

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ МЕДИЦИНСКАЯ АКАДЕМИЯ
ПОСЛЕДИПЛОМНОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

Кафедра лучевой диагностики

О.В. Водянова Ю.В. Дыдышко

**СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
РЕНТГЕНОВСКОЙ АБСОРБЦИОМЕТРИИ**

Учебно-методическое пособие

Минск БелМАПО,
2021

УДК 616.7-073.75(075.9)

ББК 54.18я73

В 62

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия
НМС Государственного учреждения образования
«Белорусская медицинская академия последипломного образования»
от 28.06.2021 (протокол № 6)

Авторы:

Водянова О.В., доцент кафедры лучевой диагностики ГУО «Белорусская медицинская академия последипломного образования», кандидат медицинских наук

Дыдышко Ю.В., ассистент кафедры эндокринологии УО «Белорусский государственный медицинский университет», кандидат медицинских наук

Рецензенты:

Юрковский А.М., заведующий кафедрой лучевой диагностики, лучевой терапии, ФПКиП УО «Гомельский государственный медицинский университет», кандидат медицинских наук, доцент

Кафедра лучевой диагностики и терапии УО «Гродненский государственный медицинский университет»

Водянова, О.В.

В 62

Современные возможности клинического применения двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии : учеб.-метод. пособие. / О.В. Водянова, Ю.В. Дыдышко. – Минск : БелМАПО, 2021 – 68 с.

ISBN 978-985-584-635-3

В учебно-методическом пособии освещены возможности применения метода двойной рентгеновской абсорбциометрии в клинической практике врачей различных специальностей. Описаны методики стандартного протокола исследования минеральной плотности кости осевого скелета и костей предплечья, а также современные приложения: все тело (Total body), оценка переломов позвонков (Vertebral Fracture Assessment), трабекулярный костный индекс, исследование геометрии бедра.

Учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих содержание образовательных программ: переподготовки по специальности «Лучевая диагностика» (дисциплина «Лучевая диагностика заболеваний внутренних органов и опорно-двигательной системы»); повышения квалификации из числа врачей лучевой диагностики. Может быть полезно врачам-специалистам, работающим с пациентами с костно-мышечной патологией, ожирением.

УДК 616.7-073.75(075.9)

ББК 54.18я73

ISBN 978-985-584-635-3

© Водянова О.В., Дыдышко Ю.В., 2021
© Оформление БелМАПО, 2021

Введение

Традиционно метод двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА), разработанный в конце 1980-х годов, применяется в клинической медицине для оценки минеральной плотности кости (МПК), где он признан «золотым стандартом» для определения риска переломов [60].

Благодаря использованию рентгеновского излучения, спектр которого имеет два пиковых значения в различных энергетических диапазонах метод ДРА дает возможность исследовать как периферические, так и осевые участки скелета (поясничный отдел позвоночника, проксимальные отделы бедра). Встроенное программное обеспечение автоматически корректирует результаты измерений с учетом плотности мягких тканей [29]. Особенности взаимодействия рентгеновского излучения с костной, жировой и другими тканями организма обусловлены различиями их физико-химических свойств [7].

Усовершенствование качества рентгеновского изображения с использованием современных вычислительных возможностей позволяет косвенно оценивать качество костной ткани путем анализа её микроархитектоники (Trabecular Bone Score, TBS), что улучшает прогноз риска перелома. Разработка трабекулярного костного индекса (ТКИ, Trabecular Bone Score, TBS) - тканевого показателя, который оценивает пиксельные отклонения по шкале градаций серого на денситометрических изображениях поясничного отдела позвоночника позволила косвенно оценивать костную микроархитектонику [84]. ТКИ тесно коррелирует с количеством трабекул в кости, изменением

межтрабекулярных расстояний и трабекулярной сети, что позволяет выделить среди людей с одинаковой МПК категории лиц с ее разной микроархитектоникой.

Современные модели костных денситометров оснащены дополнительной функцией быстрого получения изображения позвоночника в боковой проекции (Instant Vertebra Assessment, IVA или Fracture Vertebra Assessment, FVA) позволяющей одновременно визуализировать грудной и поясничный отделы позвоночника и своевременно определять существующие переломы тел позвонков [12, 74]. Разработано приложение для ранней диагностики атипичного перелома бедренной кости (The Atypical Femur Fracture (AFF)), который является серьезным осложнением у пациентов с остеопорозом, получающих длительную терапию бисфосфонатами.

Важной возможностью ДРА является оценка геометрических параметров проксимального отдела бедра (ПООБ) с приложением анализа структуры бедра (Hip structural analysis, HSA или Advanced Hip Analysis, АНА). Показатели, получаемые при структурном анализе, используются для расчета индекса прочности бедра, который является мерой способности бедра выдерживать падение на большой вертел [51].

ДРА всего тела (Total body) с использованием композиционного анализа (Body Composition) позволяет оценить метаболический статус и выделить такие компоненты, как плотность костной ткани всего тела, массу жировой ткани, тощую массу, процентное содержание общей жировой ткани, процентное соотношение андроида и

гиноидного жира [7, 8]. Техническая ошибка при измерении процентного содержания жирового и тощего компонентов с помощью ДРА составляет 1,5 и 3,0% соответственно [29].

К преимуществам этого метода относят оперативность, доступность результатов измерений сразу после завершения сканирования, его безопасность в связи с невысокой лучевой нагрузкой, возможность определения композиционного состава как всего тела, так и его регионарных особенностей, а также достаточную точность, возможность динамической оценки и применения в педиатрической практике [4, 54, 85].

Таким образом, ДРА представляет собой неинвазивную методику с хорошими диагностическими возможностями. Это комплексная оценка состояния минеральной плотности кости, грудного и поясничного отделов позвоночника в боковой проекции, структурного анализа геометрических параметров бедра, основных компонентов композиционного состава тела: жирового, тощего и минерального, с учетом их абсолютного содержания и распределения в организме.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для слушателей, осваивающих содержание образовательных программ: переподготовки по специальности «Лучевая диагностика» (дисциплина «Лучевая диагностика заболеваний внутренних органов и опорно-двигательной системы»); повышения квалификации из числа врачей лучевой диагностики.

1. «Золотой стандарт» – определение минеральной плотности осевого скелета

Определение остеопороза разработано экспертами Всемирной организации здравоохранения и основано на определении МПК (Т-критерий) в осевом скелете (поясничный отдел позвоночника, ПОП) и проксимальный отдел бедра, ПОБ), который исследуют в первую очередь [60, 86].

Кость – это орган, состоящий из костной ткани, в составе которого имеется хрящевая и соединительная ткани. Структурным элементом костной ткани является костная пластинка, представляющая комбинацию органического матрикса и кристаллов минеральных солей. Уникальность костной ткани состоит в том, что для выполнения своих функций она должна сочетать в себе одновременно такие качества как жесткость и гибкость. Для компенсации возрастной потери минералов, повреждения органического матрикса, поддержания гомеостаза кальция в организме кость подвергается постоянному обновлению (ремоделированию) при помощи остеобластов (ОБ), остеокластов и остеоцитов [10, 34].

Остеокласты, развиваясь из мононуклеарных фагоцитов, выполняют функцию резорбции костной ткани. ОБ развиваются из стромальных стволовых клеток и их основной функцией является синтез и, впоследствии, минерализация органического межклеточного матрикса (остеоида). Остеоциты представляют собой терминально дифференцированные ОБ, которые встраиваются в костную матрицу, связываясь друг с другом длинными отростками и действуют как механорецепторы, регулируя процессы резорбции и костеобразования [11].

Макроскопически существует 2 типа костей: кортикальные кости (компактные), которые составляют 80% от скелета (бедренная кость, большеберцовая кость, лучевая

кость и наружные поверхности плоских костей), и трабекулярные кости (губчатые), (кости запястья, предплюсны, позвонки, внутренние части плоских костей [9]. Архитектоника кости зависит также и от функциональной нагрузки. При увеличении нагрузки костная масса увеличивается (спорт), при уменьшении нагрузки она снижается (условия гравитации).

Качество кости – это совокупность свойств, которые способствуют ее устойчивости к перелому, такие как микроархитектура, наличие и количество микроповреждений, качество коллагена, размер минеральных кристаллов и их пространственное распределение и скорость костного обмена [30, 64].

Одновременное исследование позвоночника и проксимального отдела бедра дает наиболее полное представление о состоянии костной ткани, поскольку оценивается как кортикальная, так и трабекулярная кость.

Исследование ПОП выполняют в стандартной укладке, пациент лежит на спине. Исследуемый участок скелета должен быть неподвижен, располагаться перпендикулярно рентгеновскому пучку, из зоны исследования должны быть удалены предметы, ослабляющие рентгеновские лучи (металлические и др.). Ограничением для исследования методом ДРА является проведение лучевой диагностики с введением рентгеноконтрастного вещества в течение пяти последних дней, проведение радиоизотопной диагностики в течение последних двух дней. Рентгеновское излучение денситометров крайне мало и составляет от 0,0001 мЗв до 0,083 мЗв.

Критерии правильности позиционирования поясничного отдела позвоночника. ПОП проецируется в центре получаемого изображения, которое должно включать гребни подвздошных костей, верхнюю часть тела позвонка L5 и нижнюю часть тела позвонка Th12 (рисунок 1).

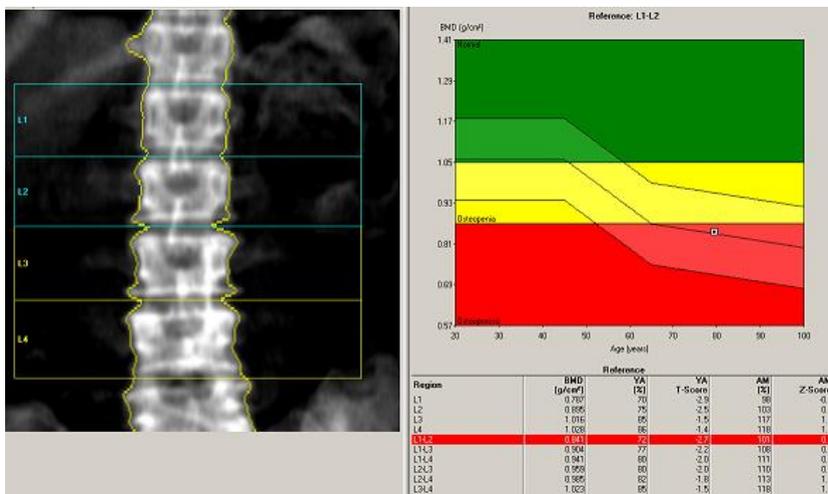


Рисунок 1. –Протокол ДРА поясничного отдела позвоночника в прямой проекции

Поясничные позвонки могут быть исключены из анализа если имеют явную анатомическую аномалию, не подлежат интерпретации, или при наличии разницы между анализируемым позвонком и смежным более 1,0 SD. При невозможности оценки всех четырёх позвонков следует использовать три позвонка или два. **Диагностические критерии остеопороза не могут быть применены только к одному позвонку [86].** Следует соотносить нумерацию позвонков с анатомической ситуацией в поясничном отделе (6 позвонков, добавочные ребра, сакрализация и др.) и с целью правильного применения нормативных значений МПК, нижний поясничный позвонок считать пятым [4].

Однако следует учитывать и возможные ошибки: проекционные значения МПК могут завышаться из-за влияния остеосклероза, остеофитов, кальцификации аорты, компрессионных изменений тел позвонков, сколиоза [13]. В таких случаях надо ориентироваться на измерение МПК в области ПОБ.

Исследование ПОБ выполняют при расположении пациента на сканирующем столе лежа на спине, ноги в положении внутренней ротации. Стопы фиксируются для стандартизации положения бедренной кости во время сканирования, чтобы избежать вариаций положения бедра, которые могут исказить измерения.

Критерии правильности позиционирования ПОБ. На сканограмме должны визуализироваться тело подвздошной кости, головка, шейка, большой и малый вертелы и проксимальная часть диафиза бедренной кости (рисунок 2).

При анализе бедра **аналитически значимые регионы - МПК шейки бедра либо общая МПК бедренной кости**, и диагностические критерии остеопороза применяются к наименьшему значению Т-критерия из этих двух областей.

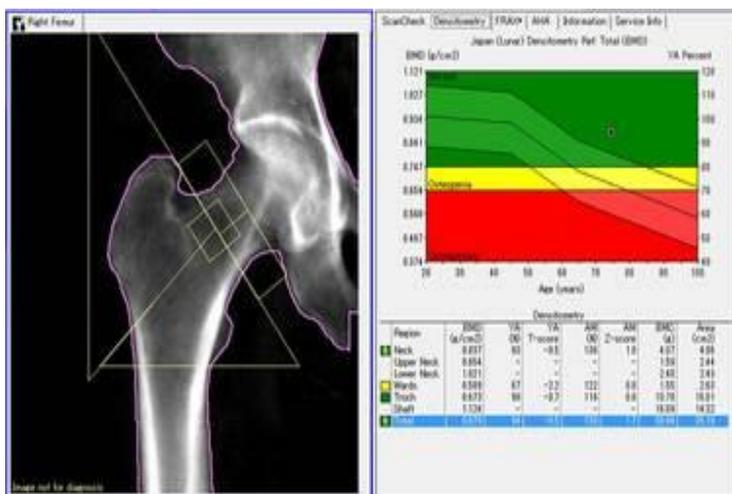


Рисунок 2. –Протокол ДРА проксимального отдела бедра в прямой проекции

При выполнении ДРА оценивают МПК (г/см²); Z-критерий (Z-score), Т-критерий (T-score) области осевого скелета. Т-критерий рассчитывается на основании сравнения

полученных значений МПК пациента со средними значениями нормальной пиковой костной массы. Z-критерий – сравнение с нормальными значениями МПК его возрастной группы. Результат сравнения представляется в стандартных отклонениях (SD) к соответствующей норме.

В соответствии с современными рекомендациями экспертов Международного общества по клинической денситометрии, для количественной оценки состояния костной ткани у женщин в период постменопаузы и у мужчин старше 50 лет используется T-критерий [60, 86]. Критерии диагностики остеопороза представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Диагностические критерии остеопороза

T-критерий	Диагноз
Более $-1,0$ SD	В пределах нормы
От $-1,0$ до $-2,5$ SD	Остеопения, или низкая костная масса
От $-2,5$ SD	Остеопороз
низкотравматический перелом тела позвонка (-ов), перелом бедра или множественные переломов независимо от степени снижения МПК	Тяжелый остеопороз

При интерпретации результатов денситометрии у женщин в перименопаузе используется T-критерий и диагноз ОП устанавливается при МПК $-2,5$ SD и ниже. Продолжается перименопауза в среднем 2-3 года до полного окончания менструальных циклов, и уже в этот период начинается быстрая потеря костной массы, которая заканчивается приблизительно к 5 годам менопаузы.

Для количественной оценки состояния костной ткани у детей, у женщин репродуктивного возраста и у мужчин моложе 50 лет используется Z-критерий. При этом

заключение о снижении МПК ниже возрастной нормы делают на основании его значения равном или менее $-2,0 SD$ [86].

Патологическое повышение МПК.

Несмотря на редкую встречаемость, имеется значительное число диспластических, метаболических и других заболеваний, которые являются причиной повышения МПК. Следует учитывать, что при этом они могут ухудшать качество костной ткани (остеопетроз, флюороз, болезнь Педжета и др.), повышая риск переломов [97].

В этих ситуациях следует оценивать Z-критерий, который является предпочтительным показателем для оценки высокой МПК во всех популяциях. Высокие значения плотности костной ткани часто бывают генерализованными, но локальное увеличение МПК также может отражать наличие заболевание (например, болезнь Педжета, остеобластические метастазы и др.). До тех пор, пока не появится больше научных данных, рекомендуется значения Z-критерия выше $+2,5 SD$ в заключении отмечать как выше ожидаемых показателей для данного возраста [98].

В зависимости от результатов исследования и в соответствии с клиническим статусом каждого пациента: определяется периодичность выполнения костной денситометрии, которую желательно выполнять на одном и том же аппарате [8615]. При снижении костной плотности повторное исследование выполняется:

- для оценки скорости снижения костной массы и решения вопроса о начале терапии при низкой костной массе (остеопении);

- для оценки эффективности проводимого лечения при остеопорозе.

- для выявления лиц, не отвечающих на терапию, вследствие продолжающегося снижения костной массы с целью замены препараты ли поиска причин.

Интерпретация результатов ДРА денситометрии у лиц, получающих глюкокортикоиды:

Основные воздействия глюкокортикоидов: снижение костеобразования, ухудшение костного матрикса, увеличение скорости резорбции костной ткани. Помимо этого, они снижают абсорбцию кальция в кишечнике, и в то же время способствуют снижению тубулярной реабсорбции кальция и усиленному выделению его с мочой. Отрицательный баланс кальция в организме приводит к гиперсекреции паратиреоидного гормона, что также усиливает процессы резорбции костной ткани.

На сегодняшний день продолжается дискуссия о пороговом значении Т-критерия, который следует рассматривать как высокий риск переломов и показание для лечения у лиц, принимающих глюкокортикоиды. Диагноз остеопороза устанавливается при Т-критерии $\leq -2,5$, однако установлен более высокий порог для медикаментозного вмешательства Т-критерий $\leq -1,5$, так как потеря костной массы может составлять 10% и более в течение первого года использования глюкокортикоидов [31]. На практике необходимо рекомендовать измерение МПК до начала лечения, и оценивать МПК в динамике с учетом клинических данных

Целесообразно рекомендовать измерение МПК до начала лечения, и оценивать в динамике с учетом клинических данных.

Стандартный интервал между денситометрической оценкой МПК осевого скелета 1 год. В условиях, связанных с быстрой потерей костной массы (например, терапия глюкокортикоидами, тиреотоксикоз и др.), уместно более частое тестирование 1 раз в 6-9 месяцев. В педиатрической практике, учитывая высокую скорость костного

ремоделирования в этом возрасте, минимальный интервал составляет 1 раз в 6 месяцев.

Минимальные требования к заключению:

- паспортные данные (ФИО, дата рождения) пациента,
- модель денситометра, эффективная доза,
- технические замечания если они имеются (например, артефакты),
- значения МПК в г/см^2 , T-критерий и/или Z- критерий для каждой зоны осевого скелета,
- диагноз по области с наихудшими показателями (МПК соответствует норме/остеопении/остеопорозу или МПК соответствует ожидаемым показателям для возраста/МПК ниже ожидаемых показателей для данного возраста),
- при необходимости рекомендации относительно сроков следующего сканирования.
- При повторном обследовании
- указать с каким исследованием проводится сравнение,
- рассчитать изменение между текущим и предыдущим исследованием в г/см^2 и процентах.

В клинической практике необходимо сравнивать только два абсолютных значения МПК (г/см^2), а не расчётные параметры (T-критерий). И, соответственно, при наличии достоверного увеличения или достоверного снижения МПК оценить динамику.

2. «Золотой стандарт» в педиатрической практике

В педиатрической практике золотым стандартом является оценка минерализации костной ткани и МПК в поясничном отделе позвоночника и во всем теле (рисунок 3) [85].

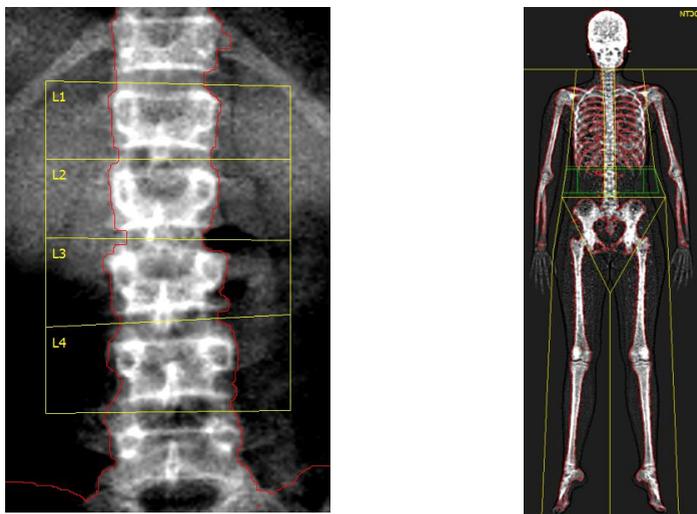


Рисунок 3. – Протокол ДРА поясничного отдела позвоночника и всего тела в прямой проекции

При интерпретации Z-критерия снижение данного параметра от $-2,0$ SD и менее расценивается как низкая минеральная плотность кости [85]. В соответствии с Официальной позицией в педиатрии Международного общества клинической денситометрии (ICSD, 2019), при интерпретации результатов исследования у детей диагноз «остеопороз» не следует устанавливать только на основе денситометрических показателей. Диагноз «остеопороз» у детей может быть верифицирован при наличии одного и более компрессионного перелома позвонков при отсутствии локального патологического процесса или

высокоэнергетической травмы, независимо от показателей МПК. При отсутствии перелома позвонка диагноз «остеопороз» определяется наличием клинически значимого анамнеза переломов в сочетании с низкой МПК (Z-критерий $\leq -2,0$ SD). Клинически значимым анамнезом переломов предложено считать: два и более перелома длинных костей в возрасте 10 лет или три и более перелома длинных костей в возрасте до 19 лет [85].

В соответствии с рекомендациями международного общества клинической денситометрии принципиально важно оценивать в педиатрической практике МПК всего тела, исключая область головы. Оценка МПК 1/3 костей предплечья используется при невозможности сканировать другие участки скелета, при условии наличия адекватных справочных данных. Измерение МПК проксимального отдела бедра возможно использовать у детей с сниженной весовой и механической нагрузкой на нижние конечности, а также у детей старшего возраста из групп риска для непрерывности оценки МПК при переходе их в категорию взрослых пациентов.

Следует учитывать потенциальные препятствия для получения полезной информации от денситометрического исследования. К ним относятся обследование ребенка, неспособного сотрудничать без седативных препаратов, отсутствие нормативных данных для возрастной группы пациента или деформации скелета, которые не могут обеспечить правильное позиционирование. Измерение МПК поясничного отдела позвоночника у детей раннего возраста (от 0 до 5 лет) возможно и может обеспечить воспроизводимые измерения. При этом оценка МПК всего тела возможна и может обеспечить воспроизводимые измерения лишь у детей старше 3 лет [85]. При клинической необходимости выполнения денситометрии можно использовать седацию.

Некоторые заболевания, такие как несовершенный остеогенез, состояние мальабсорбции, задержка полового созревания, болезнь Крона, мукополисахаридоз, нервная анорексия и др., терапия глюкокортикоидами могут неблагоприятно влиять на рост костей и у этих детей часто наблюдается нарушение линейного роста. Это может представлять проблему при интерпретации результатов денситометрии, поскольку в среднем мелкие кости имеют более низкое содержание минералов и МПК, чем крупные кости.

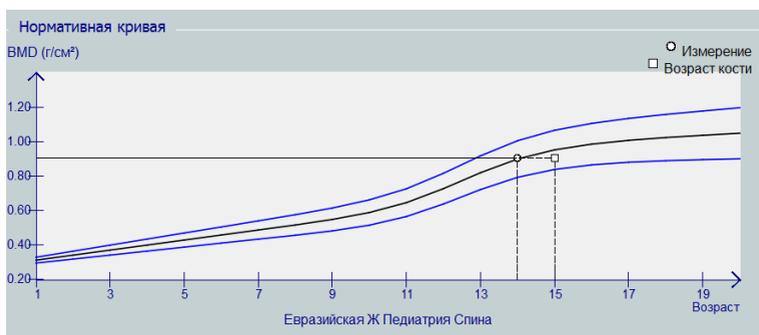


Рисунок 4. – Результаты денситометрии поясничного отдела позвоночника с учетом костного возраста

Интерпретация результатов сканирования ДРА должна выполняться в контексте соответствующих клинических данных, таких как анамнез, оценка роста, клинический осмотр, присутствие других факторов риска и лабораторных данных. Как отмечается в педиатрических рекомендациях, результаты денситометрии должны быть скорректированы на рост ребенка [76, 85]. В клинической практике в этих ситуациях используется костный возраст, который при задержке на 2 года и более может быть полезным подспорьем в интерпретации ДРА (рисунок 4).

3. Оценка переломов позвонков

Измерение только количественных показателей, к которым относится МПК, не позволяет выявить переломы позвонков, и, как следствие, в некоторых случаях остеопороз остается нераспознанным [55]. На основании значений Т-критерия осевого скелета может диагностироваться остеопения, а в грудном отделе, недоступном для измерения МПК, уже могут иметь место переломы тел позвонков [52], при наличии которых клинически может быть определен диагноз остеопороз.

Даже единственная остеопоротическая деформация позвонка может привести к прогрессирующему снижению роста, кифозу, нарушению осанки, ухудшению легочной функции и постоянной боли, которая снижает повседневную активность, следовательно, снижая мобильность, приводит к социальной изоляции, страху падений и депрессии [17, 21, 63]. Многие исследования продемонстрировали низкие показатели качества жизни пациентов с переломами тел позвонков [1]. В современном обществе для человека возможность вести «независимую жизнь» чрезвычайно актуальна, особенно для лиц пожилого возраста, одиноких людей. Поэтому обеспечение сохранности органов движения человека не только медицинская, но и социальная и государственная задача.

Данные исследований свидетельствуют о высокой смертности пациентов с переломами тел позвонков в сравнении с людьми аналогичного возраста без переломов [20, 45, 52]. Уже существующий перелом позвонка приводит к другому, присоединение новых в течение последующей жизни называется “каскадом переломов позвонков”. Эпидемиологические исследования продемонстрировали, что перелом позвонков мощный предиктор последующих

остеопоротических переломов всех типов, риск возникновения которых повышается в несколько раз [77, 78].

Функция быстрого получения изображения позвоночника (Vertebral Fracture Assessment – VFA, оценка переломов позвонков) позволяет одновременно визуализировать грудной и поясничный отдел позвоночника (Th4–L4, рисунок 5).



проекции на основании клинических и эпидемиологических исследований [55, 934].

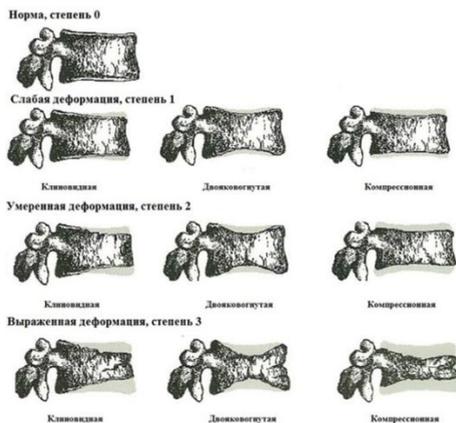


Рисунок 6. – Классификация переломов позвонков Н.К. Genant

Данная классификация выделяет:

- нормальный недеформированный позвонок
- слабая деформация (перелом 1 степени) - снижение высоты позвонка составляет 21-25% и площадь 10-20%;
- умеренная деформация (перелом 2 степени) - уменьшение высоты составляет 26-39%, а площадь тела уменьшается на 20-40%;
- тяжелая деформация (перелом 3 степени) соответствует снижению высоты и площади поверхности тела позвонка более чем на 40%.

Показания для оценки переломов позвонков во взрослой практике [86]:

- Т-критерий $< -1,0$ SD и присутствует один или несколько нижеперечисленных факторов:
 - возраст: женщины 70 лет и старше или мужчины 80 лет и старше;
 - снижение длины тела более чем на 4 см;

- перелом позвонка в анамнезе со слов пациента;
- глюкокортикоидная терапия, эквивалентная ≥ 5 мг преднизолона или ежедневный прием в течение 3 и более месяцев.

Методика. При выполнении исследования пациент располагается на боку, под голову подкладывают специальную профилированную подушку, имеющую дополнительное возвышение для согнутой в локте левой руки, что позволяет убрать тень лопатки из области проекции верхних грудных позвонков. Использование дополнительной подкладки под поясницу дает возможность расположить поясничные позвонки параллельно поверхности стола.

На изображении грудного и поясничного отделов позвоночника (Th4–L4) оператор вручную (также как на рентгенограмме) расставляет метки по заднему, среднему и переднему размерам высоты тела позвонка, затем автоматически вычисляются соответствующие соотношения высот передней (А) к задней (Р) А/Р и средней (М) к задней (Р) М/Р (в процентах) и определяется наличие или отсутствие структурных изменений тел позвонков (рисунок 7). Высота тела позвонка измеряется в сантиметрах с точностью до ± 1 мм.

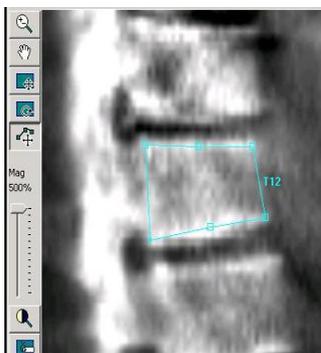


Рисунок 7. – Обозначение границ тела позвонка шестью точками

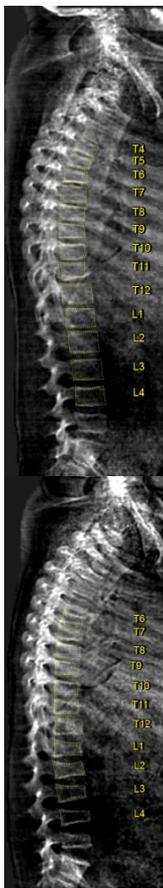
Ознакомление с результатом непосредственно на мониторе денситометра представляет для врача больший интерес, чем бумажная копия, поскольку при этом можно использовать такие возможности, как увеличение изображения, изменение контрастности, инверсия «негатив – позитив».

В денситометрическом заключении, так же, как и в рентгенологическом, необходимо указывать зону обследования, позвонки, которые не были оценены, наличие деформаций тел позвонков и их степень.

У детей: оценка переломов позвонков может быть альтернативой стандартной рентгенографии позвоночника при идентификации переломов тел позвонков, особенно с учетом низкой лучевой нагрузки.

Выявление компрессионных переломов позвонков занимает центральное место в диагностике остеопороза у детей. Недавние исследования продемонстрировали, что оценка переломов позвонков имеет такую же чувствительность и специфичность, что и стандартная рентгенография [16]. Однако рентгенологу следует учитывать анатомо-физиологические особенности позвоночника в детском возрасте.

Одномоментная визуализация грудного и поясничного отделов позвоночника у детей с несовершенным остеогенезом позволяет выявить все переломы тел позвонков, поскольку они могут быть распределены по всей длине позвоночника. В нескольких исследованиях было продемонстрировано, что при адекватной терапии в период роста ребенка, морфометрические параметры позвонков нормализуются, и соответственно, принципиально важна точная и ранняя диагностика переломов позвонков у этих групп пациентов.



Регион	Зад. (см)	Сред. (см)	Перед. (см)	Пр/Зд	Ср/Зд	Пр/Ср	Классификация
T4	1.224	0.9925	0.9879	0.81	0.81	1	Норма Степ. 0
T5	1.121	0.9517	1.047	0.93	0.85	1.1	Норма Степ. 0
T6	1.108	1.023	1.003	0.91	0.92	0.98	Норма Степ. 0
T7	1.508	1.518	1.304	0.86	1	0.86	Норма Степ. 0
T8	1.405	1.208	1.108	0.79	0.86	0.92	Клиновид. Степ. 1
T9	1.304	1.241	1.108	0.85	0.95	0.89	Норма Степ. 0
T10	1.408	1.304	1.122	0.8	0.93	0.86	Клиновид. Степ. 1
T11	1.508	1.308	1.204	0.8	0.87	0.92	Клиновид. Степ. 1
T12	1.717	1.717	1.609	0.94	1	0.94	Норма Степ. 0
L1	1.706	1.732	1.609	0.94	1	0.93	Норма Степ. 0
L2	1.917	1.909	1.817	0.95	1	0.95	Норма Степ. 0
L3	1.817	1.831	1.717	0.95	1	0.94	Норма Степ. 0
L4	1.605	1.618	1.732	1.1	1	1.1	Норма Степ. 0

Регион	Зад. (см)	Сред. (см)	Перед. (см)	Пр/Зд	Ср/Зд	Пр/Ср	Классификация
T6	1.122	0.9086	0.8273	0.74	0.81	0.91	Клиновид. Степ. 2
T7	1.408	0.897	0.903	0.64	0.64	1	Двояковог. Степ. 2
T8	1.308	1.104	1.003	0.77	0.84	0.91	Клиновид. Степ. 1
T9	1.204	1.122	1.003	0.83	0.93	0.89	Норма Степ. 0
T10	1.308	1.108	1.003	0.77	0.85	0.91	Клиновид. Степ. 1
T11	1.405	1.104	1.003	0.71	0.79	0.91	Клиновид. Степ. 2
T12	1.605	1.308	1.204	0.75	0.81	0.92	Клиновид. Степ. 2
L1	1.605	1.122	1.108	0.69	0.7	0.99	Клиновид. Степ. 2
L2	1.535	1.008	1.269	0.83	0.66	1.3	Двояковог. Степ. 2
L3	1.655	1.304	1.108	0.67	0.79	0.85	Клиновид. Степ. 2
L4	1.419	1.023	0.9086	0.64	0.72	0.89	Клиновид. Степ. 2

Рисунок 8 – Протокол исследования VFA ребенка с нейромышечным заболеванием через 6 месяцев после назначения глюкокортикоидов

Важное значение имеет оценка переломов позвонков в динамике, поскольку это может принципиально менять тактику ведения пациента (рисунок 8).

4. Трабекулярный костный индекс

До 50% пациентов с низкотравматическими переломами имеют МПК не соответствующую пороговому значению для выявления остеопороза [36], что свидетельствует о наличии дополнительных характеристик – качественных параметров костной ткани, влияющих на прочность кости и риск переломов [80].

В связи с этим был разработан трабекулярный костный индекс (ТКИ, Trabecular Bone Score, TBS) – тканевой показатель, оценивающий пиксельные отклонения по шкале градаций серого на денситометрических изображениях поясничного отдела позвоночника (рисунок 9).

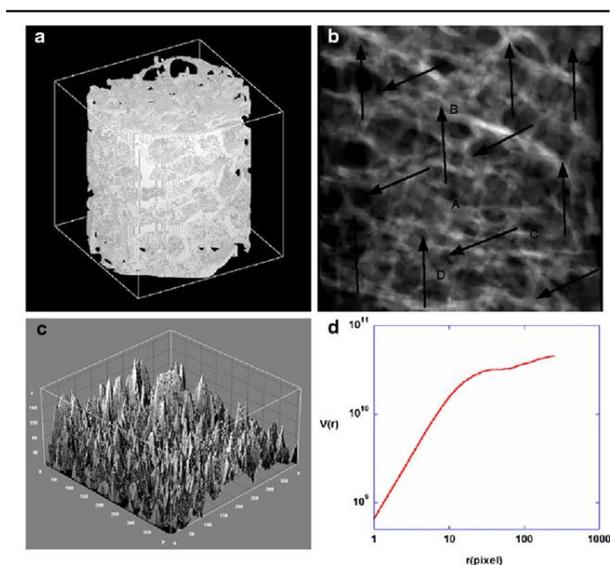


Рисунок 9. – Проекция трехмерной структуры кости на плоскость посредством градации оттенка серого цвета

ТКИ вычисляется при проецировании трехмерной структуры на плоскость [38] и представляет собой непрямой показатель трабекулярной микроархитектоники.

Методологически данный параметр получают при проведении неинвазивного стандартного исследования ДРА поясничного отдела позвоночника (рисунок 10).

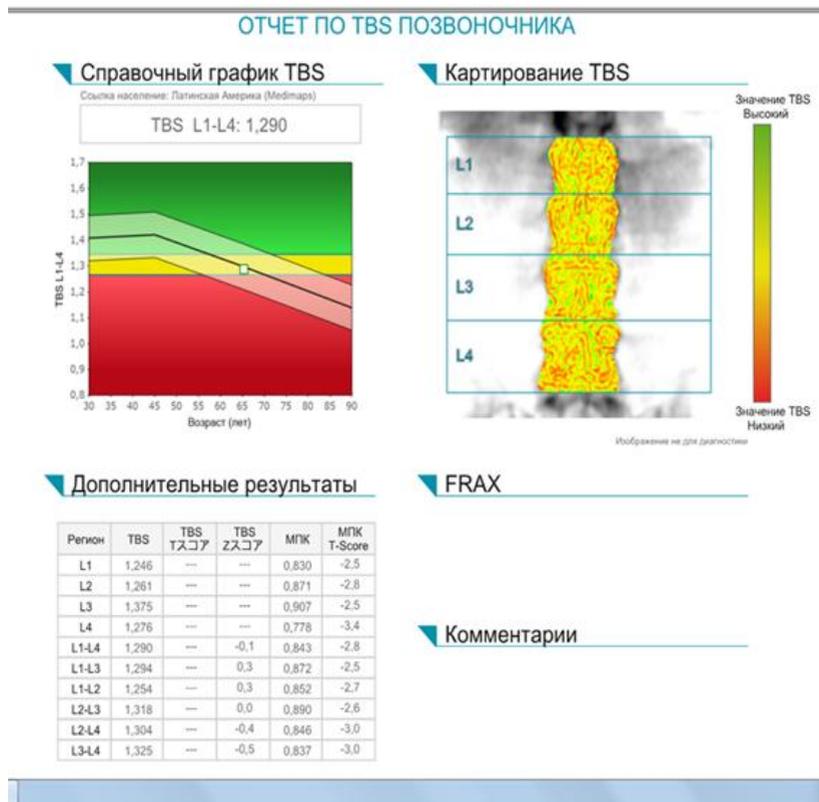


Рисунок 10. – Протокол оценки трабекулярного костного индекса

Эксперты Международного общества по клинической денситометрии определяют ТКИ как значимый параметр в следующих ситуациях [86]:

- ТКИ ассоциируется с переломом позвоночника, бедра и риска остеопороза у женщин в постменопаузе;
- ТКИ связан с риском перелома бедра у мужчин старше 50 лет;
- ТКИ связан с риском развития остеопоротического перелома у мужчин старше 50 лет;
- ТКИ не следует использовать отдельно для определения тактики лечения в клинической практике;
- ТКИ может использоваться в сочетании с МПК для расчета 10-летнего риска развития переломов (FRAX-шкала) у женщин в постменопаузе и пожилых мужчин;
- У пациентов, получающих лечение от переломов:
- *роль ТКИ в мониторинге антирезорбтивной терапии неясна*
- *ТКИ потенциально полезен для мониторинга анаболической терапии*
- ТКИ связан с серьезным риском остеопоротического перелома у женщин в постменопаузе с сахарным диабетом 2-го типа.

Аналогичные результаты 10-летнего исследований ТКИ были суммированы В.С. Silva и соавт. [90]. Авторы особенно отметили, что ТКИ ассоциирован с риском переломов у пациентов с вторичным остеопорозом, то есть способен улавливать нарушения микроархитектоники и потерю МПК вследствие различных причин, в том числе таких эндокринопатий, как сахарный диабет, гиперпаратиреоз, глюкокортикоид-индуцированный остеопороз и акромегалия [88]. Результаты нашего исследования, подтверждают низкие значения ТКИ (L1–L4) поясничного отдела позвоночника у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа в сравнении со значениями ТКИ

в контрольной группе. В подгруппе пациентов с СД 1-го типа с наличием переломов тел позвонков 1–3 степени значения ТКИ статистически значимо ниже, чем в подгруппе без переломов, что свидетельствует о худшей микроархитектонике кости [3].

Наличие гендерных различий в микроархитектонике кости было продемонстрировано рядом исследований. Так S. Khosla и соавт. обнаружили, что для молодых мужчин характерно наличие более толстых костных трабекул, чем для женщин [43].

Однако с возрастом у женщин происходит деградация кости за счет уменьшения числа трабекул, в то время как у мужчин отмечается значительное их истончение (рисунок 11). Результатом могут быть более низкие значения ТКИ у мужчин.

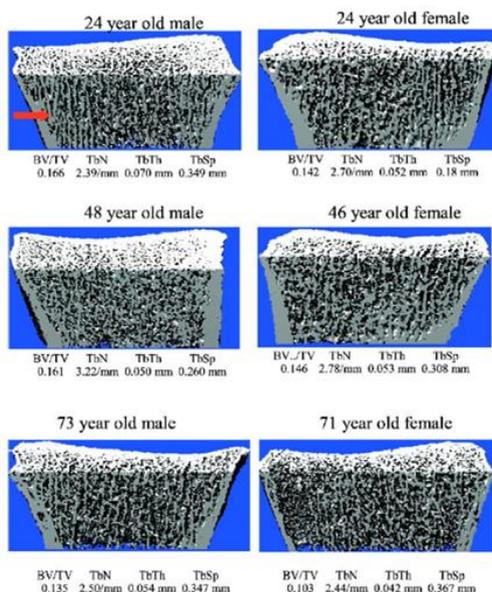


Рисунок. 11. – Гендерные различия в микроархитектонике кости

Международной рабочей группой по ТКИ [38] по аналогии с тремя категориями МПК была предложена следующая градация значений ТКИ у женщин в постменопаузе (таблица 2):

Таблица 2 – Степень деградации костной микроархитектоники

Значение ТКИ	Интерпретация
$\geq 1,31$	норма
от 1,23 до 1,31	стабильная структура с <i>частично</i> нарушенной микроархитектоникой
$\leq 1,23$	<i>выраженное</i> нарушение микроархитектоники

Однако было отмечено, что пороговые значения ТКИ для женщин с сохраненной репродуктивной функцией и для мужчин и до настоящего времени не разработаны [3, 86].

Также S. Vreban и соавт. выполнено обследование 185 пациенток с переломами позвонков и ревматоидным артритом и было показано, что ТКИ ассоциирован с низкотравматическими переломами у данной категории пациентов [50]. Схожие данные были получены Н.А. Kim et. al. при ревматической полимиалгии у 53 постменопаузальных женщин [89].

Используя Результаты Канадского мультицентрового исследования остеопороза (the Canadian Multicentre Osteoporosis study (CaMos), G. Li и соавт. подтвердили корреляционную связь ТКИ и МПК у 2730 пациентов (70 % женщин) что позволило разработать модель прогнозирования риска развития переломов, учитывая возраст и ТКИ [36].

При наличии одинаковой МПК пациенты могут иметь разную микроархитектонику костной ткани и соответственно разный риск переломов (рисунок 12).

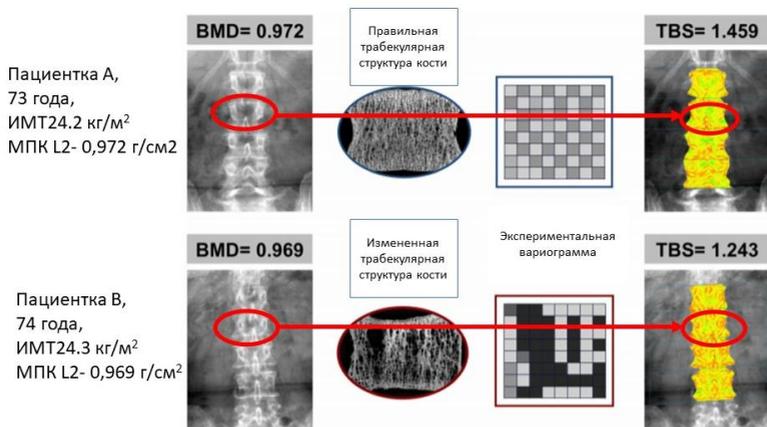


Рисунок 12. – Различия костной микроархитектоники у пациенток, сопоставимых по МПК, возрасту, индексу массы тела

Таким образом, ввиду выявленных дополнительных возможностей ТКИ по сравнению с МПК определение ТКИ было введено в алгоритм индивидуальной 10-летней оценки вероятности переломов FRAX [67].

5. Анализ геометрических параметров проксимального отдела бедра.

При использовании стандартного программного обеспечения, предоставленного изготовителем в большинстве рентгеновских денситометров возможен структурный анализ бедра. Он выполняется при оценке проксимального отдела бедренной кости с обязательной фиксацией стоп.

Программа использует распределение минерализации в пикселях вдоль оси бедра, для вычисления результатов структурной геометрии поперечного сечения в зонах интереса (таблица 3). Цель структурного анализа бедра – дополнительная индивидуальная оценка риска перелома. Геометрические параметры, полученные при расширенном анализе бедра, используются для расчета индекса прочности бедра при падении на большой вертел у всех групп пациентов [14, 51].

Результаты исследования Т. Nakamura показали, что при уменьшении индекса прочности бедра риск перелома бедра из-за падения на большой вертел увеличивается, независимо от МПК [41]. Его значения менее 1 свидетельствуют о биомеханически неблагоприятной конфигурации проксимального отдела бедра, что увеличивает риск перелома бедра.

В настоящее время программное обеспечение костных денситометров позволяет проводить автоматическое измерение ДОБ (рисунок 13).



Рисунок 13. – Определение длины оси бедра на сканограмме

Таблица 3. – Параметры расширенного анализа бедра

Параметр	Параметр расширенного анализа бедра, (ед. изм.)	Описание
CSMI (cross-sectional moment of inertia)	Момент инерции поперечного сечения (мм^4)	Геометрическая мера устойчивости к изгибающим силам, может рассматриваться как показатель прочности кости
CSA (cross-sectional area)	Площадь поперечного сечения кости (мм^2)	Мера общей поверхности кости в поперечном сечении, исключая костный мозг и другие мягкие ткани
d1	Расстояние от центра головки бедренной кости до зоны минимума МИПС (мм)	Используется при расчете индекса прочности бедра при падении
d2	Расстояние от центра головки бедренной кости до центра пересечения шейки с диафизом бедра (мм)	Сегмент длины оси бедра
d3	Ширина шейки бедра (мм)	Ширина шейки бедра измеряется в самой узкой части
y	Расстояние от центра инерции к верхнему краю ШБ вдоль отрезка минимума МИПС (мм)	Используется при расчете индекса прочности бедра при падении
Alpha ($\acute{\alpha}$)	Угол диафиза бедра по отношению к вертикали (градус)	Определяется как угол образованный осью диафиза бедра и вертикальной линией
Theta (θ)	Шеечно-диафизарный угол (градус)	Определяется как угол, образованный осью шейки и осью диафиза бедра
HAL (hip axis lenght)	Длина оси бедра (мм)	Отрезок, соединяющий точку от основания большого вертела и внутренний край таза

Bonnick S.L. и соавт. рассчитали ошибку для измерений ДОБ левого бедра (денситометр GE Lunar Prodigy) [29], которая составила 0,7 мм или 0,67% у женщин в возрасте от 20 до 49 лет и 0,6 мм или 0,53% у женщин в возрасте от 50 до 70 лет.

Результаты измерения длины оси бедра, выполненное на рентгеновском денситометре «GE Lunar Prodigy» можно интерпретировать следующим образом: ДОБ правого бедра 109,7 мм, ДОБ левого бедра 111,1 мм (рисунок 14).

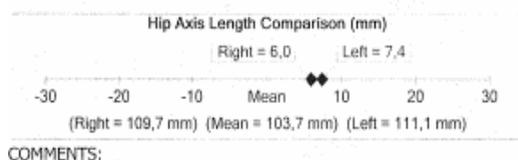


Рисунок 14. – Заключение по исследованию ДОБ:

K.G. Faulkner et al. установили, что увеличение длины оси бедра повышает риск развития перелома бедра вне зависимости от показателей МПК [82], объяснив это изменением микроархитектоники трабекул, изменением распределения костной массы в ШБ, снижением эластичности и снижением устойчивости данного сегмента к механическим нагрузкам.

6. Исследование МПК предплечья.

Согласно «Официальной позиции» экспертов Международного общества по клинической денситометрии в редакции 2019 года определены следующие показания для определения МПК в дистальной трети лучевой кости (радиус 33%) (рисунок 15):

- Поясничный отдел позвоночника и/или проксимальный отдел бедра не могут быть измерены или интерпретированы.
- Гиперпаратиреоз (для получения данных о кортикальной кости).
- Ожирение, при котором масса тела превышает диагностические возможности аппарата.

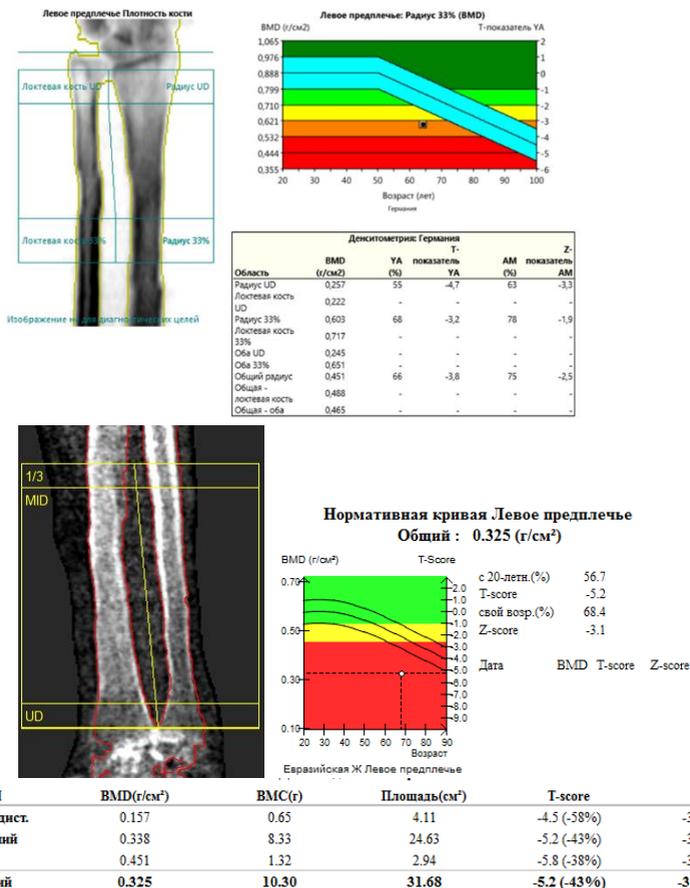


Рисунок 15 – Протокол ДРА исследования дистальной трети предплечья

7. Приложение для ортопедических исследований.

Разработаны также программы локального определения МПК после проведения ортопедических операций, в том числе с применением металлоконструкций (рисунок 16).

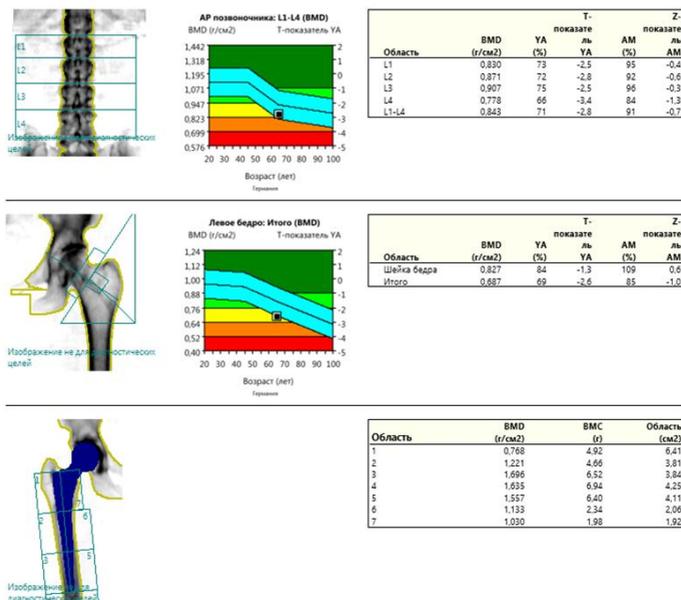


Рисунок 16 – Применение ДРА для исследования после эндопротезирования тазобедренного сустава.

В настоящее время эндопротезирование все чаще выполняется у пациентов пожилого возраста, с переломами шейки бедренной кости. С учетом демографической ситуации (рост населения земного шара и увеличение продолжительности жизни) предполагается, что абсолютное число переломов шейки бедра удвоится в течение последующих 25 лет. Актуальность проблемы эндопротезирования на фоне остеопороза подчеркивается тем,

что в популяции, наряду с увеличением продолжительности жизни, выявляется отчетливая тенденция к росту числа пациентов молодого возраста с такими формами остеопороза, как идиопатический, ювенильный, вторичный остеопороз.

Первое место среди причин нестабильности эндопротеза с большим отрывом от других занимает асептическое расшатывание компонентов эндопротеза. Основной причиной этого осложнения является нарушение динамического равновесия на границе кость-имплантат при бесцементной фиксации и кость-цемент-имплантат при цементной фиксации эндопротеза [71]. От состояния костной ткани зависит способ фиксации компонентов эндопротеза и срок эффективного функционирования эндопротеза

При эндопротезировании особенно актуальна проблема стрессового ремоделирования [15]. Стрессовое ремоделирование это реакция костной ткани на имплантат, проявляющаяся усилением интенсивности процессов резорбции и костеобразования. Оно рассматривается как процесс адаптации к новым условиям. С одной стороны, это изменение интенсивности ремоделирования имеет своей целью увеличение массы кости для создания тесного контакта с имплантатом, с другой, - становится причиной развития асептической нестабильности и ограничивает его срок жизни. Стабильность эндопротезов в значительной степени зависит от качества кости, контактирующей с имплантатом.

Метод оценки зональной (по Gruen [48]) потери массы кости вокруг компонентов эндопротеза проводится на двухэнергетическом рентгеновском денситометре. Оценивается костная масса по содержанию минералов на единицу площади кости (г/см^2) в каждой из семи зон. Лучевая нагрузка составляет 0,037 мЗв. В качестве ортопедических зон интереса предложены: бедренная кость, плечо, локоть, колено- в прямой проекции, и колено в боковой проекции.

Некоторые костные денситометры имеют программное обеспечение, позволяющее их оценивать (рисунок 17).

Ортопедия Правое колено

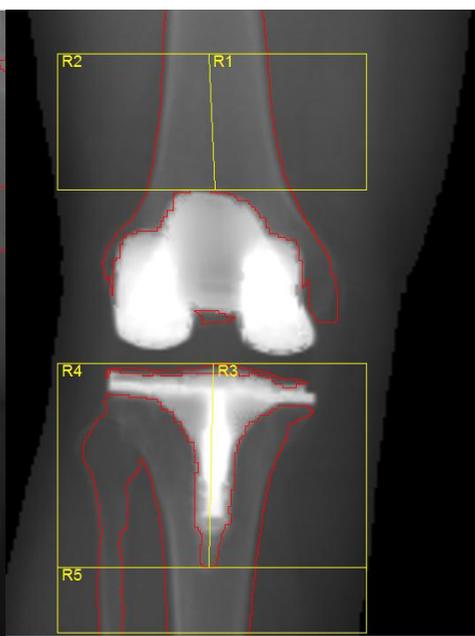
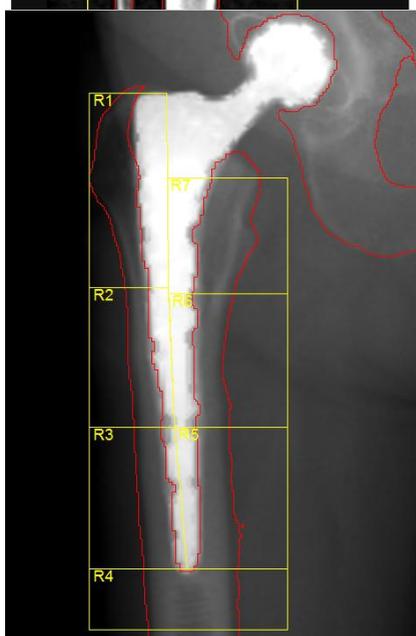
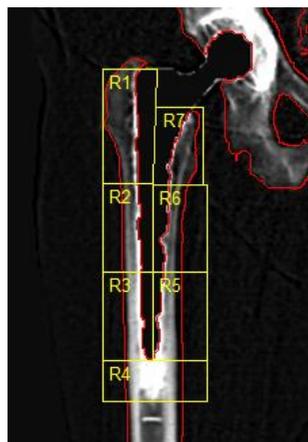
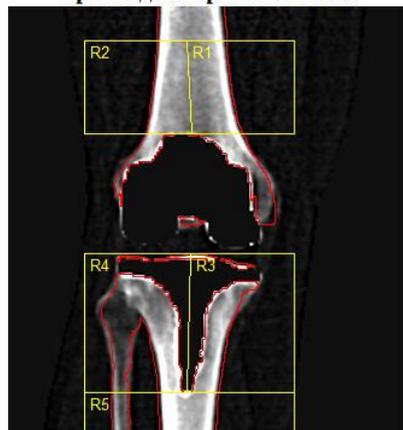


Рисунок 17 – Применение ДРА для исследования после операций с применением металлоконструкций

Вследствие усиления резорбтивных процессов вокруг имплантата в первые месяцы потеря костной массы в зависимости от её исходного состояния может колебаться от 10 до 26% первоначальных значений. Недавние исследования демонстрируют, что существенное влияние оказывает дизайн эндопротеза [37, 79]. Биомеханическая адаптация к эндопротезу происходит за 2-3 года, в последующем достигается фаза плато МПК [27, 37].

При повторных исследованиях определяется степень потери массы кости вокруг эндопротеза в процентах относительно её величины сразу после операции, либо при предыдущем исследовании. Усиление интенсивности ремоделирования вокруг имплантата обусловлено, прежде всего, скоплением тканевых макрофагов, способных продуцировать медиаторы воспаления и резорбции. С течением времени периоды усиления резорбции повторяются, из-за накопления вокруг имплантата продуктов износа и коррозии металлов, частичек костного цемента, которые стимулируют повторные притоки макрофагов.

Применение ДРА с оценкой МПК перед эндопротезированием, динамическое наблюдение за этими пациентами, фармакологическая коррекция в зависимости от состояния костной ткани и факторов риска, позволит улучшить результаты эндопротезирования крупных суставов, особенно на фоне метаболических остеопатий, уменьшить число неудовлетворительных результатов, повысить «выживаемость» эндопротезов, улучшить качество жизни пациентов в послеоперационном периоде, сократить частоту и отодвинуть сроки реэндопротезирования, снизить степень утраты трудоспособности, что даст положительный экономический эффект.

8. Исследование Total body (все тело).

8.1. Содержание минерального компонента кости

Согласно «Официальной позиции» экспертов Международного общества по клинической денситометрии в редакции 2019 г., при проведении ДРА с применением программы «body composition» у взрослых необходимо указывать содержание минерального компонента кости [86].

Данный параметр отражает состояние общей минерализации и применяется преимущественно в детской практике для оценки динамики набора костной массы с возрастом [96]. У взрослых он оценивается при радикальном изменении массы тела, проведении лечебных мероприятий по локальному набору костной массы [26].

8.2. Композиционный состав тела

В настоящее время, помимо оценки МПК и абсолютной минеральной массы кости, ДРА успешно используется и для определения композиционного состава тела [5, 7, 8].

Композиционный состав тела – это определение содержания жирового, минерального и мышечного компонентов тела. Для его оценки можно использовать биоэлектрический импедансный анализ тела, двойную рентгеновскую абсорбциометрию, воздушно-вытесняющую плетизмографию, магнитно-резонансную и компьютерную томографию [7]. Наиболее важными требованиями, предъявляемыми к различным методам оценки композиционного состава тела, являются: точность, лучевая нагрузка, стоимость, возможность измерения регионарного распределения компонентов, доступность применения в клинической практике.

Показания:

1. ВИЧ-инфекция (вирус иммунодефицита человека). Для оценки распределения жировой ткани, поскольку прием антиретровирусных средств (ставудин и зидовудин) ассоциирован с риском развития липоатрофии.

2. Ожирение (при бариатрической хирургии или диетической схеме снижения массы тела с ожидаемой большой ее потерей – более 10 %), чтобы оценить изменения жировой и мышечной ткани.

3. Мышечная слабость или физическое состояние, которое значительно ограничивает физическую активность, для оценки жировой и мышечной массы

Перспективные диагностические направления:

- Диагностика висцерального перераспределения жира.
- Динамическое исследование соотношения мышцы/жир (спортивная медицина, лечение ожирения).
- Особенности композиции тела при эндокринопатиях (СД 2-го и 1-го типов, гипогонадизм, гиперсоматопротизм).
- Заболевания желудочно-кишечного тракта с развитием синдрома мальабсорбции (болезнь Крона, целиакия).

Противопоказания: беременность.

Ограничения для применения метода: проведение лучевой диагностики с введением рентгеноконтрастного вещества в течение пяти последних дней, прохождение радиоизотопной диагностики в течение последних двух дней, масса тела пациента, превышающая допустимую для проведения денситометрического исследования.

Методика: пациент находится в положении лежа на спине, ладони вниз, руки изолированно от тела, стопы параллельно друг другу, руки прямые или под небольшим углом, лицом вверх.

В заключении рекомендовано указывать ИМТ, индекс тощей массы (ИТМ), МПК, ВМС (bone mineral content, содержание минерального компонента кости), общую массу

тела, общую мышечную и жировую массу, процентную долю жировой ткани. Данные о составе тела NHANES 1999-2004 года являются наиболее подходящими для разных рас, обоих полов и в возрасте от 8 до 85 лет.

Лучевая нагрузка составляет 0,0001 мЗв.

Современные представления о компонентном составе тела позволяют рассматривать костную, мышечную и жировую ткани в качестве самостоятельных, метаболически активных составляющих организма, каждая из которых вносит свой вклад в его функционирование [56, 93]. Определение жирового компонента тела человека выполняется при лечении пациентов с ожирением. В спорте оценка композиционного состава тела дает возможность осуществлять мониторинг состояния здоровья спортсменов, является одним из методов контроля физической работоспособности, позволяя своевременно корректировать тренировочный процесс и питание [39].

Недостаточная и избыточная масса тела распространена у детей с нервно-мышечными заболеваниями, использование композиционного состава тела позволяет точно оценить и динамически отслеживать изменения жировой, мышечной и костной ткани.

8.2.1. Исследование жирового компонента

ДРА стала успешно использоваться для определения жировой и безжировой массы тела у детей и взрослых, так как позволяет выделить такие компоненты, как массу жировой ткани, массу свободного жира, процентное содержание общей жировой ткани, процентное содержание андроида и гиноидного жира и их соотношение (рисунок 18).

Пациент: Этнич. группа: Евразийская Рост: 152 cm Вес: 120 kg
 Дата рождения: 12/05/1955 Возраст: 64 лет Пол: Женский Дата сканир.: 30/08/2018 11:46:51
Возраст менопаузы 47 лет Дата анализа: 30/08/2018 11:46:51

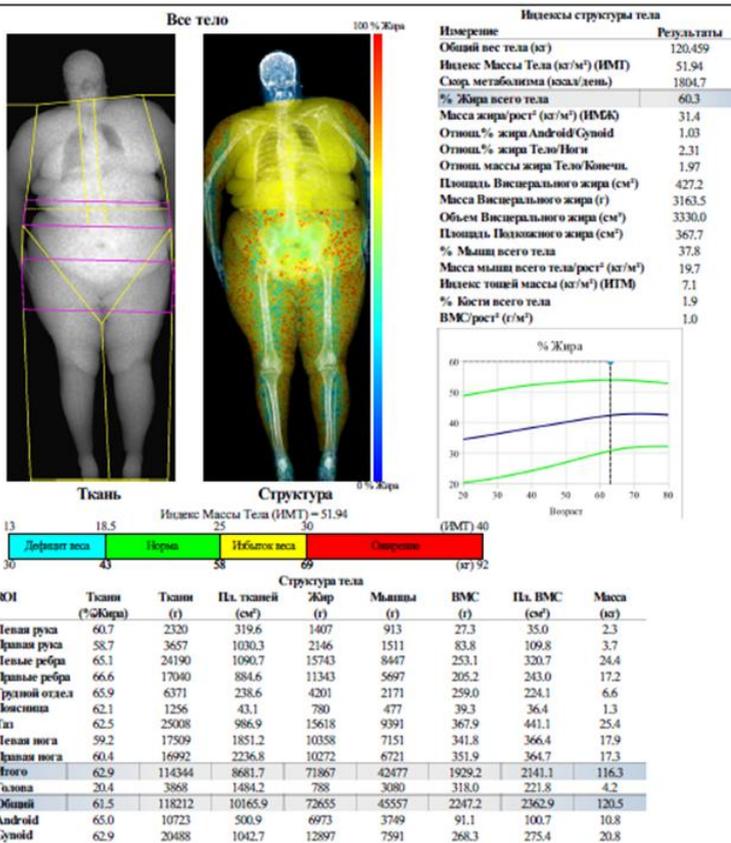


Рисунок 18 – Протокол исследования ДРА с использованием приложения «total body»

Исторически наиболее часто определяется процентное содержание жира в организме. В 1996 г. L.V. Noutkooper впервые предложила расчетные показатели **процентного содержания жира** для оценки содержания жировой массы с учетом пола и возраста (таблица 4) [49].

Таблица 4 – Формулы для оценки процентного содержания жировой массы тела

Возраст, лет	Пол	Содержание жира, %
7–12	муж.	5,30 : плотность тела – 4,89
	жен.	5,35 : плотность тела – 4,95
13–16	муж.	5,07 : плотность тела – 4,64
	жен.	5,10 : плотность тела – 4,66
17–19	муж.	4,99 : плотность тела – 4,55
	жен.	5,05 : плотность тела – 4,62
20–80	муж.	4,95 : плотность тела – 4,50
	жен.	5,01 : плотность тела – 4,57

Американский совет по физическим упражнениям (The American Council on Exercise, ACE) является ведущей организацией, исследующей параметры тела человека и влияние на них образа жизни [73]. Накопленные данные позволили составить шкалу с учетом жировых отложений, которая больше схожа с градацией ИМТ для взрослых, поскольку она не учитывает возраст и включает следующие категории (таблица 5):

Таблица 5 – Шкала ACE с учетом процентного содержания жира в организме

Категория	У женщин, %	У мужчин, %
Essentialfat (недостаточность жиров)	10-13%	2-5%
Athletes (спортсмены)	14-20%	6-13%
Fitness (здоровое содержание жиров)	21-24%	14-17%
Acceptable (приемлемо)	25-31%	18-24%
Obesity (ожирение)	>32%	>25%

В целом, у мужчин отношение жира к мышечной ткани ниже, чем у женщин, что объясняет различия в диапазонах.

Влияние на репродуктивную функцию играет важную роль в более высоком процентном содержании жира у женщин.

Также существуют ориентировочные диапазоны идеального процентного содержания жира в организме, учитывающие возраст обследуемого. Так специалистами Beth Israel Lahey Health Winchester Hospital предложены следующие рекомендации для здорового процентного содержания телесного жира у мужчин и женщин [99] (таблица 6).

Таблица 6 – Диапазон идеального процентного содержания жира с учетом возраста

Возраст, лет	У женщин, %	У мужчин, %
20-39	21-32	8-19
40-59	23-33	11-21
60-79	24-35	13-24

Национальным центром статистики США в 2009 г. были опубликованы данные программы NHANES, которая объединила более 5 тыс. исследований композиционного состава тела у лиц от 8 до 85 лет [61]. Рекомендованные диапазоны процентного содержания жира в организме представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Диапазон идеального процентного содержания жира в организме по результатам NHANES 2009

Категории	Возраст, лет	У мужчин, %	У женщин, %
Здоровые лица	< 40	8-22	20-35
	> 40	10-25	25-38
Спортсмены	< 40	5-15	16-28
	> 40	7-18	20-33
Недостаточность жиров	не зависит от возраста	< 3-5	< 12-14
Ожирение	< 40	>22	>35
	> 40	>25	>38

С возрастом отмечено закономерное физиологическое увеличение процентного содержания жиров в организме у мужчин и женщин.

Возможность определить региональное расположение жировой ткани (в андроидной или гиноидной зонах) является значимой положительной составляющей методики ДРА [95]. Существуют **андроидный и гиноидный** варианты перераспределения жира в организме, которые определяются по костным ориентирам и особенностям фигуры.

Компьютерная и магнитно-резонансная томография с одним срезом является одним из используемых методов количественной оценки висцерального жира, однако для широкого применения в клинической практике присутствуют такие ограничения, как высокая стоимость, низкая доступность, лучевая нагрузка при КТ-исследовании [42, 72].

При проведении ДРА андроидная область локализации жира исследуется как регион от линии, соединяющей гребни подвздошных костей, вверх на 20 % расстояния до основания черепа. В данной области преобладает висцеральное распределение жира [2] (рисунок 19).

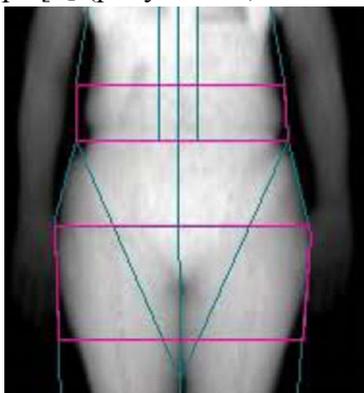
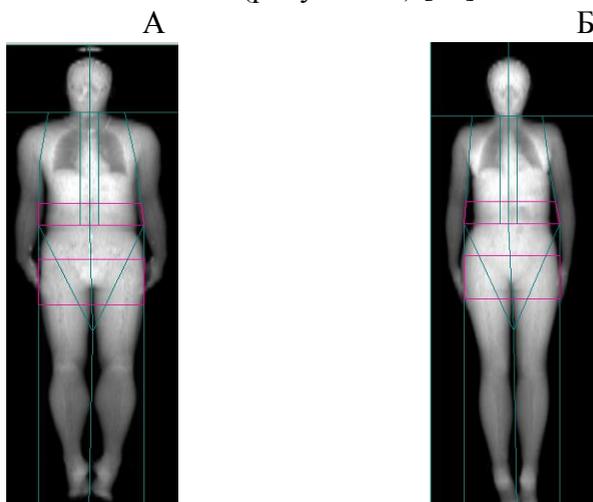


Рисунок 19 – Андроидный и гиноидный регионы локализации жира

Гиноидная зона – область от линии, соединяющей большие вертеты, вниз на двойное расстояние величины андройдной зоны – соответствует области бедер. Данные регионы определяются автоматически при проведении ДРА с применением приложения «body composition».

Накопление жировой ткани в андройдной области понимается как висцеральное ожирение. Увеличение отношения массы андройдного жирового компонента к гиноидному (АГО) указывает на преимущественное распределение жиров в абдоминальной области.

Увеличение количества жировой ткани в андройдной (абдоминальной) области ассоциировано с наличием висцерального ожирения. Увеличение отношения массы андройдного жира (область живота) к гиноидному (область ягодиц и бедер), или андройдно-гиноидного отношения (АГО, А/Г) указывает на преимущественное перераспределение в абдоминальной области (рисунок 20) [62].



А – преимущественно андройдное распределение жира ($A/G=1,14$);
Б – преимущественно гиноидное распределение жира ($A/G=0,74$)

Рисунок 20 – Протокол композиционного анализа тела, выполненного методом ДРА

К критериям, подтверждающим наличие центрального ожирения при проведении ДРА, относятся:

- увеличение соотношения жировой ткани в области туловища и содержания жировой ткани в организме в целом (Trunk/Total);
- снижение соотношения содержания жировой ткани в нижних конечностях и общего количества жировой ткани в организме (Legs/Total);
- уменьшение соотношения содержания жировой ткани в верхних и нижних конечностях и содержания жировой ткани в области туловища (Arms + Legs/Trunk).

Помимо центрального ожирения (в области туловища), выделяют периферическое. О наличии периферического типа накопления жировой ткани свидетельствуют:

- снижение соотношения жировой ткани в области туловища и содержания жировой ткани в организме в целом (Trunk/Total);
- увеличение соотношения содержания жировой ткани в конечностях и общего количества жировой ткани в организме и туловище (Arms + Legs/Trunk).

Соотношение между количеством жировой ткани в туловище и нижних конечностях, оцененное с помощью ДРА, было предложено в качестве инструмента для распознавания *липодистрофии*, связанной с ВИЧ [28, 40].

Van Pelt и соавт. [66] пришли к выводу, что количество жировой ткани в нижних конечностях имело позитивную независимую связь с факторами риска сердечно-сосудистых заболеваний. Танко и соавт. [83] пришли к такому же выводу в своем исследовании по использованию ДРА для оценки распределения жира. Семейные частичные липодистрофии представляют собой редкие наследственные заболевания жировой ткани, характеризующиеся избирательной потерей жировой ткани, резистентностью к инсулину и метаболическими осложнениями.

В отличие от других антропометрических изменений, таких как отношение окружности талии к бедрам или процентное соотношение жира в андроидной и гиноидной зонах, соотношение содержания жировой ткани в туловище к количеству жировой ткани в конечностях является единственным параметром денситометрии с четко определенной точкой отсечения ($> 1,2$) и высокой диагностической точностью для семейных частичных липодистрофий [25].

Пока генетические исследования не станут широкодоступными для клинической практики, метаболические особенности и характер потери жировой ткани могут быть единственными параметрами, способствующими установлению диагноза липодистрофии.

Индекс жировой массы.

Для диагностики ожирения клиницистами рутинно используется индекс массы тела (ИМТ) в соответствии с рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [2, 8]. Индекс рассчитывается как отношение массы тела в килограммах к квадрату роста в метрах ($\text{кг}/\text{м}^2$).

$$\text{ИМТ} = \text{масса тела (кг)} : \text{рост (м)}^2$$

Классификация ожирения с учетом ИМТ представлена в таблице 8.

Таблица 8 – Определение избыточной массы тела и степени ожирения с учетом ИМТ

Тип массы тела	ИМТ, $\text{кг}/\text{м}^2$
Нормальная масса тела	18,5-24,9
Избыточная масса тела	25,0-29,9
Ожирение 1 степени	30,0-34,9
Ожирение 2 степени	35,0-39,9
Ожирение 3 степени	Более 40,0

Следует принимать во внимание, что лица с развитой мышечной массой могут иметь высокое значение ИМТ, которое соответствует диагнозу «ожирение». С другой стороны, при наличии нормального показателя ИМТ у пациента могут иметь место избыток висцеральной жировой ткани и, как следствие, высокие кардиометаболические риски [93]. Кроме того, количественное значение ИМТ не дает представления о характере распределения жировой ткани в организме.

Для оценки содержания жира в организме в настоящее время используют расчетный показатель – *индекс жировой массы (ИЖМ)* [61]. ИЖМ рассчитывается как отношение общего жира в организме (в килограммах) к длине тела, возведенной в квадрат (в метрах):

$$\text{ИЖМ} = \text{ОЖ (кг)} : \text{длина тела (м)}^2,$$

где ОЖ –общее количество жира.

Исследование композиционного анализа тела методом ДРА позволяет автоматически определять ИЖМ пациента (рисунок 21).

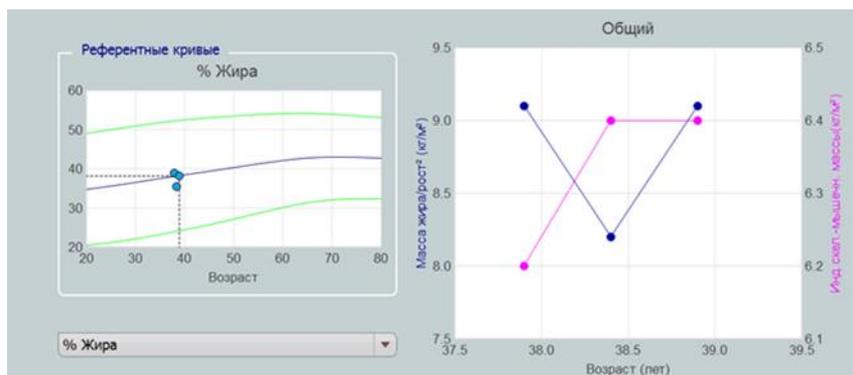


Рисунок 21 – Протокол исследования ДРА: процент жира и ИЖМ

Анализ результатов Национального исследования здоровья и питания в США в 2009 году, который объединил более 5 тыс. исследований композиционного состава тела у лиц от 8 до 85 лет, продемонстрировал, что показатель индекса жировой массы (ИЖМ) в норме составляет от 3,0 до 5,9 кг/м² у мужчин и от 5,0 до 8,9 кг/м² у женщин [61].

В 2009 году Kelly T.L. и соавт. предложили классификацию для оценки содержания жировой ткани на основании сопоставления ИМТ у здоровых молодых мужчин и женщин со значением параметра ИЖМ (таблица 9) [61].

Таблица 9 – Классификация содержания жиров в организме с учетом ИЖМ, кг/м²

Пол	Выраженный дефицит жировой ткани	Умеренный дефицит жировой ткани	Легкий дефицит жировой ткани	Норма	Избыток жировой ткани	Ожирение 1 ст.	Ожирение 2 ст.	Ожирение 3 ст.
Мужчины	<2	2-2,3	2,3-3	3-6	>6-9	>9-12	>12-15	<15
Женщины	<3,5	3,5-4	4-5	5-9	>9-13	>13-17	>17-21	<21

Данные проведенных исследований демонстрируют, что висцеральный жир метаболически более активен, чем подкожно-жировая клетчатка, и является фактором риска инсулинорезистентности, диабета 2 типа и сердечно-сосудистых заболеваний [18, 57]. И наоборот, подкожно-жировая клетчатка, локализованная в области бедер, связана с лучшей чувствительностью к инсулину и может защищать от

развития кардиометаболической патологии при ожирении независимо от возраста и пола [65, 46].

Многие современные денситометры уже оснащены программами, которые позволяют оценивать площадь, массу и объем висцерального жира. На основании литературных данных, накопленных на сегодняшний день, пороговое значение площади висцерального жира для оценки повышенного риска для здоровья определено как более 100 см², а значения более 160 см² соответствуют высокому риску [58, 92, 93] (таблица 10).

Таблица 10 – Пороговые значения висцерального жира, связанные с метаболическим фактором риска для ишемической болезни сердца.

Градация риска	Площадь висцерального жира см ²
Норма	10 –100
Повышенный риск	100–160
Высокий риск	>160–300

Клиническое значение пороговых значений висцерального жира подтверждено в недавнем исследовании взрослых европейской и афроамериканской расы. Авторы пришли к выводу, что параметр площади висцерального жира является полезным клиническим маркером кардиометаболического риска [35].

8.2.2. Исследование тощего компонента

Тощий компонент представлен в организме человека мышечной тканью, связками, кожей и жидкими средами. Тощая (безжировая) масса конечностей наиболее точно совпадает с их мышечной массой, поэтому в клинических исследованиях учитывают общее содержание тощего компонента и выделяют сумму показателей тощей массы

верхних и нижних конечностей, соответствующую содержанию аппендикулярной (скелетной) мышечной массы.

Для оценки содержания мышечной массы R. Baumgartner и соавт. предложили использовать *индекс тощей массы*, при расчете которого учитывается тощая масса верхних и нижних конечностей, и который рассчитывают по формуле 1.1 [44]:

$$\text{ИТМ} = \frac{\text{тощая масса (верхних + нижних) конечностей (кг)}}{\text{рост (м)}^2} \quad (1.1).$$

Поскольку при расчёте ИТМ учитывается тощий компонент, соответствующий скелетной мускулатуре, в литературе часто используется синонимическая аббревиатура – индекс мышечной массы (ИММ).

Таким образом, ИТМ=ИММ.

Саркопения – это возраст-ассоциированная патология, которая характеризуется снижением мышечной силы и массы у людей старшего возраста. Саркопения определяется низкими уровнями измерений по трем параметрам: мышечная сила, количество/качество мышц и физическая работоспособность [EWGSOP2].

После 50 лет мышечная масса уменьшается на 1–2 % ежегодно, а у пациентов с саркопенией риск падений в 3 раза выше, чем у их сверстников после поправки на другие факторы риска [68, 81]. Изменения в составе тела, особенно относительное и абсолютное увеличение и перераспределение жировой массы, могут рассматриваться как еще один важный аспект в патогенезе саркопении.

Саркопеническое ожирение – это сочетание повышенного накопления жировой ткани в организме при потере мышечной массы, т. е. происходит замещение мускулатуры жировой тканью. Исследователи данного

состояния указывают на снижение качества мышечной ткани, физической функции и увеличение риска смертности у пациентов [59, 87].

Pich и соавт. [70] оценили распространенность *остеосаркопенического ожирения* (потеря костной ткани и мышц в сочетании с ожирением) у женщин в постменопаузальном периоде. Результаты исследования продемонстрировали, что у женщин в период постменопаузы с наличием остеосаркопенического ожирения имеется повышенный риск переломов кости и ограничения мобильности, поскольку у них присутствует комбинация снижения костной и мышечной массы и увеличение массы жировой ткани.

По результатам проведенного C.L. Cheung и соавт. анализа результатов проспективного исследования National Health and Nutrition Examination Survey, длившегося с 1999 по 2004 год в США и включавшего 2841 человека старше 65 лет показано, что снижение количества скелетной мускулатуры увеличивает риск смертности в 1,72 раза (ОШ = 1,72; 1,28–2,29) [33].

Эксперты Международного общества по клинической денситометрии (International Society for Clinical Densitometry) в 2019 году предложили интерпретировать уменьшение показателя содержания мышечной массы более 20 % по сравнению с контрольной группой практически здоровых лиц как критерии низкой мышечной массы [86].

Европейской рабочей группой по изучению саркопении (European Working Group on Sarcopenia in Older People, EWGSOP2) определены пороговые значения, соответствующие низкому количеству мышечной ткани (таблица 11).

Таблица 11. – EWGSOP2 пороговые значения, соответствующие низкому количеству мышечной ткани [1].

Параметр	Женщины	Мужчин ы
Аппендикулярная мышечная масса (тощая масса рук и ног), кг	<20	<15
ИТМ, кг/м ²	<5,5	<7,0

У лиц молодого возраста наличие саркопении дискуссионно, но потеря мышечной массы имеет место быть как вторичное состояние при ряде заболеваний, что требует дальнейших исследований состояния мышечной массы в норме и при патологии.

Так, по результатам белорусского исследования определено пороговое значение низкой мышечной массы (ИТМ – 8,44 кг/м²) для мужчин молодого возраста с СД 1 типа [6].

8.2.3. Применение композиционного анализа тела в педиатрической практике

Социальные последствия возрастающей распространенности ожирения в педиатрической практике привели к росту интереса исследователей и клиницистов к методикам оценки состава тела. Разработка диагностических критериев, которые могли бы выявлять пациентов с риском развития заболеваний, связанных с ожирением, чрезмерно актуальна. Появляется все больше доказательств того, что определенный композиционный состав тела в младенчестве и раннем детстве способен предсказывать ожирение и риск развития сердечно-сосудистых заболеваний в дальнейшей жизни.

Недавний метаанализ показал, что дети с высокой массой тела при рождении (> 4000 г) имели высокий риск развития ожирения в более позднем возрасте [22]. Оценка

скорости увеличения массы тела в раннем детстве может быть важна для прогнозирования значений ИМТ, общей массы жировой ткани и абдоминального ожирения во взрослом возрасте [32, 54]. В связи с постоянным прогрессом в оказании медицинской помощи число детей с хроническими заболеваниями увеличивается во всех возрастных группах, и комплексный подход к анализу состава тела позволит и лечебные мероприятия проводить на новом качественном уровне.

Дети, у которых масса тела или ИМТ соответствует возрастной норме, на самом деле могут быть подвержены риску развития кардиометаболических заболеваний и/или иметь дефицит мышечной массы. У детей после перенесенной онкологической патологии композиционный состав тела изменяется из-за воздействия кортикостероидов, лучевой и химиотерапии, которые могут приводить, например, к развитию эндокринной дисфункции [69]. Исследования демонстрируют, что, хотя у этих пациентов нет различий в показателях ИМТ по сравнению со здоровыми лицами, у них отмечается значительный дефицит мышечной массы и избыток жировой ткани [23].

Наличие хронического воспаления оказывает влияние на рост и также может привести к дефициту мышечной массы тела. Дети и лица молодого возраста обоих полов с заболеванием Крона имели дефицит мышечной массы, более выраженный у лиц мужского пола [47]. Мышечная масса, измеренная с помощью ДРА у детей с мышечной дистрофией Дюшенна, выраженно коррелировала с мышечной силой и функцией [19].

В педиатрической практике целесообразно выполнение композиционного анализа тела при различных эндокринных заболеваниях (ожирение, гипогонадизм различной этиологии, болезнь Шерешевского-Тернера, лечение гормоном роста, сахарный диабет 1 типа), редких генетических заболеваниях,

при подозрении на миопатию и/или состояния, сопровождающиеся патологическим перераспределением жировой ткани в организме [24]. Так, у детей с синдромом Прадера-Вилли при лечении гормоном роста в одном из исследований установлено снижение общего количества жировой ткани и увеличение количества тощей массы по сравнению с контрольной группой [75]. Это указывает на то, что у них лечение гормоном роста может быть эффективным. Показания к направлению на исследование и алгоритм мониторинга в педиатрической практике требуют дальнейшей разработки.

Сканирование всего тела может выполняться всем педиатрическим пациентам, которые могут оставаться неподвижными во время процедуры без седативных средств. Выполнять исследование можно на любом денситометре начиная с возраста, для которого имеются нормативные данные.

Таким образом, в педиатрической практике композиционный анализ тела может иметь клиническую значимость при комплексной оценке пациентов с хроническими заболеваниями, которые ассоциированы с недостаточностью питания или дефицитом мышечной и костной ткани [85]. Измерения минерального компонента всего тела у детей младше 3 лет имеют ограниченную клиническую значимость из-за высокой вероятности неправильного позиционирования и отсутствия нормативных данных.

9. Заключение

Двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия – это современный диагностический инструмент как для верификации костной патологии, так и для оценки компонентов композиционного состава тела, переломов позвонков и параметров геометрии бедра.

Композиционный анализ тела позволяет исследовать количественные параметры костной, жировой и мышечной составляющей, и, соответственно, комплексно подходить к эффективному снижению массы тела с динамическим контролем, что наглядно отражает адекватность проводимых мероприятий.

Учитывая доступность и неинвазивность метода, он может быть широко внедрен в рутинную клиническую практику для оценки структуры тела у взрослых и детей.

Литература:

1. Беневоленская, Л. И. Проблема остеопороза в современной медицине / Л. И. Беневоленская // Науч.-практ. ревматология. – 2005. – № 1. – С. 4–7.
2. Висцеральное ожирение: распространённость, классификация, актуальные методы диагностики / Ю. В. Дыдышко [и др.] // Лечебное дело. – 2020. – № 2 (72). – С. 69–79.
3. Водянова, О. В. Инновационный подход к неинвазивной оценке качества костной ткани у молодых взрослых с сахарным диабетом 1-го типа / О. В. Водянова, Ю. В. Дыдышко, Н. А. Васильева // Медицинские новости. 2020. – № 11. – С. 77–81.
4. Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике Составители : Скрипникова И. А., Щеплягина Л. А., Новиков В. Е., Косматова О. В., Абилова А. С. Методические рекомендации Второе издание, дополненное. Москва, 2015, 35 с.
5. Диагностические возможности применения двойной рентгеновской абсорбциометрии в клинической практике / О. В. Водянова [и др.] // Лечебное дело. – 2020. – № 2 (72). – С. 87–92.
6. Дыдышко, Ю. В. Возможности оценки состояния мышечного компонента в норме и при сахарном диабете 1-го типа / Ю. В. Дыдышко, А. П. Шепелькевич // Мед. панорама. 2015. – №5. – С. 45–50.
7. Дыдышко, Ю. В. Современные возможности применения методов оценки композиционного анализа тела / Ю. В. Дыдышко, А. П. Шепелькевич // Медицина. – 2015. – № 1. – С. 34–39.
8. Мартиросов Э. Г., Николаев Д. В., Руднев С. Г. Технологии и методы определения состава тела человека. М.: Наука, 2006. 248 с.

9. Михайлов, А. Н. Рентгенодиагностика заболеваний костно-суставной системы / А. Н. Михайлов. – Минск : БелМАПО, 2011. – 299 с.
10. Поворознюк, В. В. Менопауза и костно-мышечная система / В. В. Поворознюк, Н. В. Григорьева. – Киев, 2004. – 512 с.
11. Риггз, Б. Л. Остеопороз. Этиология, диагностика, лечение : пер. с англ. / Б. Л. Риггз, Ш. Л. Д. Мелтон. – М. ; СПб. : БИНОМ : Невский диалект, 2000. – 264 с.
12. Риск возникновения перелома позвоночника у пациентов с сахарным диабетом / О. В. Водянова [и др.] // Мед. новости. – 2017. – № 10. – С. 4–9.
13. Рубин, М. П. Преимущества и недостатки рентгеновской двухэнергетической остеоденситометрии в диагностике остеопороза / М. П. Рубин // Радиология–практика. – 2009. – № 3. – С. 12–20.
14. Современные подходы к оценке геометрических параметров проксимального отдела бедра в клинической практике / О. В. Водянова [и др.] // Лечеб. дело. – 2018. – № 2. – С. 44–50.
15. Стрессовое ремоделирование костной ткани после эндопротезирования крупных суставов и его консервативная коррекция / М. А. Макаров [и др.] // Современная ревматология. – 2009. – №3(1). – С. 62–67.
16. A critical appraisal of vertebral fracture assessment in paediatrics / A. Kyriakou [et al.] Bone. – 2015. – Vol. 81. – P. 255–259.
17. A prospective study of the effect of fracture on measured physical performance: results from the Mac Arthur Study – MAC / G. A. Greendale [et al.] // J. Am. Geriatr. Soc. – 2000. – Vol. 48, iss. 5. – P. 546–549.
18. Abdominal obesity: The cholesterol of the 21st century? / J. P. Despres [et al.] // Can. J. Cardiol. – 2008. – Vol. 24 (Suppl. D). – P. 7D–12D.

19. Assessment of whole body composition with dual energy x-ray absorptiometry in Duchenne muscular dystrophy: correlation of lean body mass with muscle function / G. M. Palmieri [et al.] // *Muscle Nerve*. – 1996. – Vol. 19, iss. 6. – P. 777–779.
20. Association between vertebral fracture and increased mortality in osteoporotic patients / T. Jalava [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 2003. – Vol. 18, № 7. – P. 1254–1260.
21. Back pain, disability, and radiographic vertebral fracture in european women: a prospective study / T. W. O’Neill [et al.] // *Osteoporos. Int.* – 2004. – Vol. 15, iss. 9. – P. 760–765.
22. Birth weight and subsequent risk of obesity: A systematic review and meta-analysis / Z. B. Yu [et al.] // *Obes. Rev.* – 2011. – Vol. 12. – P. 525–542.
23. Body composition abnormalities in long-term survivors of pediatric hematopoietic stem cell transplantation / S. Mostoufi-Moab [et al.] // *J. Pediatr.* – 2012. – Vol. 160. – P. 122–128.
24. Body composition in children with type 1 diabetes in the first year after diagnosis: relationship to glycemic control and cardiovascular risk / N. L. Davis [et al.] // *Arch. Dis. Child.* – 2012. – Vol. 97, iss. 4. – P. 312–315.
25. Body composition study by dual-energy x-ray absorptiometry in familial partial lipodystrophy: finding new tools for an objective evaluation / C. M. Valerio [et al.] // *Diabetol. Metab. Syndr.* – 2012. – Vol. 4, iss. 40. – P. 1–6.
26. Bone mass and sex steroids in postmenarcheal adolescents and adult women with Type 1 diabetes mellitus / N. Soto [et al.] // *J. of Diabetes and Its Complications*. – 2011. – Vol. 25, № 1. – P. 19–24.
27. Bone remodeling after total hip arthroplasty using an uncemented anatomic femoral stem: a three-year prospective study using bone densitometry / J. J. Panisello [et al.] // *J. Orthop. Surg. (Hong Kong)* – 2006. – Vol. 14, iss.1. – P. 32–7
28. Bonnet, E. Total body composition by DXA of 241 HIV-negative men and 162 HIV-infected men: proposal of reference

values for defining lipodystrophy / E. Bonnet, C. Delpierre, A. Sommet // *J. Clin. Densitom.* – 2005. – Vol. 8, iss. 3. – P. 287–292.

29. Bonnick, S. A. Bone densitometry for technologists / S. A. Bonnick, S. A. Lewis. – Second ed. – Totowa : Humana press Int., 2006. – 437 p.

30. Brandi, M. L. Microarchitecture, the key to bone quality / M. L. Brandi // *Rheumatology.* – 2009. – Vol. 48, suppl. 4. – P. iv3–iv8.

31. Briot, K. Glucocorticoid-induced osteoporosis / K. Briot, C. Roux // *RMD Open.* – 2015. – Vol.1, iss. 1. – P. e000014–e000014.

32. Chandler-Laney, P.C. Gestational and early life influences on infant body composition at one year / P. C. Chandler-Laney, B. A. Gower, D. A. Fields // *Obesity (Silver Spring).* – 2012. – Vol. 21, iss. 1. – P. 144–148.

33. Cheung, C. L. Evaluation of Cutpoints for Low Lean Mass and Slow Gait Speed in Predicting Death in the National Health and Nutrition Examination Survey 1999–2004 / C. L. Cheung, K. S. Lam, B. M. Cheung // *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* – 2016. – Vol. 71. – iss. 1. – P. 90–95.

34. Clarke, B. Normal bone anatomy and physiology / B. Clarke // *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* – 2008. – Vol. 3, suppl. 3. – P. 131–139.

35. Clinical utility and reproducibility of visceral adipose tissue measurements derived from dual-energy X-ray absorptiometry in White and African American adults / P. T. Katzmarzyk [et al.] // *Obesity.* – 2013. – Vol. 21, iss. 11. – P. 2221–2224.

36. Combining frailty and trabecular bone score in predicting risk of major osteoporotic fractures / G. Li [et al.] // *WCO-IOF-ESCEO19 World Congress on Osteoporosis, Osteoarthritis and Musculoskeletal Diseases : abstracts, Paris, France, 4–7 April, 2019.* – [Publ.] *Osteoporosis International.* – 2019. – Vol. 30, suppl. 1. – P. 249.

37. Continuous bone loss around a tapered uncemented femoral stem. A long-term evaluation with DEXA / H. S. G. Bodén [et al.] // *Acta Orthop.* – 2006. – Vol. 77, iss. 6. – P. 877–85.
38. Cormier, C. TBS in routine clinical practice: proposals of use [Internet] / C. Cormier, O. Lamy, S. Poriau. // Plan-les-Outes, Switzerland: Medimaps Group; 2012. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.medimapsgroup.com/upload>. Data of access: 01.06.2019.
39. Current status of body composition assessment in sport. Review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I. O. C. medical commission / T. R. Ackland [et al.] // *Sport Med.* 2012. – Vol. 42, iss. 3. – P. 227–249.
40. Degris, E. Longitudinal study of body composition of 10 HIV men with lipodystrophy: dual-energy X-ray criteria for clinical evolution / E. Degris, C. Delpierre, A. Sommet // *J. Clin. Densitom.* – 2010. – Vol. 13, iss. 2. – P. 237–244.
41. Do variations in hip geometry explain differences in hip fracture risk between Japanese and white Americans? / T. Nakamura [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 1994. – Vol. 9, № 7. – P. 1071–1076.
42. Dual-energy x-ray performs as well as clinical computed tomography for the measurement of visceral fat / L. K. Micklesfield [et al.] // *Obesity (Silver Spring)*. – 2012. – Vol. 20. – P. 1109–1114.
43. Effects of sex and age on bone microstructure at the ultradistal radius: a population-based noninvasive in vivo assessment / S. Khosla [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 2006. – Vol. 21, iss 1. – P. 124–131.
44. Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico / R. N Baumgartner [et. al.] // *Am. J. of Epidemiol.* – 1998. – Vol. 147, № 8. – P. 755–763.
45. Excess mortality after hospitalisation for vertebral fracture /

- J. A. Kanis [et al.] // *Osteoporos. Int.* – 2004. – Vol. 15, iss. 2. – P. 108–112.
46. Frayn, K. N. Adipose tissue as a buffer for daily lipid flux / K. N. Frayn // *Diabetologia.* – 2002. – Vol. 45. – P. 1201–1210.
47. Gender differences in body composition deficits at diagnosis in children and adolescents with Crohn's disease / M. Thayu, [et al.] // *Inflamm. Bowel Dis.* – 2007. – Vol. 13 – P. 1121–1128.
48. Gruen, T. A. Modes of failure of cemented stem-type femoral components: a radiographic analysis of loosening / T. A. Gruen, G. M. Me Neice, H. C. Amstutz // *Clin. Orthop.* – 1979. – Vol. 141. – P. 17–27.
49. Houtkooper, L. B. Assessment of body composition in youths and relationship to sport / L. B. Houtkooper // *Int. J. Sport Nutr.* – 1996. – Vol. 6, iss. 2. – P. 146–164.
50. Identification of rheumatoid arthritis patients with vertebral fractures using bone mineral density and trabecular bone score / S. Breban [et al.] // *J. Clin. Densitom.* – 2012. – Vol. 15. – P. 260–260.
51. Improving Risk Assessment: hip Geometry, bone mineral distribution and bone strength in hip fracture cases and controls. The EPOS Study / N. J. Crabtree [et al.] // *Osteoporos. Int.* – 2002. – Vol. 13, iss. 1. – P. 48–54.
52. Incident vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study / D. M. Kado [et al.] // *Osteoporos. Int.* – 2003. – Vol. 14, iss. 7. – P. 589–594.
53. Independent predictors of all osteoporosis-related fractures in healthy postmenopausal women: the OFELY study / G. Albrand [et al.] // *Bone.* – 2003. – Vol. 32, iss. 1. – P. 78–85.
54. Infant growth and later body composition: Evidence from the 4-component model / S. Chomtho S. [et al.] // *Am. J. Clin. Nutr.* – 2008. – Vol. 87. – P. 1776–1784.
55. Instant vertebral assessment: a noninvasive dual X-ray absorptiometry technique to avoid misclassification and clinical mismanagement of osteoporosis / S. L. Greenspan [et al.] // *J. Clin.*

- Densitom. – 2001. – Vol. 4, iss. 4. – P. 373–380.
56. Insulin action, regional fat, and myocyte lipid: Altered relationships with increased adiposity / S. K. Gan [et al.] // *Obes. Res.* – 2003. – Vol. 11. – P. 1295–1305.
57. Insulin resistance: Link to the components of the metabolic syndrome and biomarkers of endothelial dysfunction in youth / S. Lee [et al.] // *Diabetes Care.* – 2007. – Vol. 30. – P. 2091–2097.
58. Is there a threshold of visceral fat loss that improves the metabolic profile in obese postmenopausal women? / M. Brochu [et al.] // *Metabolism.* – 2003. – Vol. 52, iss. 5. – P. 599–604
59. Kalinkovich, A. Sarcopenic obesity or obese sarcopenia: A cross talk between age-associated adipose tissue and skeletal muscle inflammation as a main mechanism of the pathogenesis / A. Kalinkovich // *Ageing Res. Rev.* – 2017. – Vol. 35. – P. 200–221.
60. Kanis, J. A. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women / J. A. Kanis, E. V. McCloskey, H. Johansson // *Osteoporos. Int.* – 2013. – Vol. 24, iss. 1. – P. 23–57.
61. Kelly, T. L. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES / T. L. Kelly, K. E. Wilson, S. B. Heymsfield // *PLoS One.* – 2009. – Vol. 4, iss. 9. – P.e7038.
62. Lee, J. J. Abdominal adiposity distribution in diabetic/prediabetic and nondiabetic populations: a metaanalysis / J. J. Lee, S. N. Beretvas, J. H. Freeland-Graves // *J. Obes.* – 2014. – Vol. 6. – P. 697264.
63. Long-term morbidity and mortality after a clinically diagnosed vertebral fracture in the elderly – a 12- and 22-year follow-up of 257 patients / R. Hasserijs [et al.] // *Calcif. Tissue Int.* – 2005. – Vol. 76, iss. 4. – P. 235–242.
64. Lower bone density, impaired microarchitecture, and strength predict future fragility fracture in postmenopausal women: 5-year follow-up of the Calgary CaMos cohort / L. A. Burt [et al.]

// J. Bone Miner. Res. – 2018. – Vol. 33, № 4. – P. 589–597.

65. Lower thigh subcutaneous and higher visceral abdominal adipose tissue content both contribute to insulin resistance / F. Amati [et al.] // Obesity (Silver Spring). – 2012. – Vol. 20. – P. 1115–1117.

66. Lower-body adiposity and metabolic protection in postmenopausal women / R. Van Pelt [et al.] // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2005. – Vol. 90, iss 8. – P. 4573–4578.

67. McCloskey, E. V. A meta-analysis of trabecular bone score in fracture risk prediction and its relationship to FRAX / E. V. McCloskey, A. Oden, N.C. Harvey // J. Bone Miner. Res. – 2016. – Vol. 31. – P. 940–948.

68. Morley, J. E. Sarcopenia: diagnosis and treatment / J. E. Morley // J. Nutr. Health Aging. – 2008. – Vol.12, iss. 7. – P. 452–456.

69. Murphy, A. J. Body composition of children with cancer / A. J. Murphy, M. White, P. S. Davies // Am. J. Clin. Nutr. – 2010. – Vol. 92. – P. 55–60.

70. Osteosarcopenic obesity is associated with reduced handgrip strength, walking abilities, and balance in postmenopausal women / J. Ilich [et al.] // Osteoporosis Int. – 2015. – Vol. 26, iss 11. – P. 2587–2595.

71. Paprosky, W, G. Hip replacement: treatment of femoral bone loss using distal bypass fixation / W, G. Paprosky, R. Aribindi // Instr. Course Lect. – 2000. – Vol. 49. – P. 119-30.

72. Park, Y. W. Are dual energy Xray absorptiometry regional estimates associated with visceral adipose tissue mass? / Y. W. Park, S. B. Heymsfield, D. Gallagher // Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord. – 2002. – Vol. 26, iss. 7. – P. 978–983.

73. Percent Body Fat Calculator: Skinfold Method [Electronic resource]. URL: <https://www.acefitness.org/education-and-resources/lifestyle/toolscalculators/percent-body-fat-calculator/>.

74. Radiologic assessment of osteoporotic vertebral fractures : diagnostic and prognostic implications / T. M. Link [et al.] // Eur.

Radiol. – 2005. – Vol. 15, iss. 8. – P. 1521–1532.

75. Randomized controlled growth hormone trial: effects on anthropometry, body composition, and body proportions in a large group of children with Prader-Willi syndrome / D.A. Festen [et al.] // Clin. Endocrinol. (Oxf.). – 2008. – Vol. 69. – P. 443–451.

76. Revised Reference Curves for Bone Mineral Content and Areal Bone Mineral Density According to Age and Sex for Black and Non-Black Children: Results of the Bone Mineral Density in Childhood Study / B.S. Zemel [et al.] // J. Clin. Endocrinol. Metab. – 2011. – Vol. 96, iss. 10. – P. 3160–3169.

77. Risk of mortality following clinical fractures / J. A. Cauley [et al.] // Osteoporos. Int. – 2000. – Vol. 11, iss. 7. – P. 556–561.

78. Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture / R. Lindsay [et al.] // JAMA. – 2001. – Vol. 285, iss. 3. – P. 320–323.

79. Santori, N. Proximal load transfer with a stemless uncemented femoral implant // N. Santori, M. Lucidi, F. S. Santori // J. Orthopaed. Traumatol. – 2006. – Vol. 7. – P. 154–60.

80. Scientific Committee of the Groupe de Recherche et d'Information sur les Ostéoporoses. Trabecular bone score (TBS): available knowledge, clinical relevance, and future prospects / V. Bousson [et al.] // Osteoporos. Int. – 2012. – Vol. 23, iss. 5. – P. 1489–1501.

81. Shepherd, J. Evaluation of Sarcopenia by DXA / J. Shepherd // Clin. Rev. Bone Min. Metab. – 2016. – Vol. 14, iss. 1. – P. 45–49.

82. Simple measurement of femoral geometry predicts hip fracture: the study of osteoporotic fractures / K. G. Faulkner [et al.] // J. Bone Miner. Res. – 1993. – Vol. 8, № 10. – P. 1211–1217.

83. Tanko, L. B. Peripheral adiposity exhibits an independent dominant antiatherogenic effect in elderly women / L. B. Tanko, Y. Z. Bagger, P. Alexandersen // Circulation. – 2003. – Vol. 107. – P. 1626–1631.

84. TBS in routine clinical practice: proposals of use: Plan-les-Outes, Switzerland : Medimaps Group, 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.medimapsgroup.com/upload>. – Date of access: 01.06.2021.
85. The Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry – PEDIATRIC [Electronic resource]. URL: <https://iscd.org/learn/official-positions/pediatric-positions/>
86. The Official Positions of the International Society for Clinical Densitometry – ADULTS [Electronic resource]. URL: <http://www.iscd.org/official-positions/6th-iscd-position-development-conference-adult>
87. Tian, S. Association of sarcopenic obesity with the risk of all-cause mortality: A meta-analysis of prospective cohort studies / S. Tian, Y. Xu // *Geriatr. Gerontol. Int.* – 2016. – Vol. 16. – P. 155–166.
88. Trabecular bone score (TBS) as a new complementary approach for osteoporosis evaluation in clinical practice. A consensus report of a European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO) Working Group / N. C. Harvey [et al.] // *Bone*. – 2015. – Vol. 78. – P. 216–224.
89. Trabecular Bone Score Is a Useful Parameter for the Prediction of Vertebral Fractures in Patients With Polymyalgia Rheumatica / H. A. Kim [et al.] // *J. Clin. Densitom.* – 2019. – Vol. 23, iss.3. – P. pii: S1094-6950(19)30041-1.
90. Trabecular bone score: a noninvasive analytical method based upon the DXA image / B. C. Silva [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 2014. – Vol. 29, iss. 3. – P. 518–530.
91. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique / H. K. Genant [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 1993. – Vol. 8, № 9. – P. 1137–1148.
92. Visceral Adipose Tissue Cutoffs Associated With Metabolic Risk Factors for Coronary Heart Disease in Women / B. J. Nicklas [et al.] // *Diabetes Care*. – 2003. – Vol. 26. – P. 1413–1420.

93. Visceral Adiposity and Hepatic Steatosis at Abdominal CT: Association with the Metabolic Syndrome / P. J. Pickhardt [et al.] // *Am. J. Roentgenol.* – 2012. – Vol. 198, iss. 5. – P. 1100–1107.
94. Visual identification of vertebral fractures in osteoporosis using morphometric X-ray absorptiometry / L. Ferrar [et al.] // *J. Bone Miner. Res.* – 2003. – Vol. 18, № 5. – P. 933–938.
95. Waist circumference and abdominal sagittal diameter as surrogates of body fat distribution in the elderly: Their relation with cardiovascular risk factors / E. Turcato [et al.] // *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* – 2000. – Vol. 24. – P. 1005–1010.
96. Whole body bone mineral content in healthy children and adolescents / C. Molgaard [et al.] // *Arch. of Dis. Child.* – 1997. – Vol. 76, № 1. – P. 9–15.
97. Whyte, P. M. Misinterpretation of osteodensitometry with high bone density: BMD Z > or = + 2.5 is not "normal" / M. P. Whyte // *J. Clin. Densitom. Spring.* – 2005. – Vol. 8, iss. 1. – P. 1–6.
98. Whyte, P. M. Whyte M. P. Genetic, Developmental, and Dysplastic Skeletal Disorders. In: *Primer on Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*, 2003, 5th ed. Favus M, Christakos S, Gagel RF, et al. eds. Washington, DC: American Society for Bone and Mineral Research, 449–466 and 470–477.
99. Your Body Fat Percentage: What Does It Mean? [Electronic resource]. URL: [//www.winchesterhospital.org/health-library/article?id=41373](http://www.winchesterhospital.org/health-library/article?id=41373)

Содержание

Введение.....	3
1. «Золотой стандарт» - определение минеральной плотности осевого скелета.....	6
2. «Золотой стандарт» в педиатрической практике.....	14
3. Оценка переломов позвонков.....	17
4. Трабекулярный костный индекс	23
5. Анализ геометрических параметров проксимального отдела бедра.....	29
6. Оценка МПК предплечья.....	31
7. Приложение для ортопедических исследований	33
8. Исследование Total body (все тело).....	37
8.1. Содержание минерального компонента кости.....	37
8.2. Композиционный состав тела.....	37
8.2.1. Исследование жирового компонента.....	39
8.2.2. Исследование тощего компонента.....	49
8.2.3. Применение композиционного анализа тела в педиатрической практике.....	52
9. Заключение.....	55
Литература.....	56

Учебное издание

Водянова Ольга Владимировна
Дыдышко Юлия Васильевна

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КЛИНИЧЕСКОГО
ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ
РЕНТГЕНОВСКОЙ АБСОРБЦИОМЕТРИИ

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать 28.06.2021. Формат 60x84/16. Бумага «Discovery».

Печать ризография. Гарнитура «Times New Roman».

Печ. л. 4,19. Уч.- изд. л. 3,68. Тираж 50 экз. Заказ 179.

Издатель и полиграфическое исполнение –
государственное учреждение образования «Белорусская медицинская
академия последипломного образования».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/136 от 08.01.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 3/1275 от 23.05.2016.

220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 3, кор.3.