

Ложное завышение показателей МПК методом DXA у пациентов с СД2 развивается вследствие дегенеративных изменений, связанных с остеоартритом, остеофитами, кальцификацией сосудов или переломами позвонков, что может приводить к значительному занижению риска переломов у таких пациентов [29].

В работе Carla Caffarelli были проанализированы возможности применения REMS для диагностики остеопороза в группе пациентов с СД2 [29].

В исследовании приняли участие 90 женщин европеидной расы в возрасте 50–80 лет с СД2 и 90 женщин без нарушений углеводного обмена в качестве контрольной группы. Пациентки с морбидным ожирением, хронической болезнью почек, патологией кальций-фосфорного обмена, уровнем гликированного гемоглобина более 8,5% были исключены.

Показатели DXA в ходе наблюдения были выше у женщин с СД, чем у лиц без диабета. Результаты REMS, напротив, были ниже у женщин с СД, чем у группы сравнения, но различия не достигли статистической значимости.

В исследовании Fiorella A. Lombardi и соавт. было проведено сравнение значений FS среди группы пациентов с СД2 с контрольной здоровой группой для оценки качества костной ткани. Средние значения FS, измеренные с помощью REMS в поясничном отделе позвоночника, были значительно выше в когорте пациентов с СД2 ($53,4 \pm 16,8$), чем у здоровой контрольной группы ($50,8 \pm 17,7$) [30].

Использование радиочастотной эхографической мультиспектрометрии в рамках вторичного остеопороза проанализировано в когорте пациентов с акромегалией в исследовании Rolla M. [31].

В исследование были включены 33 пациента с акромегалией (лекарственно контролируемой и в стадии ремиссии после хирургического лечения) и 24 здоровых человека контрольной группы. Данные REMS по минеральной плотности кости поясничного отдела позвоночника и шейки бедренной кости не показали существенных различий между группами. Аналогичным образом не было выявлено существенных различий в МПК методом DXA между пациентами с лекарственно-контролируемой акромегалией и после хирургического лечения. Отдельное внимание авторы уделили положительной корреляции между концентрацией ИФР-1 и МПК, измеренной с помощью REMS и DXA.

Валидность использования REMS у мужчин также была проанализирована в исследовании Adami Giovanni у 603 белых мужчин в возрасте от 30 до 90 лет. Результаты

обследования показали значимую корреляцию между значениями T-score, измеренными по REMS и DXA ($r=0,91$, $p<0,0001$), для поясничного отдела позвоночника и шейки бедра ($r=0,90$, $p<0,0001$) [32].

Экспертами Европейского общества клинических и экономических аспектов остеопороза, остеоартрита и заболеваний опорно-двигательного аппарата (ESCEO) методика REMS рассматривается как потенциальный инструмент в диагностике остеопороза и оценке качества костной ткани с учетом ее технических возможностей и результатов проведенных исследований по сопоставимости диагностической точности в сравнении с DXA [33].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технические характеристики и особенности программного обеспечения REMS (отсутствие лучевой нагрузки, компактность, мобильность, расчет Frailty score) могут дать дополнительные возможности в рамках диагностики остеопороза, обладая при должном качестве выполнения обследования высокой чувствительностью и специфичностью при сравнении с DEXA. Вместе с тем метод сохраняет недостатки оператор-зависимости ультразвуковых технологий.

Перспективы внедрения REMS в рамках первичной амбулаторной помощи могут способствовать раннему выявлению остеопороза и предупреждению появления патологических переломов в популяции.

Исследование пациентов с СД2 с помощью метода REMS представляет интерес с точки зрения особенности изменения костной структуры при повышении или нормальном значении МПК, что требует проведения углубленного наблюдательного исследования.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания №124020700097-8.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с содержанием настоящей статьи.

Участие авторов. Жданова А.С. — анализ полученных данных, написание текста; Телегина М.А. — сбор и обработка материалов; Артемова А.М. — написание статьи; Белая Ж.Е. — концепция и дизайн исследования, внесение существенной правки с целью повышения научной ценности статьи.

Все авторы одобрили финальную версию статьи перед публикацией, выразили согласие нести ответственность за все аспекты работы, подразумевающую надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с точностью или добросовестностью любой части работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, et al. Osteoporosis in the European Union: a compendium of aetiology, diagnosis and management. *Archives of Osteoporosis*. 2013;8(1):1-36. doi: <https://doi.org/10.1007/s11657-013-0159-0>
- Cummings SR, Melton LJ. Epidemiology and Outcomes of Osteoporotic Fractures. *The Lancet*. 2002;359(9319):1761-1767. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)08657-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)08657-9)
- Лесняк О.М., Ершова О.Б., Белова К.Ю. и др. Эпидемиология остеопоротических переломов в Российской Федерации и российская модель FRAX. // *Остеопороз и остеопатии*. — 2014. — Т.17. — №3. — С. 3-8. [Lesnyak OM, Yershova OB, Belova KYu, et al. Epidemiology of osteoporotic fractures in the russian federation and the russian model of FRAX. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2014;17(3):3-8. (In Russ.)] doi: <https://doi.org/10.14341/osteo201433-8>

4. Белая Ж.Е., Белова К.Ю., Бирюкова Е.В. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза. // *Остеопороз и остеопатии*. — 2021. — Т.24. — №2. — С.4-47. [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. (In Russ.))] doi: <https://doi.org/10.14341/osteo12930>
5. Шарашкина Н.В., Наумов А.В., Дудинская Е.Н. и др. Консенсус экспертов: Диагностика остеопороза и саркопении у пациентов пожилого и старческого возраста. // *Терапия*. — 2023. — №10. — С.7-20. [Sharashkina NV, Naumov AV, Dudinskaya EN, et al. Consensus of experts: Diagnosis of osteoporosis and sarcopenia in elderly and senile patients. *Therapy*. (In Russ.))] doi: <https://doi.org/10.18565/therapy.2023.10.7-20>
6. Belaya Z, Rozhinskaya L, Dedov I, et al. A summary of the Russian clinical guidelines on the diagnosis and treatment of osteoporosis. *Osteoporos International*. 2023;34(3):429-447. doi: <https://doi.org/10.1007/s00198-022-06667-6>
7. Sarecka-Hujar B. The Role of DXA in the Assessment of Bone Mineral Density. *Wiadomości Lekarskie*. 2016;69(1):57-63
8. Beck T. Measuring the structural strength of bones with dual-energy X-ray absorptiometry: principles, technical limitations, and future possibilities. *Osteoporos International*. 2003;14(5):81-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s00198-003-1478-0>
9. Петряйкин А.В., Низовцова Л.А., Артюкова З.Р. и др. Остеоденситометрия: методические рекомендации. Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». — Вып. 88. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГБУЗ «НПКЦ дит ДЗМ»; 2020; 60. [Petryaykin AV, Nizovtsova LA, Artyukova ZR, et al. Osteodensitometry: methodological recommendations. The series «The best practices of radiation and instrumental diagnostics». Issue 88. 2nd ed., reprint. And additional information: GBUZ «NPCC dit DZM». 2020; 60 (In Russ.))]
10. Kanis JA, Johnell O. Requirements for DXA for the management of osteoporosis in Europe. *Osteoporos International*. 16(3):229-238. doi: <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1811-2>
11. Лесняк О.М., Баранова И.А., Белова К.Ю. и др. Остеопороз в Российской Федерации: эпидемиология, медико-социальные и экономические аспекты проблемы (обзор литературы). // *Травматология и ортопедия России*. — 2018Т. 24. — №1 — С.155-168. [Lesnyak OM, Baranova IA, Belova KYu, et al. Osteoporosis in Russian Federation: Epidemiology, Socio-Medical and Economical Aspects (Review). *Traumatalogiya i ortopediya Rossii [Traumatology and orthopedics of russia]*. 2018;24(1):155-168. (in Russ.))] doi: <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-155-168>
12. Nicholas R Fuggle, Elizabeth M Curtis, Kate A Ward et al. Fracture prediction, imaging and screening in osteoporosis. *Nature Reviews Endocrinology*. 2019;(15):535-547. doi: <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0220-8>
13. Diez-Perez A, Brandi ML, Al-Daghri N, et al. Radiofrequency echographic multispectrometry for the in-vivo assessment of bone strength: state of the art-outcomes of an expert consensus meeting organized by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal diseases (ESCEO). *Aging Clin Exp Res*. 2019;(31):1375-1389. doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01294-4>
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: <https://doi.org/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: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.01.024>
16. Casciaro S, Conversano F, Pisani P, et al. New perspectives in echographic diagnosis of osteoporosis on hip and spine. *Clin. Cases Miner. Bone Metab*. 2015;12(2):142-150. doi: <https://doi.org/10.11138/ccmbm/2015.12.2.142>
17. Лесняк О.М. Новый метод оценки прочности костной ткани: радиочастотная эхографическая мультиспектрометрия. // *Эффективная фармакотерапия*. — 2020. — Т.16. — №19. — С. 38-44. [Lesnyak OM. A new method for assessing bone tissue strength: radiofrequency echographic multispectrometry. *Effective pharmacotherapy*. 2020;16(19):38-44. (In Russ.))] doi: <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2020-16-19-38-44>
18. Caffarelli C, Tomai Pitinica MD, Francolini V, et al. REMS technique: future perspectives in an Academic Hospital. *Clin. Cases Miner. Bone Metab*. 2018;15(2):163-165. doi: <https://doi.org/10.11138/ccmbm/2018.15.2.163>
19. Greco A, Pisani P, Conversano F, Soloperto G. Ultrasound fragility score: an innovative approach for the assessment of bone fragility. *Measurement*. 2017;101:236-242. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.01.033>
20. Pisani P, Greco A, Conversano F, et al. A quantitative ultrasound approach to estimate bone fragility: a first comparison with dual X-ray absorptiometry. *Measurement*. 2017;101:243-249. doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.07.033>
21. Иванов С.Н. REMS — денситометрия. Расширение возможностей диагностики и прогнозирования рисков переломов. // *Opinion Leader*. — 2021. — Т.45. — №4 — С.78-87. [Ivanov SN. REMS — densitometry. Expanding the possibilities of diagnosing and predicting fracture risks. *Opinion Leader*. 2021;45(№4)78-87. (In Russ.))]
22. Sergio Casciaro, Marco Peccarisi, Paola Pisan, et al. An Advanced Quantitative Echosound Methodology for Femoral Neck Densitometry. *Ultrasound in Medicine Biology*. 2016;42(6):1337-56. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.01.024>
23. 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115786>
24. 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: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115297>
25. Paola Pisani, Francesco Conversano, Maurizio Muratore, et al. Fragility Score: a REMS-based indicator for the prediction of incident fragility fractures at 5 years. *Aging Clin Exp Res*. 2023;35(4):763-773. doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-023-02358-2>
26. M Di Paola, D Gatti, O Viapiana, 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: <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4686-3>
27. Lalli P, Claudia Mautino, Chiara Busso, et al. Reproducibility and accuracy of the Radiofrequency Echographic Multi-spectrometry for femoral Mineral density estimation and discriminative power of the femoral fragility score in patients with primary and disuse-related osteoporosis. *J Clin Med* 2022; 11(13):3761. doi: <https://doi.org/10.3390/jcm11133761>
28. Picke AK, Campbell G, Napoli N, et al. Update on the Impact of Type 2 Diabetes Mellitus on Bone Metabolism and Material Properties. *Endocr Connect*. 2019;8(3):55-70. doi: <https://doi.org/10.1530/EC-18-0456>
29. Carla Caffarelli, Maria Dea Tomai Pitinca, Antonella Al Refaie. Ability of radiofrequency echographic multispectrometry to identify osteoporosis status in elderly women with type 2 diabetes. *Aging clinical and experimental research*. 2022;34(1):121-127. doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-021-01889-w>
30. Fiorella Anna Lombardi, Paola Pisani, Francesco Conversano. REMS technology for the assessment of the effect of dmt2 on bone health. *Annals of the Rheumatic Diseases*. 2024;83:1399-1399. doi: <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2024-eular.2241>
31. Rolla M, Halupczok-Zyła J, Jawiarczyk-Przybyłowska A, et al. Bone densitometry by radiofrequency echographic multi-spectrometry (REMS) in acromegaly patients. *Endokrynol. Pol*. 2020;71:524-531. doi: <https://doi.org/10.5603/EPa2020.0056>
32. Adami Giovanni, Brandi Maria Luisa, Caffarelli Carla. Bone health status evaluation in men by means of REMS technology. *Aging clinical and experimental research*. 2024;36(1):74. doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02728-4>
33. Adolfo Diez-Perez, Maria Luisa Brandi, Nasser Al-Daghri. Radiofrequency echographic multi-spectrometry for the in-vivo assessment of bone strength: state of the art-outcomes of an expert consensus meeting organized by the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases (ESCEO). *Aging clinical and experimental research*. 2019;31 (10): 1375-1389. doi: <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01294-4>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Жданова Анастасия Станиславовна**, аспирант [**Anastasiia S. Zhdanova**, PhD student]; адрес: 117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11 [address:117036, Russia, Moscow, Dmitria Uljanova street, 11]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2948-5019>; eLibrary SPIN: 1996-5308; e-mail: npushkareva96@mail.ru

Телегина Мария Алексеевна, ординатор [Maria A. Telegina]; ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2805-4460>; eLibrary SPIN: 5467-3255; ResearcherID: JMB-6130-2023; e-mail: telegina-07@yandex.ru

Артемова Алла Михайловна, врач УЗИ-диагностики [Alla M. Artemova, ultrasound doctor]; eLibrary SPIN: 7757-7761; e-mail: alartymova@yandex.ru

Белая Жанна Евгеньевна, д.м.н., профессор [Zhanna E. Belaya, MD, PhD]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6674-6441>; eLibrary SPIN: 4746-7173; e-mail: jannabelaya@gmail.com

ИНФОРМАЦИЯ

Рукопись получена: 01.11.2024. Одобрена к публикации: 08.11.2024.

ЦИТИРОВАТЬ:

Жданова А.С., Телегина М.А., Артемова А.М., Белая Ж.Е. Радиочастотная эхографическая мультиспектрометрия (REMS): описание метода и перспективы его использования в клинической практике // *Остеопороз и остеопатии*. — 2025. — Т. 28. — №1. — С. 21-27. doi: <https://doi.org/10.14341/osteo13186>

TO CITE THIS ARTICLE:

Zhdanova AS, Telegina MA, Artemova AM, Belaya ZE. Radiofrequency echographic multi spectrometry (REMS): description of the method and perspective for its usage in clinical practice. *Osteoporosis and bone diseases*. 2025;28(1):21-27. doi: <https://doi.org/10.14341/osteo13186>