



А.В. Петрайкин,

к.м.н, доцент, ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: alexeypetraikin@gmail.com, ORCID: 0000-0003-1694-4682

З.Р. Артюкова,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: zl.artjukova@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2960-9787

Л.А. Низовцова,

д.м.н., профессор, ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: nizovtsova@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0002-9614-450

А.И. Уринцов,

д.э.н., профессор, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», г. Москва, Россия, e-mail: Urintsov.AI@rea.ru, ORCID: 0000-0003-0273-5134

А.С. Сорокин,

к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», г. Москва, Россия, e-mail: Sorokin.AS@rea.ru, ORCID: 0000-0002-9328-7017

Е.С. Ахмад,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: e.ahmad@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0002-8235-936

Д.С. Семенов,

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: d.semenov@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0002-4293-2514

К.А. Сергунова,

к.т.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: sergunova@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0002-9596-7278

В.А. Бабкин,

к.э.н., ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», г. Москва, Россия, e-mail: vababkin91@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9124-7329

Ю.А. Васильев,

к.м.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: dr.vasilev@me.com, ORCID: 0000-0002-0208-5218

А.В. Владзимирский,

д.м.н., ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: a.vladzimirsky@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0002-2990-7736

С.П. Морозов,

д.м.н., профессор, ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия, e-mail: morozov@nrcmr.ru, ORCID: 0000-0001-6545-6170

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ СКРИНИНГА ОСТЕОПОРОЗА

УДК: 616.71

DOI: 10.21045/1811-0185-2021-2-31-39

Петрайкин А.В., Артюкова З.Р., Низовцова Л.А., Уринцов А.И., Сорокин А.С., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Сергунова К.А., Бабкин В.А., Васильев Ю.А., Владзимирский А.В., Морозов С.П. Анализ эффективности внедрения системы скрининга остеопороза (ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента



© А.В. Петрайкин, З.Р. Артюкова, Л.А. Низовцова, А.И. Уринцов, А.С. Сорокин, Е.С. Ахмад, Д.С. Семенов, К.А. Сергунова, В.А. Бабкин, Ю.А. Васильев, А.В. Владзимирский, С.П. Морозов, 2021 г.



здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия; ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова», г. Москва, Россия)

Аннотация. Остеопороз – заболевание, при котором происходит снижение минеральной плотности кости, сопровождающееся нарушением ее структуры и, как следствие, низкоэнергетическими переломами. Остеопорозом страдает каждая третья женщина и каждый четвертый мужчина старше 50 лет. Остеопороз – тяжелое бремя для здравоохранения Российской Федерации, определяемое как 25 млрд. руб. ежегодно. В назначении терапии остеопороза, предотвращающей разрушение костной ткани, нуждаются до 31% женщин и 4% мужчин старше 50 лет. Выявление данных групп риска позволяет своевременно начать лечение и предотвратить патологические переломы.

В работе анализируются современные подходы к диагностике остеопороза. Приводится обзор методов диагностики, включая технологии искусственного интеллекта для распознавания низкоэнергетических компрессионных переломов тел позвонков, а также методы рутинной двухэнергетической денситометрии – DXA. Также обсуждены технологии денситометрии по данным КТ сканирования. Приводится принцип анкетирования по FRAX для выявления пациентов с высоким риском низкоэнергетических переломов, а также определения групп пациентов, нуждающихся в проведении денситометрических исследований. Анализируются различные модели скрининга остеопороза, с оценкой их медико-экономической эффективности. Представлено экономическое обоснование наиболее эффективной стратегии – проведения анкетирования по FRAX с последующим выполнением денситометрических исследований. Это позволит предотвратить более 50% низкоэнергетических переломов без увеличения затрат. Данные усилия направлены на увеличение продолжительности жизни, что будет способствовать выполнению намеченных целевых показателей в национальном проекте «Демография».

Ключевые слова: остеопороз, минеральная плотность кости, количественная компьютерная томография, двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, экономическая модель.

Введение

Остеопороз (ОП) – метаболическое заболевание скелета, характеризующееся снижением костной массы, нарушением микроархитектоники костной ткани и, как следствие, переломами при минимальной травме [1, С. 393]. Первичный остеопороз можно рассматривать как самостоятельное заболевание у людей пожилого возраста, если не выявлена другая причина сниженной минеральной плотности кости (МПК) или патологического низкоэнергетического (НЭ) перелома. В общей структуре данного заболевания первичный ОП занимает до 95% у женщин в постменопаузе (постменопаузальный ОП) и до 80% у мужчин старше 50 лет. Остальные 5 и 20 процентов относятся к состоянию вторичного ОП, когда может быть указана конкретная причина снижения МПК [1, С. 395].

Само по себе состояние сниженной МПК клинически не проявляется (ОП – «безмолвная эпидемия»). ОП без патологического перелома кодируется по МКБ М81. Однако возникшие при минимальной травме патологические переломы требуют обозначения ОП как «тяжелый» (коды по МКБ М80). Затраты на лечение ОП переломов существенны и составляют в России до 25 млрд. ежегодно [1, С. 394]. Бремя этого заболевания представляет значимую медицинскую и социально-экономическую проблему, для решения которой необходим комплекс мер, обеспечивающих своевременную диагностику и профилактику данного заболевания [11]. Профилактика патологических ОП переломов возможна путем назначения специфической антирезорбтивной и анаболической терапии, направленной на повышение прочности костной

ткани. Диагностика ОП предполагает проведение скрининговых мероприятий, направленных на выявление пациентов, требующих назначения лечения. В назначении терапии остеопороза нуждаются 31% женщин и 4% мужчин старше 50 лет [1, С. 415].

В Российской Федерации в группу потенциального риска, связанного с ОП низкоэнергетических переломов входят 24% (около 34 млн.) жителей и около 10% (14 млн.) могут иметь ОП как заболевание [2]. С учетом прогнозируемого роста продолжительности жизни в России к 2035 г. у мужчин число случаев перелома проксимального отдела бедренной кости вырастет на 36%, у женщин – на 43% [1, С. 395].

В клинической практике диагностика ОП основывается на определении предшествующих патологических ОП переломов, высокому 10-ти летнему риску ОП переломов, оцененных с помощью инструмента FRAX и низкой МПК ($T < -2,5 SD$) по данным денситометрии [3, С. 404].

Выявление пациентов по данным, имеющим данные риски, лежит в основе механизмов скрининга ОП.

Несмотря на многочисленные рекомендации по организации скрининга отсутствует единая, сбалансированная по эффективности и затратам, система подходов к мониторингу состояния костной ткани с целью предотвращения развития неблагоприятных исходов для большинства населения.

Цель исследования: представить обзор существующих методов диагностики ОП, предложить оптимальную модель скрининговых мероприятий, основанную на оценке медико-экономической эффективности.



Современные подходы к лучевой диагностике остеопороза

Для диагностики ОП используются лучевые методики диагностики в двух направлениях: 1) непосредственная визуализация свершившихся НЭ переломов с помощью различных методов; 2) оценка снижения минеральной плотности кости по данным лучевых методов исследований – костная денситометрия [1].

Если патологические НЭ переломы дистальных отделов лучевой кости, шейки и проксимального отдела бедра проявляются прежде всего клинически – болевым синдромом, деформацией конечности и ограничением подвижности, то патологические компрессионные переломы тел позвонков протекают зачастую бессимптомно и проявляются изменением осанки и снижением роста пациента. Между тем, диагностика компрессионного перелома (КП) позвонков важна, поскольку соответствует тяжелому ОП и повышает риск возникновения последующего КП в 5 раз, проксимального отдела бедра – в 2,8 раз и иных низкоэнергетических переломов – в 1,9 раз [12, С. 824]. Существует недооценка данной патологии при описании результатов выполненных исследований. Только 13%–16% КП указываются корректно при интерпретации КТ-данных [13, С. 181]. При своевременном выявлении КП дальнейшее развитие заболевания может быть предотвращено путем назначения антирезорбтивной и анаболической терапии [1, С. 415].

Автоматическое распознавание низкоэнергетических переломов

Компрессионные переломы могут быть выявлены при оппортунистическом скрининге по данным КТ органов грудной клетки (КТ ОГК) и брюшной полости. Общее число выполняемых исследований органов грудной клетки достаточно велико. Например, в разгар пандемии COVID-19 в Москве за 3 месяца КТ ОГК были выполнены 93800 пациентам обоих полов старше 50 лет. Учитывая популяционные данные, из них оценочно – 29300 пациентов с признаками ОП.

В литературе описаны подходы автоматической детекции КП по результатам лучевых исследований разной модальности: денситометрии в боковой проекции [14], компьютерной томографии [15]. Данные подходы основаны на сверточных нейронных сетях (Convolutional Neuronal Network, CNN). В ГБУЗ НПКЦ ДиТ ДЗМ совместно со Сколковским институтом науки и технологий (Сколтех) был разработан двухэтапный алгоритм определения компрессионных переломов тел грудных и поясничных позвонков. Разработанный алгоритм позволяет получить результаты, высоко

коррелирующие с разметкой экспертами. Точность сегментации отдельных позвонков составляет 99%, Согласованность результатов измерений между семью разметчиками, рассчитанная как средний коэффициент вариации по всем разметчикам, составила 3%; средняя абсолютная погрешность измерений была равна 0,6 мм, что приближается к приборной погрешности 0,5 мм. Определение компрессионных переломов хорошо согласовано с данными экспертной разметки (AUC ROC-кривой при определении пациентов с КП составляет 0,93) [15, С. 1].

Данные методы весьма привлекательны для использования при организации скрининговых мероприятий.

Оценка снижения минеральной плотности кости по данным лучевых методов исследований

В настоящее время для диагностики ОП используются две основные рентгеновские методики: двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) и количественная компьютерная томография (ККТ) [1, С. 41]. «Золотым стандартом» диагностики ОП является ДРА [16, С. 178]. В ходе денситометрических исследований осуществляется сравнение полученных данных МПК с нормальной пиковой костной массой (Т-критерий), т.е. со средним значением для того возраста, в котором МПК в данном участке скелета достигает максимума в молодом возрасте (20–30 лет). Результат сравнения представляется в стандартном отклонении (SD) и в процентах к соответствующей норме [3, С. 7]. При этом диагноз ОП может быть поставлен при снижении МПК по Т-критерию менее – 2,5 SD (относительно показателей здоровых молодых женщин) хотя бы в одном из регионов центральной денситометрии (позвоночник, шейка бедра, «все бедро») [1, С. 17].

В Москве в подчинении Департамента Здравоохранения города находятся 49 ДРА-сканеров. На 2019 год 11 ДРА-сканеров было размещено в стационарах и 38 – в поликлиническом звене, при этом было выполнено 93439 исследований. Расчетное количество денситометрических исследований для реализации скрининговых мероприятий по ранней диагностике остеопороза составляет 158 тысяч ДРА исследований в год (из расчета – проведение исследования 1 раз в 3 года для женского населения старше 65 лет). Учитывая существенно большую потребность в данном виде исследований, возможно привлечение данных КТ-денситометрии, выполненных как по показаниям, так и в режиме оппортунистического скрининга.





ККТ-исследования могут выполняться синхронно – сканирование пациентов производится одновременно с фантомом, и асинхронно – сканирование пациента без фантома [16, С. 179, 181]. Асинхронное сканирование, помимо упрощения технологии исследования (отсутствие фантома рядом с пациентом), позволяет проводить внеплановое, ретроспективное измерение МПК по результатам ранее проведенного КТ-сканирования по другим, не связанным с ОП показателям (оппортунистический скрининг). Это позволяет повысить выявляемость ОП [18, С. 2]. Вместе с тем методика асинхронной ККТ подразумевает ежемесячную калибровку с использованием специального фантома, в соответствии с инструкцией по эксплуатации фирмы-производителя компьютерного томографа.

Широкое применение КТ в современной медицинской практике предлагает по-новому взглянуть на данную методику как одну из основ скрининга ОП. Общее количество выполненных КТ-исследований за 2019 год (до пандемии Covid-19), доступных для определения МПК – 70700 у пациентов старше 60 лет. Это лишь на 24% менее общего количества денситометрических исследований. При исследовании позвоночника определяется объемная МПК, снижение которой ниже пороговых значений позволяют заподозрить ОП [19, С. 2].

В оппортунистическом скрининге могут использоваться методы, усиливающие предсказательную силу простой оценки МПК – методика текстурного анализа, при которой с помощью различных алгоритмов изучается текстура изображения тела позвонка, оценивается однородность распределения минеральной плотности в объеме позвонка, при этом точность предсказания КП возрастает до 0,88 ROC AUC по сравнению с 0,63 при оценке только по МПК [20–21]. Также предполагается виртуальная оценка механической прочности кости по данным ККТ, что также предполагает сделать результаты скрининга определения рисков переломов более надежными [22, С. 2]. Однако эти методики пока недоступны для клинического использования.

Сравнение ККТ и ДРА

В официальной позиции Международной ассоциации клинической денситометрии (ISCN) [17] отмечается, что Т-критерий оценки МПК для шейки бедра и бедра в целом, рассчитанный по двумерной проекции ККТ, эквивалентен соответствующему Т-критерию ДРА для постановки диагноза ОП, согласно рекомендациям ВОЗ [4, С. 53]. И если для определения снижения МПК тел позвонков позволяет

заподозрить ОП, но не диагностировать его, то сканирование проксимального отдела бедра позволяет установить диагноз ОП непосредственно по данным ККТ.

В ходе проведенной работы получены результаты пилотного проекта, целью которого являлось сравнение методов измерения МПК асинхронной ККТ, в режиме со сниженной дозовой нагрузкой, и ДРА, с узковерным пучком, для подтверждения гипотезы о сопоставимости измерений. Анализировались регионы – шейка бедра и «все бедро», поскольку для позвоночника методы предоставляют разные показатели. В исследовании участвовали 40 женщин и 6 мужчин. Сравнительный анализ ДРА и ККТ проводился с оценкой коэффициента корреляции Пирсона (r) и метода Блэнда-Альтмана. Данные, полученные при сравнении ККТ и ДРА, продемонстрировали высокую корреляцию. Так, для проекционной МПК и Т-критерия в шейке бедра коэффициент корреляции Пирсона был равен 0,93 ($p < 0,05$). Результаты проведенного исследования свидетельствуют о высокой сопоставимости методов и говорят о возможности применения метода ККТ с целью раннего выявления пациентов со сниженным значением МПК.

Расчет вероятности переломов по известным факторам риска

Помимо методов визуализации, задачей которых является визуализация переломов и раннее выявление пациентов, подверженных риску НЭ переломов, применяются методики анкетирования пациентов с оценкой других хорошо изученных факторов риска развития ОП [1, С. 23].

Известно, что вероятность перелома зависит от возраста, образа жизни, наличия сопутствующих патологий и ожидаемой продолжительности жизни. Согласно рекомендациям Международной ассоциации по остеопорозу и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), вероятность перелома, обусловленного повышенной хрупкостью костей, должна выражаться в виде оценки краткосрочного абсолютного риска (вероятности события за 10-летний период времени) [24, С. 1]. Для оценки абсолютного риска переломов поясничного отдела позвоночника или проксимального отдела бедренной кости, было создано несколько математических моделей. Наиболее известная – «Fracture Risk Assessment Tool – FRAX» (Sheffield, UK), одобренная ВОЗ в 2008 г. Начиная с 2013 года, показатель проекционной МПК шейки бедра, рассчитанный по данным ККТ, также включен в инструмент оценки риска переломов FRAX [25, С. 4].



Обзор экономических моделей с целью обоснования скрининга остеопороза

Существуют различные подходы к оценкам медико-экономической эффективности, лечебно-диагностических мероприятий. Логистическая регрессия применяется для прогнозирования вероятности возникновения некоторого события по значениям множества признаков. [5, С. 37]. Метод нейронных сетей использует набор связанных узлов и обучается по набору организованных данных, после чего полученные весовые коэффициенты связей между «нейронами» используются для классификации набора экспериментальных данных [6]. Метод опорных векторов (SVM) по аналогии с нейронными сетями позволяет описывать и моделировать нелинейные и сложные системы и процессы [7, С. 8]. Метод «случайного леса» является совокупностью нескольких деревьев решений, с принудительным занижением сложности системы во избежание чрезмерного переобучения [8, С. 251].

Для моделирования заболеваемости ОП и оценки эффективности скрининговых мероприятий известна Шведская модель управления заболеваемостью, в которой в соответствии с Марковским свойством вероятно оценивается переход из одного состояния в другое [26], сообразно с предположением о том, что будущее состояние костной ткани зависит от ее текущего состояния и не зависит от событий, которые предшествовали этому. В данной модели состояние здоровья пациентов по отношению к ОП подразделяется на 4 когорты: хорошее (первоначальное для всех пациентов), единичный перелом определенной локализации, повторный перелом определенной локализации, смерть от осложнений заболеваний, связанных с ОП (рис. 1). Шведскую модель адаптировали в Великобритании, где ежегодно учитывали число женщин, перенесших первый низкоэнергетический перелом, отдельно для каждого возраста в интервале от 50 до 100 лет. Каждую из возрастных групп оценивали в модели по четырем отмеченным выше состояниям. Поскольку большинство летальных исходов на фоне перенесенных низкоэнергетических переломов происходит в течение 3–6 месяцев, в модели учитывались летальные исходы в течение 6 месяцев после перелома. В последующем периоде высокая смертность, из-за многочисленных сопутствующих ОП заболеваний, в группе, где наблюдались переломы, оценивалась путем сравнения с общей смертностью в соответствующей популяции [27, С. 238].

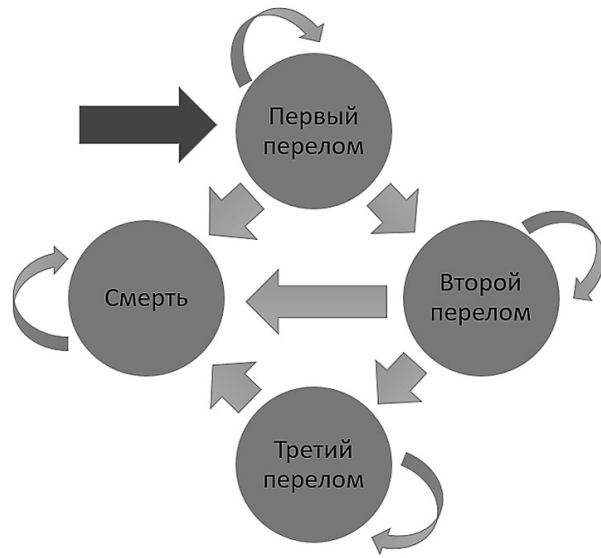


Рис. 1. Структура модели, представленная в работе [27]

Помимо этого, в данную модель были включены два показателя эффективности профилактики и лечения: общее количество лет жизни и количество лет жизни, с учетом ее качества (QALY- quality-adjusted life year). Показатель QALY является более актуальным, как отражающий увеличение или потерю определенного количества лет активной жизни, что позволяет сравнить эффективность тех или иных медицинских вмешательств, проводимых по поводу заболевания [11, 28].

Затраты на перелом в данной модели разделяли на острые затраты, которые возникают в первый год после перелома, и долгосрочные затраты, которые сохранялись несколько лет после перелома или даже в течение оставшейся части жизни пациента. Модель наиболее экономически эффективна для группы населения от 50 до 65 лет [28, С. 10].

Данная модель наиболее полно отражает контроль заболеваемости ОП, однако для отечественного здравоохранения ограниченно применима ввиду сложностей с опросником QALY и необходимости большего.

В ходе исследований, проведенных в Гонконге, были представлены наиболее эффективные модели скрининговых мероприятий по диагностике и лечению ОП, основанные на принципах «дерева принятия решений». Главной задачей исследователей являлась оценка продолжительности жизни с учетом ее качества по соответствующей концепции QALY при использовании различных методов диагностики





ОП, с последующей терапией на протяжении 5 лет, в сравнении с моделью при отсутствии скрининга. Стратегии скрининга подразделялись на: ДРА без предварительного анкетирования и ДРА с предварительным анкетированием по FRAX, или с помощью КУЗ сканирования пяточной кости. Скрининговая модель с анкетированием по FRAX с последующей денситометрией при среднем риске перелома, на основании оценки показателя QALY, оказалась наиболее экономически эффективной для группы населения старше 65 лет [29, С. 2–3].

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что проведение популяционного скрининга, особенно с дополнительным тестированием, экономически более выгодно, чем отсутствие такого скрининга (иными словами – общая стоимость затрат на проведение скрининга, профилактики и лечения ОП существенно меньше затрат на лечение ОП при полном отсутствии скрининга). При этом, наиболее рентабельным является проведение скрининга по результатам предварительной оценки риска низкоэнергетических переломов по FRAX.

Экономическое обоснование моделей скрининга на примере города Москвы

Наиболее значимым клиническим осложнением ОП является низкоэнергетический перелом, который сопровождается высокими расходами на его лечение. Медицинские и сопутствующие расходы на лечение и реабилитацию пациентов с низкоэнергетическими переломами вследствие ОП в России ориентировочно составляют 25 млрд. рублей, при этом затраты на лечение самого ОП в общей структуре стоимости

составляют около 7% [9, С. 158]. Необходимость скрининга ОП обоснована у женщин старше 65 лет (ISC2019, NOF 2014, NICE2017). Относительно мужской популяции мнения сообществ различны и включают нижнюю границу от 70 лет (ISC2019, NOF 2014) и 75 лет (NICE2017) [17].

Таким образом, денситометрия должна проводиться по показаниям женщинам старше 65 лет и мужчинам старше 70 лет, а также в группах риска, что составляет около 1,5 млн. чел. в Москве. Однако, при наличии нескольких методик исследований, по-прежнему отсутствует единый подход к диагностике ОП и оценке риска низкоэнергетических переломов. Представляется важным создать единую для врачей различных специализаций систему подхода к профилактике, диагностике ОП, его лечению, включая контроль его эффективности.

Анализ показателей медико-экономической эффективности различных подходов к диагностике и лечению ОП на примере мегаполиса Москвы отражен в *таблице 1*. Представлены данные для переломов проксимального отдела бедра – наиболее тяжелых с клинической точки зрения и затратных для здравоохранения. При проведении расчетов использованы тарифы общего медицинского страхования (ОМС) для денситометрии (ДРА или ККТ), а также стоимости первичного и повторного приемов врачей клиницистов: ревматологов, травматологов, гинекологов, эндокринологов, по тарифному соглашению МГФОМС на 2020 год. Оценка количества переломов пересчитана в соответствии с возрастно-половым составом жителей Москвы и ранее опубликованными данными для Екатеринбурга [10, С. 36]. Также оценена средняя стоимость лечения бисфосфонатами (алендроновая

Таблица 1

Показатели медико-экономической эффективности подходов к диагностике и лечению ОП

Сценарии контроля и лечения ОП Старше 65 лет Перелом проксимального отдела бедренной кости	Стоимость диагностики (ККТ, ДРА), млн. руб/год	Стоимость профилактики, млн. руб/год	Стоимость лечения переломов, млн. руб/год	Общие затраты, млн. руб/год	Доля предотвращенных переломов, %
Без диагностики и профилактики	-	-	1 452	1 452	0
Идеальная диагностика и профилактика	16	99	638	754	56%
Популяционный диагностический скрининг и профилактика	514	2 225	638	3 378	56%
Анкетирование, скрининг и профилактика	216	658	639	1 513	56% (8033 в год)



кислота) в стандартной дозировке 70 мг/нед. Доля предотвращенных переломов проксимального отдела бедренной кости скорректирована до 56% [30, С. 143], что в абсолютном выражении составляет около 8,033 тыс. ежегодно.

Первая строка описывает наиболее неблагоприятную стратегию без раннего выявления ОП методами лучевой диагностики, без проведения анкетирования по FRAX и без профилактического лечения. При этом основные затраты обусловлены лечением ОП переломов. Это недопустимый этически вариант, помимо того предполагающий существенные не прямые расходы по дальнейшему уходу за данными пациентами, не включенные в данные расчеты. Вторая строка описывает «идеальную ситуацию», когда денситометрия проводится пациентам только по показаниям после проведенного анкетирования по FRAX, (около 43%), а всем лицам с диагностированным ОП назначается адекватная профилактическая терапия бисфосфонатами, что предотвращает развитие переломов с известной вероятностью [10, С. 35]. Тогда расходы на лечение низкоэнергетических переломов составят 0,638 млрд. рублей, при этом суммарные затраты на диагностику и профилактическое лечение – 99 млн. Это наименее затратная стратегия, но она недостижима ввиду заведомо некорректной постановки задачи. Наиболее затратная стратегия, отраженная в 3-й строке – проведение скрининга с помощью лучевых методов и назначение лечения без подготовительного анкетирования.

Наконец оптимальным можно назвать четвертый вариант, в который включен скрининг с помощью лучевых методов после проведения анкетирования по FRAX и с назначением антирезорбтивной терапии пациентам с диагнозом ОП и высоким уровнем риска переломов, определенных по FRAX. При свершившихся переломах проводится своевременное хирургическое лечение. Следует отметить, что сумма расходов при данной стратегии лишь незначительно превышает сумму затрат на прямые

расходы по лечению ОП переломов проксимального отдела бедренной кости, при этом возможна существенная экономия на не прямых затратах и повышению качества жизни за счет предотвращенных переломов. Также следует отметить, что помимо 56% предотвращенных патологических переломов проксимального отдела бедра (8033 в год) данная стратегия позволяет предотвратить до 50% переломов дистального отдела костей предплечья (8135) и позвонков (18327), что в суммарном выражении составляет 34 495 предотвращенных переломов всех локализаций. Такая стратегия представляется наиболее выгодной.

Однако, такая модель потребует внедрения в повседневную практику новых организационных подходов к оказанию медицинской помощи, включая первичное звено с вовлечением соответствующих врачей-клиницистов (врачей общей практики, терапевтов, ревматологов, эндокринологов, травматологов-ортопедов и других).

Заключение

Проведенный анализ методов диагностики остеопороза и моделей скрининга данного заболевания показал экономическую эффективность модели с проведением анкетирования по FRAX пациентам старше 50 лет с последующим выполнением денситометрических исследований (что по предварительным оценкам составит около 43% анкетированных пациентов). Своевременно назначенное антирезорбтивное лечение позволит предотвратить до 56% случаев патологических низкоэнергетических переломов проксимального отдела бедренной кости и до 50% переломов других локализаций ежегодно. При сохранении существующих показателей финансирования, будет достигнуто существенное улучшение качества жизни пациентов из групп риска.

Публикация подготовлена при поддержке Гранта РФФИ 20-015-00260.



Литература

1. Мельниченко Г.А., Белая Ж.Е., Рожинская Л.Я., Торопцова Н.В., Алексеева Л.И., Бирюкова Е.В. и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // Проблемы эндокринологии. – 2017. – № 6 (63). – С. 392–426. <https://doi.org/10.14341/probl2017636392-426>
2. Лесняк О.М., Норой Л. Аудит состояния проблемы остеопороза в Странах Восточной Европы и Центральной Азии. 2010–2011. – С. 1–68.
3. Скрипникова И.А., Щеплягина Л.А., Новиков В.Е., Косматова О.В., Абирова А.С. Возможности костной рентгеновской денситометрии в клинической практике (Методические рекомендации). – 2015. – С. 1–36.





4. *Петрайкин А.В., Сергунова К.А., Петрайкин Ф.А., Ахмад Е.С., Семенов Д.С., Владзимирский А.В. и др.* Рентгеновская денситометрия, вопросы стандартизации (Обзор литературы и экспериментальные данные) // Радиология-практика. – 2018. – № 1 (67). – С. 50–62.
5. *Григорьев С.Г., Лобзин Ю.В., Скрипченко Н.В.* Роль и место логистической регрессии и ROC-анализа в решении медицинских диагностических задач // Журнал инфектологии. – 2016. – № 4(8). – С. 36–45. <https://doi.org/10.22625/2072-6732-2016-8-4-36-45>
6. *Волчек Ю.А., Шишко О.Н., Спиридонова О.С., Мохорт Т.В.* Положение модели искусственной нейронной сети в медицинских экспертных системах // Медицинские науки. – 2017. – № 9. – С. 4–9. <https://doi.org/10.15643/jscientia.2017.9.001>
7. *Тараник М.А., Копаница Г.Д.* Анализ задач и методов построения интеллектуальных медицинских систем // Врач и информационные технологии. – 2014. – № 3. – С. 6–12.
8. *Баширов А.Н., Воронов В.И.* Прогнозирование вероятности возникновения бронхиальной астмы у детей с применением алгоритма случайного леса // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 12 (часть 2). – С. 249–255. <https://doi.org/10.17513/snt.37867>
9. *Лесняк О.М., Баранова И.А., Белова К.Ю., Гладков Е.Н., Евстигнеев Л.П., Ершова О.Б. и др.* Остеопороз в Российской Федерации: эпидемиология, социально-медицинские и экономические аспекты (Обзор литературы) // Травматология и ортопедия России. – 2018. – № 1(24). – С. 155–168. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-1-155-168>
10. *Михайлова Д.О., Лесняк О.М., Садовников А.Г.* Сравнительный фармако-экономический анализ различных видов медикаментозного лечения остеопороза у женщин старших возрастных групп (Марковское моделирование) // Научно-практическая ревматология. – 2006. – № 3. – С. 33–38.
11. *Kanis J.A.* Assessment of osteoporosis at the primary health care level // World Health – 2007–339 p.
12. *Black D.M., Arden N.K., Palermo L., Pearson J., Cumming S.R.* Prevalent vertebral deformities predict hip fractures and new vertebral deformities but not wrist fractures // J. Bone Miner. Res. – 1999. – № 14(5). – P. 821–828. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1999.14.5.821>
13. *Williams A.L., Al-Busaidi A., Sparrow P.J., Adams J.E., Whitehouse R.W.* Under-reporting of osteoporotic vertebral fractures on computed tomography // European journal of radiology. – 2009. – № 69(1). – P. 179–183. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2007.08.028>
14. *Derkatch S., Kirby C., Kimelman D., Jozani M.J., Davidson J.M., Leslie W.D.* Identification of vertebral fractures by convolutional neural networks to predict nonvertebral and hip fractures: A Registry-based Cohort Study of Dual X-ray Absorptiometry // Radiology. – 2019. – № 2(293). – P. 404–411. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019190201>
15. *Pisov M., Kondratenko V., Zakharov A., Petraikin A., Gombolevskiy V., Morozov S. et al.* Keypoints Localization for Joint Vertebra Detection and Fracture Severity Quantification // MICCAI 2020: Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention. – 2020. – P. 723–732. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59725-2_70
16. *Brett A.D., Brown J.K.* Quantitative computed tomography and opportunistic bone density screening by dual use of computed tomography scans // J. Orthop. Transl. Elsevier Ltd. – 2015. – № 4 (3). – P. 178–184.
17. 2019 ISCD Official Positions – Adult – International Society for Clinical Densitometry (ISCD) [Электронный ресурс].
18. *Wang L., Su Y., Wang Q., Duanmu Y., Yang M., Yi C. et al.* Validation of asynchronous quantitative bone densitometry of the spine: Accuracy, short-term reproducibility, and a comparison with conventional quantitative computed tomography. // Sci. Rep. Nature Publishing Group. – 2017. – № 1(7). – P. 6284. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06608-y>
19. *Brown J.K., Timm W., Bodeen G., Chason A., Perry M., Vernacchia F. et al.* Asynchronously Calibrated Quantitative Bone Densitometry // J Clin Densitom. – 2015–20(2). – P. 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2015.11.001>
20. *Valentinitich A., Trebeschi S., Kaesmacher J., Lorenz C., Löffler M.T., Zimmer C. et al.* Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures // Osteoporos. Int. Springer London. – 2019. – № 6(30). – P. 1275–1285. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>
21. *Valentinitich A., Trebeschi S., Alarcyn E., Baumet T., Kaesmacher J., Zimmer C. et al.* Regional analysis of age-related local bone loss in the spine of a healthy population using 3D voxel-based modeling // Bone. Elsevier Inc. – 2017–103. – P. 233–240. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2017.06.013>
22. *Agten C.A., Ramme A.J., Kang S., Honig S., Chang G.* HEALTH POLICY AND PRACTICE: Cost-effectiveness of Virtual Bone strength Testing in Osteoporosis screening Programs for Postmenopausal Women in the United states // Radiol. n Radiol. – 2017. – № 285 (2). – P. 506–517. <https://doi.org/10.1148/radiol.2017161259>
23. *Link T.M.* Osteoporosis Imaging: State of the Art and Advanced Imaging // Radiology – 2012 – № 1(263) – P. 3–17. <https://doi.org/10.1148/radiol.12110462>
24. *Kanis J.A., Glüer C.C.* An update on the diagnosis and assessment of osteoporosis with densitometry. Committee of Scientific Advisors, International Osteoporosis Foundation. // Osteoporos. Int. – 2000. <https://doi.org/10.1007/s001980050281>
25. *Ziemlewicz T.J., Binkley N., Pickhardt P.J.* Opportunistic Osteoporosis Screening: Addition of Quantitative CT Bone Mineral Density Evaluation to CT Colonography // JAm. Coll. Radiol. Elsevier. – 2015. – № 10(12). – P. 1036–1041. <https://doi.org/10.1007/s00198-019-04910-1>



26. Rabiner L.R., Juang B.H. An Introduction to Hidden Markov Models // IEEE ASSP Mag. – 1986. – № 1(3). – P. 4–16. <https://doi.org/10.1002/0471250953.bia03as18>
27. Gauthier A., Kanis J.A., Jiang Y., Martin M., Compston J.E., Borgström F. et al. Epidemiological burden of postmenopausal osteoporosis in the UK from 2010 to 2021: Estimations from a disease model // Arch. Osteoporos. – 2011. – № 1–2 (6). – P. 179–188. <https://doi.org/10.1007/s11657-011-0063-y>
28. Ström O., Zethraeus N., Borgström F., Johnell O., Jönsson B., Kanis J. C Cost-effectiveness model for Sweden // Eur. Heal. Econ – 2006.
29. Su Y., Lai F.T.T., Yip B.H.K., Leung J.C.S., Kwok T.C.Y. Cost-effectiveness of osteoporosis screening strategies for hip fracture prevention in older Chinese people: a decision tree modeling study in the Mr. OS and Ms. OS cohort in Hong Kong // Osteoporos. Int. Springer London. – 2018. – № 8(29). – P. 1793–1805. <https://doi.org/10.1007/s00198-018-4543-4>
30. Ершова О.Б. Применение алендроната в терапии остеопороза. // Медицинский совет. – 2019. – № 21. – С. 142–146. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-21-142-146>

UDC 616.71

Petraikin A.V., Artyukova Z.R., Nisovtsova L.A., Urintsov A.I., Sorokin A.S., Akhmad E.S., Semenov D.S., Sergunova K.A., Babkin V.A., Vasilev Yu.A., Vladzimirskyy A.V., Morozov S.P. **Analysis of the effectiveness of implementing screening of osteoporosis** (Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia; Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia)

Abstract. Osteoporosis is defined as a systemic skeletal disease characterized by low mineral bone mass and microarchitectural deterioration of bone tissue. This consequently increases bone fragility and susceptibility to fracture.

Osteoporosis affects every third woman and every fourth man over 50 years old. Osteoporosis is a heavy burden for the health care of the Russian Federation, defined as RUB25 billion annually. Up to 31% of women and 4% of men over 50 years of age need special therapy for prevents the destruction of bone tissue. Identification of these risk groups allows early treatment and prevention of pathological fractures.

The paper analyzes modern approaches to the diagnosis of osteoporosis. An overview of diagnostic methods is given, including artificial intelligence technologies for recognizing low-energy vertebral fractures, as well as methods of routine dual-energy absorptiometry DXA. CT bone densitometry technic (QCT) are also discussed. The principle of the FRAX tool is presented to identify patients at high risk of low-energy fractures, as well as to determine the groups of patients in need of densitometric studies.

Various models of osteoporosis screening are analyzed, with an assessment of their medical and economic efficiency. The economic substantiation of the most effective strategy – conducting a questionnaire on FRAX followed by densitometric studies is presented. This will prevent more than 50% of low energy fractures without increasing costs. These efforts are aimed at increasing quality of life old population. This will contribute to the achievement of the targets set in the national project “Demography”.

Keywords: osteoporosis, bone mineral density, quantitative computed tomography, dual-energy x-ray absorptiometry, economic model.

