

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ОСТЕОПОРОЗА С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ



Юсупалиева Гулнора Акмаловна, Бекимбетов Кудрат Назарович, Ахралов Шерзод Фархадович, Турдиев Феруз Эргашович
Ташкентский педиатрический медицинский институт, Республика Узбекистан, г. Ташкент

РЕНТГЕНОЛОГИК ВА УЛТРАТОВУШ УСУЛЛАРИ ЁРДАМИДА ОСТЕОПОРОЗНИ ЭРТА ТАШХИСЛАШ

Юсупалиева Гулнора Акмаловна, Бекимбетов Кудрат Назарович, Ахралов Шерзод Фархадович, Турдиев Феруз Эргашович
Тошкент педиатрия тиббиёт институти, Ўзбекистон Республикаси, Тошкент ш.

EARLY DIAGNOSIS OF OSTEOPOROSIS USING RADIOLOGICAL AND ULTRASOUND METHODS

Yusupaliyeva Gulnora Akmalovna, Bekimbetov Kudrat Nazarovich, Akhralov Sherzod Farhadovich, Turdiev Feruz Ergashovich
Tashkent Pediatric Medical Institute, Republic of Uzbekistan, Tashkent

e-mail: bekimbetov.qudrat@mail.ru

Резюме. Остеопорознинг самарали олдини олиши ва даволаш аҳолини текшириши ва эрта таххис қўйишининг тегишли усулларини талаб қилади. Замонавий клиник диагностика усуллари асосан рентген ёки ултратовуш (УТТ) дан фойдаланишга асосланган. Рентгенга асосланган барча усуллар суяк минерал зичлигини (СМЗ) ўлчашига имкон беради, аммо денситометрик усул ёрдамида баҳолаб бўлмайдиган механик хусусиятлар ва эластик хусусиятлар каби синиши хавфини аниқлаш учун суякнинг бошқа структуравий жиҳатлари муҳим эканлиги исботланган. Энг кўп ишлатиладиган усуллар орасида иккиталик рентген абсорпциометрияси (ИРА) ҳозирда остеопорозни таххислаш ва синиши хавфини башират қилиши учун “олтин стандарт” ҳисобланади.

Калит сўзлар: остеопороз диагностикаси, скрининг усуллар, рентген усуллар, суяк минерал зичлиги.

Abstract. Effective prevention and treatment of osteoporosis require appropriate methods of population examination and early diagnosis. Modern clinically available diagnostic methods are mainly based on the use of X-rays or ultrasound (ultrasound). All X-ray-based methods allow the measurement of bone mineral density (BMD), but it has been demonstrated that other structural aspects of bone are important for determining the risk of fractures, such as mechanical characteristics and elastic properties, which cannot be assessed using the densitometric method. techniques. Among the most commonly used methods, double X-ray absorptiometry (DRA) is currently considered the "gold standard" for diagnosing osteoporosis and predicting the risk of fractures.

Keywords: diagnosis of osteoporosis, screening methods, X-ray methods, bone mineral density.

В последние годы распространенность и осведомленность об остеопорозе растут, и, по оценкам, во всем мире остеопорозом страдают 200 миллионов человек. Тем не менее, около 75% этих людей представляют собой не диагностированные случаи и не получают соответствующего лечения.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), остеопороз - это «системное заболевание скелета, характеризующееся низкой костной массой и ухудшением микроархитекто-

ники костной ткани с последующим увеличением хрупкости костей и предрасположенностью к переломам» [1].

Переломы, возникающие в результате остеопороза, приводят к высоким показателям заболеваемости и смертности, снижают качество жизни и являются причиной резкого увеличения затрат на здравоохранение [2-4]. Как следствие, с постепенным увеличением продолжительности жизни в развитых странах остеопороз и, как следствие, хрупкие переломы представляют собой

серьезную проблему для здоровья пожилых женщин (старше 50 лет), которая станет преобладающей в ближайшие десятилетия [2]. Социально-экономическая потребность в ведении пациентов с остеопорозом также увеличится в ближайшие годы [5]: было бы полезно и необходимо принять профилактический подход к проблеме у женщин в постменопаузе с целью остановить или хотя бы замедлить развитие остеопороза, прогрессирующего заболевания [2, 6]. При таком подходе ранняя диагностика имеет важное значение для своевременного выявления и лечения пациентов, находящихся в группе риска остеопоротических переломов. В этом контексте диагностическая визуализация остеопороза преследует две основные цели: (1) выявить наличие остеопороза и (2) получить прогностическую информацию о вероятности будущих переломов путем количественного определения костной массы [7].

Диагноз остеопороза основывается на количественной оценке МПК, которая в настоящее время считается лучшим предиктором остеопоротических переломов. Значение МПКТ - это количество костной массы на единицу объема (объемная плотность) или на единицу площади (площадная плотность), и то и другое можно измерить *in vivo* с помощью денситометрических методов [2]. За последние 25 лет было разработано множество неинвазивных методов диагностики остеопороза, основанных на ослаблении ионизирующего излучения для количественной оценки МПК в различных участках скелета. Среди наиболее часто используемых рентгеновских методов количественная компьютерная томография (ККТ) и DXA позволяют количественно оценить потерю костной массы, а морфометрия позволяет оценить наличие переломов позвонков.

К сожалению, применение нынешнего «золотого стандарта» костной денситометрии, DXA, не подходит в первичной медико-санитарной помощи или в качестве инструмента скрининга для улучшения результатов диагностики, поскольку определенные особенности, такие как использование радиации, большой размер оборудования, его относительно высокая стоимость и ограниченная доступность измерений не позволяют ему стать настоящим эталоном в лечении остеопороза. Более того, все методы, основанные на рентгене, позволяют измерить МПК, но этот параметр может объяснить только 60–80% изменчивости прочности кости, и было продемонстрировано, что другие механические аспекты кости (параметры микроархитектоники, геометрия кости) и упругие свойства, которые невозможно оценить денситометрическими методами [2, 8]) важны для определения риска переломов [2, 9].

Количественные ультразвуковые (КУЗ) методы оценки остеопороза, разработанные за по-

следние 10 лет, показали некоторую способность определять качество кости и предоставлять информацию не только о плотности кости, но также о ее структуре и эластических свойствах [10–12]. Их основное ограничение заключается в том, что доступные в настоящее время устройства КУЗ можно применять только на периферических участках скелета: пяточной кости, проксимальных фалангах кисти, диафизе большеберцовой кости и лучевой кости. Тем не менее, методы КУЗ намного быстрее, проще в использовании и портативнее, чем DXA; они также менее дороги и не используют ионизирующее излучение: эти особенности предполагают будущую роль КУЗ как эффективного инструмента скрининга для диагностики остеопороза.

В данной статье дан обзор наиболее широко используемых рентгенологических методов диагностики остеопороза и наиболее актуальных разработок в области КУЗ, подчеркивая соответствующие преимущества и ограничения их использования в клинической практике.

Этот обзор предоставляет полную основу для понимания и правильно оценивает, какие инструменты или методы могут помочь в ранней диагностике остеопороза.

До появления новых, высокоточных и точных количественных методов, таких как DXA и ККТ, остеопороз чаще всего диагностировали с помощью традиционной однофотонной абсорбциометрии (SPA), одноэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (SXA) и двухфотонной абсорбциометрии (ДПА) [7]. Благодаря развитию DPA и DXA стало возможным непосредственно исследовать основные анатомические ориентиры: проксимальный отдел бедренной кости и тела позвонков [7].

Двойная рентгеновская абсорбциометрия

Метод двойной рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) был представлен в 1987 году как приемник ДПА. Среди различных методов, которые были разработаны для оценки заболевания остеопорозом с точки зрения костной массы, минерального содержания кости или других связанных аспектов скелетной массы или структуры, метод, который достиг более полной технической разработки и биологической проверки, - это DXA, который в настоящее время считается «золотым стандартом» диагностики остеопороза.

В DXA производство фотонов, основанное на использовании рентгеновской трубки [13], приводит к более короткому времени визуализации (менее 5 минут) с повышенным разрешением и повышенной точностью, чем в DPA с использованием радионуклидного источника. Как и DPA, этот метод определяет МПК в двух измерениях (по передне-заднему изображению).

Сканер DXA (рис.1) состоит из мобильного источника рентгеновского излучения, стола для осмотра пациента и системы обнаружения, которая обнаруживает излучение, исходящее от обследуемых костей. Источник рентгеновского излучения находится под смотровым столом и перемещается вместе с системой детектирования, расположенной напротив источника рентгеновского излучения и над телом пациента.

В DXA используется рентгеновский луч, состоящий из фотонов двух разных энергий (постоянной и импульсной): используемая энергия выбирается так, чтобы компенсировать различные коэффициенты ослабления минерализованной кости и мягких тканей анализируемого участка скелета. В частности, интенсивность фотонов высокой и низкой энергии анализируется отдельно после того, как протоны прошли через кости и мягкие ткани. Значения ослабления мягких тканей

вычитаются с помощью алгоритма, обеспечивающего только значения ослабления кости. Эти значения сравниваются со стандартными значениями в фантомах известной плотности, чтобы получить значение содержания минералов в кости (в граммах). Разделив содержание минералов в кости на проекционную площадь измеряемого участка (в квадратных сантиметрах), можно получить значение МПК (в граммах на квадратный сантиметр) [15]. МПК также может быть выражена как Т-показатель и Z-показатель, которые представляют собой количество стандартных отклонений (SD) по отношению к эталонному среднему значению. Т-показатель описывает разницу между МПК обследуемого пациента и средней МПК стандартной молодой взрослой популяции (20-30 лет, когда МПК обычно достигает своего пикового значения).

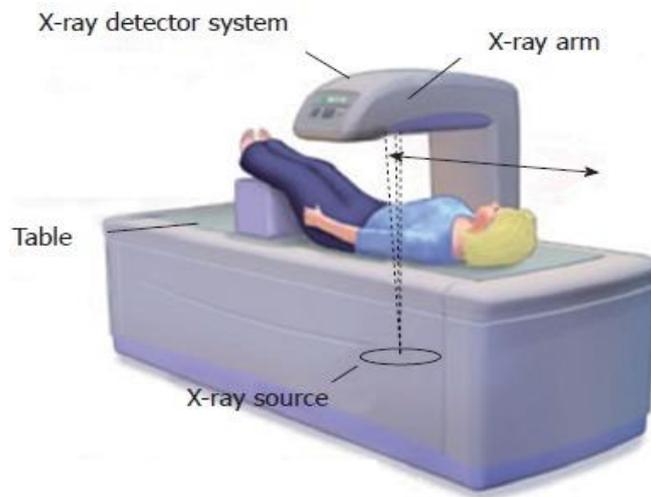


Рис. 1. Костная денситометрия (двойная рентгеновская абсорбциометрия). Схематическое изображение источника и детектора рентгеновского излучения в устройстве двойной рентгеновской абсорбциометрии

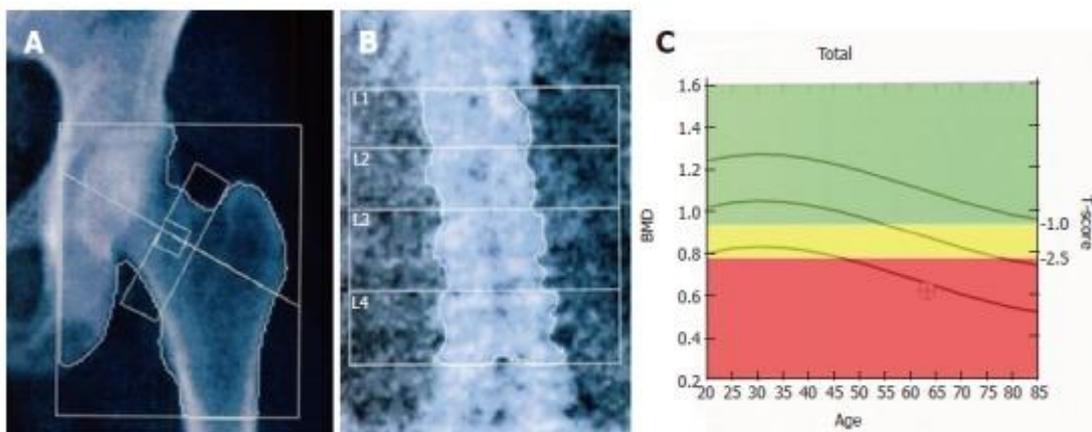


Рис. 2. Двойная рентгеноабсорбциометрия в контрольных точках. А: Двойная рентгеновская абсорбциометрия (DXA) шейки бедренной кости; В: ДРА-обследование поясничного отдела позвоночника с анализом тел позвонков (L1-L4); С: Графическая кривая значений Т-показателя, нормализованных по возрасту. Зеленая область панели указывает на нормальные значения Т-показателя ($\geq -1,0$), желтая область указывает на остеопению ($< -1,0$, но $> -2,5$), а красная область указывает на остеопороз ($< -2,5$). МПК: минеральная плотность кости

Z-показатель показывает разницу между МПК пациента и средней МПК контрольной группы соответствующего возраста и пола. Результаты DXA представляются в виде числовых значений МПК, T-показателя и Z-показателя, а также в виде графической кривой, на которой значения параметров пациента сравниваются со значениями контрольной популяции соответствующего пола, принадлежащей к той же этнической группе. В 1994 году ВОЗ определила пороговые уровни для диагностики остеопении и остеопороза с помощью ДРА. Как следствие, измерения DXA в настоящее время являются стандартом клинической диагностики остеопороза с помощью костной денситометрии. В частности, ВОЗ классифицирует МПК на основе T-показателя (рис.2) как нормальный ($\geq -1,0$), остеопении ($< -1,0$, но $> -2,5$), остеопороз ($\leq -2,5$) и тяжелый остеопороз ($\leq -2,5$ с хрупким переломом) [16, 17].

Было показано, что воспроизводимость измерений МПК, выраженная в виде коэффициента вариации (CV), достаточно хорошая: 1,12% для позвоночника, 2,21% для шейки бедра и 1,32% для всего бедра [18].

Центральный скелет (позвоночник и бедренная кость) является наиболее подходящим местом измерения, поскольку именно здесь наблюдаются наиболее тяжелые переломы. В частности, поясничный отдел позвоночника (от L1 до L4) и проксимальный отдел бедренной кости (все бедро, шейка бедренной кости, вертел и область WARD) измеряются осевыми приборами DXA.

Метод DXA также применялся для измерений периферических мест, таких как пятка и дистальный отдел лучевой кости. Выбор исследования предплечья может дать информацию о возможности перелома запястья и может быть выполнен, когда оценка других участков невозможна; аналогичным образом, измерения пяточной кости особенно предсказывают переломы позвоночника [19, 20], даже если критерий ВОЗ для диагностики остеопороза (показатель T $\leq -2,5$) не применим к пяточной кости. В любом случае, поскольку существует лишь умеренная корреляция между периферической и аксиальной МПК ($r = 0,5-0,6$), было подсчитано, что более 40% пациентов, обследованных на участках периферической кости, потребуют дополнительного направления на аксиальное измерение DXA [21]. Показано, что наиболее надежный прогноз будущих переломов достигается путем измерений на фактическом месте будущего перелома. Таким образом, риск перелома бедра лучше всего оценить по МПКТ проксимального отдела бедренной кости, тогда как переломы позвонков лучше всего прогнозировать по МПКТ поясничных позвонков [22].

Поскольку DXA является двумерным методом, он имеет некоторые ограничения. Он не мо-

жет помочь ни в различении кортикальной и трабекулярной кости, ни в различении изменений, вызванных геометрией кости (например, вариаций в третьем измерении), и тех, которые действительно вызваны вариациями МПК (в пределах фиксированного объема кости). Кроме того, микроструктурные характеристики (например, форма трабекул, размер, количество, ориентация и т. д.) оценить невозможно. Кроме того, следует учитывать и другие факторы, которые могут стать причиной клинически значимых диагностических ошибок: наличие остеомалиции может привести к недооценке костной массы; остеоартрит позвоночника или бедра может увеличить измеренную плотность костей без улучшения фактической прочности скелета; Кальцификация мягких тканей, предыдущие переломы, тяжелый сколиоз или деформации позвонков могут быть источниками ошибок при диагностике остеопороза с помощью ДРА [5].

Использование ДРА требует хорошо обученного персонала: неправильное позиционирование пациента, анализ сканирования или ошибки в интерпретации могут привести к ошибкам в диагностике и последующей терапии [23]. Кроме того, не следует забывать, что измерение DXA всегда подвергает пациента определенной дозе радиации: хотя доза облучения в современных устройствах DXA невелика [13], она все же препятствует возможности применения метода для крупномасштабного скрининга населения.

DXA также используется в педиатрической популяции для количественной оценки дефицита минералов в кости, связанного с различными заболеваниями, вызывающими остеопению у детей, и для выявления генетической предрасположенности к остеопорозу [24]. Однако ДРА у детей часто приводит к ошибочному диагнозу остеопороза и недооценке количества кости, поскольку рост и зрелость значительно снижают точность ДРА [24].

Морфометрия

Для улучшения правильной диагностики остеопороза были разработаны другие методы визуализации, а для выявления переломов позвонков были внедрены морфометрические методы. Морфометрия позвонков - это количественный метод, основанный на измерении различных размеров позвонков и расчете относительных изменений (или различий) в высоте позвонков как индикаторов перелома. Эти измерения могут быть получены с помощью обычных рентгенограмм позвоночника (морфометрическая рентгеновская рентгенография) или абсорбциометрических изображений (морфометрическая рентгеновская абсорбциометрия). Прежде чем измерять высоту позвонков, читатель должен определить уровни позвонков. Тела позвонков должны быть помече-

ны так, чтобы их можно было легче идентифицировать на контрольных рентгенограммах [3, 4, 9].

После того, как рентгенограммы оцифрованы, оператор вручную выбирает четыре угла интересующего позвонка. Программное обеспечение автоматически определяет средние точки между передними и задними угловыми точками верхней и нижней концевых пластинок и рассчитывает заднюю, среднюю и переднюю высоту каждого позвонка, а также конкретные индексы, полученные на основе измерений высоты, для определения деформаций позвонков. Морфометрическая рентгеновская абсорбциометрия в настоящее время является наиболее широко используемым цифровым методом оценки высоты позвонков, хотя она не позволяет отличить истинные переломы позвонков от деформаций позвонков, вызванных дегенеративными заболеваниями позвоночника и дисков.

Комбинация полуколичественных визуальных (обычная рентгенография) и количественных морфометрических методов может быть лучшим подходом для определения переломов, но не для целей профилактики, как это предложено Канисом и др. [10, 15], Национальным фондом остеопороза [6] и Международным фондом остеопороза [8, 12].

Для измерения количественных параметров и оценки свойств тканей также используются методы КУЗ. Интерес к методам можно объяснить прежде всего тем, что они не связаны с радиационным воздействием. Кроме того, устройства обладают преимуществами небольшого размера, портативности, быстрых и простых измерений, низкой стоимости по сравнению с ДРА и ККТ, более короткого времени исследования по сравнению с ДРА.

КУЗИ кости было внедрено примерно два десятилетия назад как метод исследования структурных особенностей кости и упругих свойств

костных тканей, которые невозможно было оценить с помощью денситометрических методов [7, 13], и применялось, в частности, при постменопаузальном остеопорозе [3, 20]. Последние технические инновации некоторых коммерчески доступных устройств позволили применять КУЗ к различным областям исследования скелета, используя этот неинвазивный метод, чтобы получить полную клиническую картину пациента (состояние костей и информацию о переломах риск).

Физические принципы методов УЗ

УЗ – механическая волна, характеризующаяся частотой, превышающей порог слышимости человеческого уха (> 20 кГц) [40]. Типичные методы КУЗ, в отличие от обычных методик УЗИ, основанных на отражении УЗ-волн, предполагают передачу (поперечно или продольно) УЗ-импульсов через исследуемую костную ткань и детектирование прошедших импульсов после их прохождения через среду. Кость, подлежащая исследованию, помещается между двумя датчиками, транслятором и приемником (рис.3).

В частности, импульс УЗИ передается в кору головного мозга и после распространения по кортикальному слою кости параллельно его длинной оси принимается другим ультразвуковым преобразователем на известном расстоянии. Сегодня в большинстве устройств используются несколько датчиков и методы двунаправленной передачи, чтобы повысить повторяемость измерений и исправить ошибки, связанные с мягкими тканями [4, 15].

Костная ткань имеет высокий коэффициент затухания звука, который экспоненциально возрастает с увеличением частоты волны: тогда при исследовании костей необходимо использовать более низкие частоты, чем те, которые используются при обычном эхографическом сканировании мягких тканей.

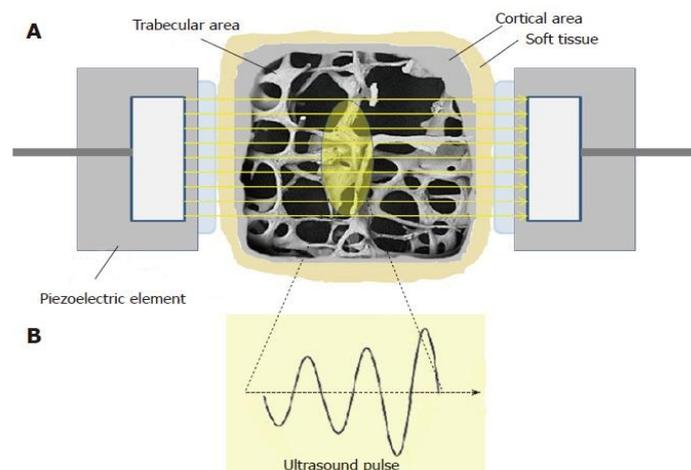


Рис. 3. Количественный ультразвуковой метод. А: Пучок ультразвука через костную ткань фаланги (путь передачи) при типичном количественном ультразвуковом измерении (вид в разрезе); Б: Ультразвуковой импульс

Первыми параметрами УЗИ, используемыми для характеристики костных тканей, являются: скорость звука и затухание широкополосного ультразвука (BUA). На основе комбинации скорости звука и BUA были разработаны более сложные параметры: зависящая от амплитуды скорости звука (AD-SoS), жесткость, количественный ультразвуковой индекс (QUI) [14]. При диагностике остеопороза последние оказались более полезными для выявления субъектов с низкой МПК и, следовательно, с высоким риском переломов [18].

Таким образом, из-за старения населения мира число людей, страдающих остеопорозом, также увеличивается, а осложнения, связанные с этим заболеванием, создают значительное социальное и экономическое бремя. Точная и ранняя диагностика остеопороза позволит улучшить клиническое лечение с точки зрения профилактики и адекватного фармакологического или хирургического лечения.

Доступные в настоящее время методы костной денситометрии в основном основаны на использовании рентгеновских лучей, считающихся «золотым стандартом», или ультразвука. Эти методы по-разному взаимодействуют с костными тканями из-за разных физических явлений, на которых они основаны. Поглощение рентгеновских лучей в основном контролируется количеством минералов в костной ткани и поэтому не дает информации об органическом составе или микроструктуре, которые вносят существенный вклад в механические свойства кости, что фактически влияет на оценку риска переломов. Напротив, на распространение ультразвука в костной ткани влияют структура ткани, органический и неорганический состав кальцинированного матрикса, а также свойства костного мозга, которые оказывают существенное влияние на распространение ультразвука.

Рентгеновские методы диагностики из-за своей высокой стоимости, дозы облучения (более высокой при ККТ, чем при ДРА), большого размера оборудования и ограниченной доступности специализированной инфраструктуры лучше всего подходят для диагностики остеопороза второго уровня, а не для диагностики остеопороза скрининговых целях первичной медико-санитарной помощи. Эти ограничения рентгеновских методов привели к увеличению интереса к разработке надежных инструментов предварительного скрининга остеопороза, таких как КУЗ-сканеры, особенно в тех странах, где доступность DXA очень ограничена.

Литература:

1. Драпкина О.М., Шепель Р.Н. Теломеры и теломеразный комплекс. Основные клинические

проявления генетического сбоя // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2015. Т.14. - №1. - С. 70-77. [Drapkina OM, Shepel RN. Telomeres and telomerase complex. The main clinical manifestation of genetic malfunctioning. Cardiovascular Therapy and Prevention 2015;14(1):70-77.

2. Лаврушкина С.В., Овсянникова Н.Л., Юдина А.С., и др. Канцерогенез и старение: взгляд со стороны ядерной ламины. // Цитология. - 2018. - Т. 60. - №11. - С. 892-894. [Lavrushlina SV, Ovsyannikova NL, Yudina AS, et al. Carcinogenesis and ageing: a view from nuclear lamina. Cell and tissue biology. 2018;60(11):892-894.

3. Слизов П.А., Долинина Т.И., Плескай Н.М., и др. Маркеры старения в клетках больных синдромом Коккейна. Общие и индивидуальные различия. // Цитология. - 2018. - Т. 60. - №3. - С. 188-199. [Slizhov PA, Dolinina TI, Pleskach NM, et al. Aging markers in cells of patients with Cockayne Syndrome. General and individual differences. Cell and tissue biology. 2018;60(3):188-199.

4. Соркина Е.Л., Тюльпаков А.Н. Наследственные и приобретенные липодистрофии: молекулярно-генетические и аутоиммунные механизмы. // Ожирение и метаболизм. - 2018. - Т. 15. - №1. - С. 39-42. [Sorkina EL, Tyulpakov AN. Inherited and acquired lipodystrophies: molecular-genetic and autoimmune mechanisms. Obesity and metabolism. 2018;15(1):39-42.

5. Belaya ZE, Grebennikova TA, Yashina JN, et al. Rare causes of secondary hyperparathyroidism clinical cases of Werner's syndrome, Gitelman's syndrome and osteopetrosis among patients referred for primary hyperparathyroidism. In: Osteoporosis International. Vol. 26. London: Springer; 2015. p. 111.

6. Colombo EA, Locatelli A, Cubells Sanchez L, et al. Rothmund-Thomson Syndrome: Insights from New Patients on the Genetic Variability Underpinning Clinical Presentation and Cancer Outcome. Int J Mol Sci. 2018;19(4).

7. Croteau DL, Popuri V, Opresko PL, Bohr VA. Human RecQ helicases in DNA repair, recombination, and replication. Annu Rev Biochem. 2014;83:519-552.

8. de Renty C, Ellis NA. Bloom's syndrome: Why not premature aging?: A comparison of the BLM and WRN helicases. Ageing Res Rev. 2017;33:36-51.

9. Hafsi W, Badri T. Poikiloderma Congenitale. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2019.

10. Hamczyk MR, del Campo L, Andrés V. Aging in the Cardiovascular System: Lessons from Hutchinson-Gilford Progeria Syndrome. Annu Rev Physiol. 2018;80(1):27-48.

11. Ishikawa N, Nakamura K-I, Izumiyama-Shimomura N, et al. Accelerated *in vivo* epidermal

- telomere loss in Werner syndrome. *Aging*. 2011;3(4):417-429.
12. Johnson JE, Cao K, Ryvkin P, et al. Altered gene expression in the Werner and Bloom syndromes is associated with sequences having G-quadruplex forming potential. *Nucleic Acids Res*. 2010;38(4):1114-1122.
13. Lauper JM, Krause A, Vaughan TL, Monnat RJ, Jr. Spectrum and risk of neoplasia in Werner syndrome: a systematic review. *PLoS One*. 2013;8(4):e59709.
14. Lessel D, Kubisch C. Hereditary Syndromes with Signs of Premature Aging. *Dtsch Arztebl Int*. 2019;116(29-30):489-496.
15. Lu L, Jin W, Wang LL. Aging in Rothmund-Thomson syndrome and related RECQL4 genetic disorders. *Ageing Res Rev*. 2017;33:30-35.
16. Maierhofer A, Flunkert J, Oshima J, et al. Accelerated epigenetic aging in Werner syndrome. *Aging*. 2017;9(4):1143-1152.
17. McKenna T, Sola Carvajal A, Eriksson M. Skin Disease in Laminopathy-Associated Premature Aging. *J Invest Dermatol*. 2015;135(11):2577-2583.
18. O'Sullivan RJ, Karlseder J. Telomeres: protecting chromosomes against genome instability. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2010;11(3):171-181.
19. Oshima J, Kato H, Maezawa Y, Yokote K. RECQ helicase disease and related progeroid syndromes: RECQ2018 meeting. *Mech Ageing Dev*. 2018;173:80-38.
20. Oshima J, Sidorova JM, Monnat RJ, Jr. Werner syndrome: Clinical features, pathogenesis and potential therapeutic interventions. *Ageing Res Rev*. 2017;33:105-114.
21. Piekarowicz K, Machowska M, Dzianisava V, Rzepecki R. Hutchinson-Gilford Progeria Syndrome-Current Status and Prospects for Gene Therapy Treatment. *Cells*. 2019;8(2):88.
22. Politano L, Lattanzi G, Benedetti S, et al. Emerging perspectives on laminopathies. *Cell Health Cytoskelet*. 2016:25.
23. Potter H, Chial HJ, Caneus J, et al. Chromosome Instability and Mosaic Aneuploidy in Neurodegenerative and Neurodevelopmental Disorders. *Front Genet*. 2019;10:1092.
24. Sarbacher CA, Halper JT. Connective Tissue and Age-Related Diseases. *Subcell Biochem*. 2019;91:281-310.
25. Shamanna RA, Croteau DL, Lee JH, Bohr VA. Recent Advances in Understanding Werner Syndrome. *F1000Res*. 2017;6:1779.
26. Sickles CK, Gross GP. Progeria (Werner Syndrome). Treasure Island: StatPearls Publishing; 2020.
27. Spivak G. Nucleotide excision repair in humans. *DNA Repair (Amst)*. 2015;36:13-18.
28. Tang W, Robles AI, Beyer RP, et al. The Werner syndrome RECQ helicase targets G4 DNA in human cells to modulate transcription. *Hum Mol Genet*. 2016;25(10):2060-2069.
29. Turgay Y, Eibauer M, Goldman AE, et al. The molecular architecture of lamins in somatic cells. *Nature*. 2017;543(7644):261-264.
30. Yokote K, Chanprasert S, Lee L, et al. WRN Mutation Update: Mutation Spectrum, Patient Registries, and Translational Prospects. *Hum Mutat*. 2017;38(1):7-15.
31. Zhang W, Li J, Suzuki K, et al. A Werner syndrome stem cell model unveils heterochromatin alterations as a driver of human aging. *Science*. 2015;348(6239):1160-1163

РАННЯЯ ДИАГНОСТИКА ОСТЕОПОРОЗА С ПОМОЩЬЮ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ И УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ

Юсупалиева Г.А., Бекимбетов К.Н., Ахралов Ш.Ф., Турдиев Ф.Э.

Резюме. Эффективная профилактика и лечение остеопороза требуют подходящих методов обследования населения и ранней диагностики. Современные клинически доступные методы диагностики в основном основаны на использовании рентгеновских лучей или ультразвука (УЗИ). Все методы, основанные на рентгене, позволяют измерить минеральную плотность кости (МПК), но было продемонстрировано, что другие структурные аспекты кости важны для определения риска переломов, такие как механические характеристики и упругие свойства, которые невозможно оценить с помощью денситометрического метода. Среди наиболее часто используемых методов двойная рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) считается в настоящее время «золотым стандартом» диагностики остеопороза и прогнозирования риска переломов.

Ключевые слова: диагностика остеопороза, методы скрининга, рентгеновские методы, минеральная плотность кости.