

## Опportunистический скрининг остеопороза с использованием сервисов искусственного интеллекта

З.Р. Артюкова<sup>1</sup>, Н.Д. Кудрявцев<sup>1</sup>, А.В. Петрайкин<sup>1</sup>, Д.С. Семёнов<sup>1</sup>,  
А.В. Владзимирский<sup>1,2</sup>, Ю.А. Васильев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Россия

### Аннотация

**Обоснование.** В настоящее время активно внедряется подход к диагностике остеопороза (ОП), основанный на рутинных КТ-исследованиях, при которых можно определить признаки ОП. Учитывая проблему гиподиагностики компрессионных переломов (КП) по данным КТ-исследований, предлагается использовать сервисы искусственного интеллекта (ИИ-сервисы) в качестве помощника для врача-рентгенолога.

**Цель.** Оценить возможность практического применения ИИ-сервисов в диагностике ОП по данным рутинных исследований КТ для реализации опportunистического скрининга.

**Материалы и методы.** В проекте приняли участие три медицинские организации (МО). Были отобраны КТ-исследования органов грудной клетки (у пациентов >50 лет), выполненные в данных МО в период с октября 2022 по октябрь 2023 года, у которых по данным ИИ-сервисов определили наличие признаков ОП (КП и/или снижение рентгеновской плотности тел позвонков). Каждый случай был повторно пересмотрен врачами-рентгенологами на наличие ошибок сервиса. В МО лечащему врачу был направлен итоговый список пациентов, которым необходимо пройти исследование методом двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии (ДРА) для подтверждения диагноза «остеопороз».

**Результаты.** За 12 месяцев ИИ-сервисами было проанализировано 5394 КТ-исследования. У 1125 пациентов были выявлены КП и/или снижение рентгеновской плотности тел позвонков. Были исключены пациенты с ранее установленным диагнозом «остеопороз»; пациенты, которые отказались или не смогли пройти дообследования. ДРА прошли 66 пациентов. Возраст пациентов имел размах от 54 до 86 лет; медиана (Q1-Q3) — 70 (62–74), соотношение мужчин и женщин составило 21 и 79%. По данным ДРА у 26 (39,4%) обследованных пациентов были выявлены показатели минеральной плотности кости (МПК), которые соответствуют ОП, у 37 (56,1%) — остеопении, и у 3 (4,5%) – норма. Были рассчитаны метрики точности методик ДРА и оценка рентгеновской плотности костной ткани по КТ: чувствительность — 0,71 и 0,91; специфичность — 0,80 и 0,55; точность — 0,76 и 0,67. Продемонстрированы статистически значимые различия состояний

«остеопороз/остеопения/норма» и принадлежности пациентов к группе «возрастной нормы» и группы пациентов, выделенные сервисами ИИ (при  $p < 0,001$ ).

**Заключение.** Полученные результаты исследования свидетельствуют о целесообразности использования ИИ-сервисов для диагностики ОП по данным рутинных КТ-исследований в качестве компонента оппортунистического скрининга.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** остеопороз; искусственный интеллект; компьютерная томография; компрессионные переломы; оппортунистический скрининг.

### Как цитировать:

Артюкова З.Р., Кудрявцев Н.Д., Петрайкин А.В., Семёнов Д.С., Владимирский А.В., Васильев Ю.А. Оппортунистический скрининг остеопороза с использованием сервисов искусственного интеллекта // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2025. Т. 32, № 2. С. XXX–XXX. DOI: 10.17816/vto634918 EDN: ptviqu

Рукопись получена: 19.08.2024

Рукопись одобрена: 08.10.2024

Опубликована online: 26.05.2025

## Opportunistic screening of osteoporosis using artificial intelligence services

Zlata R. Artyukova<sup>1</sup>, Nikita D. Kudryavtsev<sup>1</sup>, Alexey V. Petraikin<sup>1</sup>,  
Anton V. Vladzimirskyy<sup>1,2</sup>, Yuriy A. Vasilev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia;

<sup>2</sup> Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University), Moscow, Russia

### ABSTRACT

**BACKGROUND:** An approach to the diagnosis of osteoporosis (OP) based on CT scans examination is being implemented. When performing CT scans, the signs of OP can be detected. There is a problem with underdiagnosing compression fractures (CFs) using CT scans. It is recommended to use artificial intelligence (AI-service) radiologist's assistant.

**AIM:** To evaluate a possibility of the application of artificial intelligence services into a practice of the diagnosis of OP based on routine CT scans to implement opportunistic screening.

**MATERIALS AND METHODS:** Three medical facilities (MF) participated in the project. We selected chest CT of patients over 50 years old, for whom AI services identified signs of OP (compression fractures (CFs) and/or decreased X-ray density of vertebral bodies) which were performed for the period from October 2022 to October 2023. They were subsequently validated by radiologists for the presence of target pathology. A final list of patients, who needed to undergo dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) to confirm the diagnosis of OP, was sent to the attending physician at the MF.

**RESULTS:** 5,394 CT studies were analyzed by AI services in 12 months. CFs and/or decreased X-ray density of vertebral bodies were detected in 1125 patients. Patients with a previous diagnosis of OP, as well as who refused or could not attend the additional examination were excluded. 66 patients underwent DXA. The patients' age ranged from 54 to 86 (median age was 70 (62–74), male to female ratio was 21%; 79%. According to DXA, 26 (39.4%) of the examined patients had bone mineral density (BMD) indicators corresponded to OP, in 37 patients (56.1%) BMD indicators corresponded to osteopenia, and only in three (4.54%) — BMD indicators corresponded to the norm. The accuracy metrics of the DXA methods and the assessment of X—ray density of vertebral bodies by CT were calculated: sensitivity – 0.71 and 0.91; specificity — 0.80 and 0.55; accuracy — 0.76 and 0.67. Statistically significant differences between different conditions and belonging of patients to the group of “age norm” and the group of patients allocated by AI services were demonstrated ( $p < 0.001$ ).

**CONCLUSIONS:** The obtained study results indicate the expediency of using AI services for the diagnosis of OP based on routine CT scans as a component of opportunistic screening.

**KEYWORDS:** osteoporosis; artificial intelligence; computed tomography; compression fractures; opportunistic screening.

**To cite this article:**

Artyukova ZR, Kudryavtsev ND, Petraikin AV, Semenov DS, Vladzimirsky AA, Vasilev YA. Opportunistic screening of osteoporosis using artificial intelligence services. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2025;32(2):XXX–XXX. DOI: [10.17816/vto634918](https://doi.org/10.17816/vto634918) EDN: ptviqu

**Received:** 19.08.2024

**Accepted:** 08.10.2024

**Published online:** 26.05.2025

Accepted for publication

## ОБОСНОВАНИЕ

Остеопороз (ОП) — метаболическое заболевание, которое характеризуется снижением минеральной плотности и нарушением микроархитектоники костной ткани. Зачастую ОП проходит безболезненно и диагностируется на стадии возникновения осложнений — переломов при минимальной травме [1].

Методом выбора — золотым стандартом инструментальной диагностики ОП является двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия (ДРА) [1, 2]. Данный метод предназначен для измерения минеральной плотности кости (МПК) в поясничном отделе позвоночника (ПОП) и проксимальном отделе бедра (ПОБ) [3]. У женщин в постменопаузальном возрасте и мужчин старше 50 лет диагноз «остеопороз» устанавливается при значении T-критерия менее -2,5 стандартных отклонений. ДРА выполняется в группах риска ОП и у пожилых пациентов (женщины старше 65 лет, мужчины старше 70 лет) по назначению лечащего врача, при этом подчёркивается, что скрининг с помощью данного метода экономически нецелесообразен [1]. У ДРА существуют недостатки и диагностические ограничения, которые могут привести к ложноотрицательным результатам у пациентов с компрессионными переломами (КП). Также данный метод чувствителен к выраженным дегенеративным изменениям, что влечёт за собой завышение МПК и влияет на правильность трактовки исследования [4]. Из-за недостатков, связанных с методом ДРА, и того, что он применяется лишь ограниченной группе лиц, исследуются альтернативные способы ранней диагностики ОП.

На сегодняшний день рассматривается подход к диагностике ОП по данным рутинных рентгенологических исследований, выполненных по другим показаниям. Так, при выполнении компьютерной томографии (КТ) органов грудной клетки (ОГК) и органов брюшной полости (ОБП) можно определить один из признаков ОП — наличие КП тел позвонков [3]. Однако существует проблема гиподиагностики КП по данным рутинных рентгенологических исследований, связанная, вероятнее всего, с тем, что врачи-рентгенологи концентрируются на основной цели сканирования [5, 6].

С целью минимизации пропусков КП активно изучаются возможности сервисов искусственного интеллекта (ИИ-сервисов) в анализе медицинских изображений в качестве системы поддержки принятия решений [7]. Существующие исследования свидетельствуют об эффективности их применения для выявления КП тел позвонков и определения снижения МПК по данным рутинных КТ-исследований ОГК и ОБП [8–10]. Однако, несмотря на проведённые исследования, требуется обоснование возможности использования ИИ-сервисов в качестве компонента оппортунистического скрининга ОП.

**ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ** — оценить возможность практического применения ИИ-сервисов в ранней диагностике ОП по данным рутинных КТ-исследований для реализации оппортунистического скрининга.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Дизайн исследования

В рамках эксперимента по использованию инновационных технологий в области компьютерного зрения для анализа медицинских изображений и дальнейшего применения в системе здравоохранения города Москвы (далее — Эксперимент) был разработан и реализован пилотный проект по оппортунистическому скринингу ОП с помощью ИИ-сервисов [11]. Проведено многоцентровое проспективное выборочное исследование, схема которого представлена на **рис. 1**.

### Условия проведения

Результаты КТ-сканирования были получены из базы Единого радиологического информационного сервиса (ЕРИС). Томографические исследования выполняли в трёх медицинских организациях (МО), которые оказывают амбулаторно-поликлиническую помощь и подведомственны Департаменту здравоохранения города Москвы. Данные МО участвуют в Эксперименте, они подключены к комплексным ИИ-сервисам, которые проводят оценку КТ ОГК по нескольким патологиям, в том числе и по направлению «Компрессионный перелом тел позвонков (остеопороз)» [11].

В исследовании использовались два ИИ-сервиса: Chest-IRA (ООО «АЙРА Лабс») и CVL — Chest CT Complex (ООО «СиВижинЛаб»). По направлению «остеопороз» ИИ-сервисы имели следующие метрики: Chest-IRA: чувствительность — 1,0, специфичность — 0,98, точность — 0,99, площадь под ROC-кривой (AUC) — 0,99; CVL — Chest CT Complex: чувствительность — 0,98, специфичность — 0,94, точность — 0,96, площадь под ROC-кривой (AUC) — 1,0 [11].

### Критерии соответствия

Сформирован список пациентов, которым была выполнена КТ ОГК в периоде с октября 2022 по октябрь 2023 года. Далее были отобраны КТ-исследования пациентов старше 50 лет, у которых по данным работы ИИ-сервисов выявили признаки ОП: наличие КП и снижение рентгеновской плотности тел позвонков.

*Критерии не включения:* пациенты моложе 50 лет; пациенты, у которых по данным ИИ-сервисов не было выявлено признаков патологии: высота тел позвонков не снижена и рентгеновская плотность имеет нормальные значения. *Исключены из исследования* пациенты с ранее установленным диагнозом ОП; пациенты, которые отказались или не смогли пройти ДРА; пациенты, с которыми не удалось связаться.

### Продолжительность исследования

Отбор КТ-исследований проводился в период с октября 2022 по октябрь 2023 года. Маршрутизация пациентов для проведения ДРА осуществлялась в период с мая 2023 по декабрь 2023 года. Средний временной диапазон между исследованиями КТ и ДРА составил 3 месяца.

## Описание медицинского вмешательства

В соответствии с базовыми диагностическими и базовыми функциональными требованиями, которые были разработаны в ходе Эксперимента, ИИ-сервисы анализировали изображения бесконтрастного КТ-исследования [11]. Проводилась автоматическая оценка высоты тел позвонков в вентральном, среднем и дорсальном отделах с последующим расчётом степени компрессионной деформации (КД) по классификации Genant [12]. Измерялась рентгеновская плотность губчатого вещества без захвата замыкательных пластинок и кортикального слоя в вентральном отделе тел позвонков на уровне Th11–L3. Результаты работы ИИ-сервисов предоставлялись в формате текстового описания (DICOM-SR) и дополнительной серии — реконструированного сагиттального среза в виде криволинейной проекции вдоль позвоночного столба, на которой визуально отображались результаты работы ИИ-сервисов (рис. 2а).

Отобранные КТ-исследования подвергались повторному чтению врачами-рентгенологами со стажем работы не менее 5 лет на предмет наличия целевой патологии. Был сформирован список пациентов с признаками ОП, у которых по данным КТ-исследования ИИ-сервисы определили КД тел позвонков более 31%, что является оптимальным порогом для разделения на КД и КП [13]. Рентгеновская плотность у отобранных пациентов составляла менее 100 HU, что, согласно позициям ISCD 2023, является признаком ОП [2].

Информация об этой группе пациентов была направлена лечащим врачам в МО, где первоначально проводилось КТ-исследование. Лечащие врачи из МО уведомляли пациентов о наличии выявленных признаков и предлагали пройти дообследование методом ДРА с целью уточнения диагноза «остеопороз» (рис. 2б).

## Основной исход исследования

Определение состояний остеопороза, остеопении и нормы по данным МПК, определённой методом ДРА, для пациентов, у которых ИИ-сервисы выявили признаки ОП.

## Этическая экспертиза

Получено одобрение независимого этического комитета на заседании независимого этического комитета Московского регионального отделения Российского общества рентгенологов и радиологов, протокол № 10 от 17 ноября 2022 г.

## Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывался. В исследование включали все доступные исследования за период с октября 2022 по октябрь 2023 года. В данном исследовании применялись методы описательной статистики и проводился анализ таблиц сопряжённости полученных результатов с нормой в соответствии с распределением на популяцию для мужчин и женщин методом хи-квадрат при уровне значимости  $p < 0,001$ . Для статистической обработки использовалась онлайн-платформа medstatistic.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Объекты (участники) исследования

За 12 месяцев ИИ-сервисами в трёх МО было проанализировано 5394 КТ-исследования. В них участвовали 3752 пациента (69,6%) старше 50 лет. В 1125 (29,9%) случаях были выявлены признаки КП и снижения рентгеновской плотности тел позвонков. После пересмотра врачами-рентгенологами выборка составила 1091 пациента (20,2 %). Из этого количества 66 пациентов согласились пройти ДРА (см. рис. 1). Возраст пациентов, которые прошли дополнительное обследование, варьировал от 54 до 86 лет — 70 (62–74) [медиана (1-й квартиль, 3-й квартиль)], для мужчин — 69,5 (62,25–73,75), для женщин — 70 (62–74), соотношение мужчин и женщин — 21 и 79% (табл. 1).

**Таблица 1.** Описательная статистика базовых характеристик выборки

**Table 1.** Descriptive statistics of the basic characteristics of the sample

Пол	Количество пациентов	Возраст пациентов: медиана (Q1-Q3)	Процентное соотношение (%)
Мужчины и женщины	66	70 (62–74)	100
Мужчины	14	69,5 (62,25–73,75)	21
Женщины	52	70 (62–74)	79

### Основные результаты исследования

По данным ДРА у 26 (39,4 %) из общего количества обследованных пациентов были выявлены показатели МПК, которые соответствуют ОП, у 37 (56,1%) — остеопении, и только у 3 (4,5 %) — норме (рис. 3).

Большинство пациентов с ОП, по данным ДРА, были в возрасте от 70 до 80 лет. Остеопения в основном была диагностирована у пациентов в возрасте от 60 до 70 лет. Стоит отметить, что ОП был выявлен преимущественно у женщин — 24 пациентки (46,2%). В силу преобладания в выборке женщин остеопения также была выявлена главным образом у них — 26 пациенток (50,0%). У мужчин МПК в основном соответствовала остеопении — 11 пациентов (78,6 %) (рис. 4, табл. 2). Было показано, что статистически значимые различия между мужчинами и женщинами отсутствуют при  $p > 0,05$ .

Полученные показатели говорят о том, что у 40 пациентов (60,0%) не был подтвержден диагноз «остеопороз» в ходе денситометрии. Вместе с тем преимущественно у данных пациентов (56,1%) было выявлено предостеопорозное состояние. У 22 пациентов (84,6%) из 26 подтвердился диагноз «остеопороз» по ДРА до проявления осложнений в виде низкоэнергетических переломов крупных суставов.

На основе имеющейся выборки были рассчитаны показатели чувствительности и специфичности методик ДРА и оценки рентгеновской плотности костной ткани по КТ (КТ-денситометрия) для выявления компрессионных переломов. Для ДРА они оказались

следующими: чувствительность — 0,71; специфичность — 0,80; точность — 0,76; для КТ-денситометрии: чувствительность — 0,91; специфичность — 0,55; точность — 0,67.

**Таблица 2.** Распределение результатов выполненных исследований с определением состояний «остеопороз/остеопения/норма» и сравнение с данными двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии по г. Москве [14]

**Table 2.** Distribution of the results of studies performed with the definition of conditions "osteoporosis/osteopenia/norm" and with data from dual-energy X-ray absorptiometry in Moscow

Пол	Группа пациентов	Состояние		
		Остеопороз	Остеопения	Норма
Мужчины	Выявленные ИИ-сервисами значения (n=14)	2 (14,3%)	11 (78,6%)	1 (7,1 %)
	Норма в соответствии с распределением на популяцию	18,8%	48,2%	33,0%
Женщины	Выявленные ИИ-сервисами значения (n=52)	24 (46,2%)	26 (50,0%)	2 (3,85%)
	Норма в соответствии с распределением на популяцию	28,0%	52,3%	19,6%

*Примечание.* ИИ — искусственный интеллект.

*Note.* ИИ — artificial intelligence.

При анализе полученных результатов методом таблиц сопряжённости с использованием критерия хи-квадрат было статистически значимо показано, что характер распределения на признаки «остеопороз/остеопения/норма» статистически значимо отличался у группы «возрастной нормы», определённой ранее, и группы пациентов, выделенных сервисами ИИ, как для женщин, так и для мужчин ( $p < 0,001$ ) (см. табл. 2) [14].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Вследствие непрерывного развития и улучшения качества системы здравоохранения неуклонно увеличивается количество лиц пожилого и старческого возраста, что, в свою очередь, ведёт к росту числа людей с риском возникновения ОП. Так, распространённость ОП в России возросла с 2010 года на 18% и составила 40 млн человек (16 млн — с остеопорозом и 24 млн — с остеопенией) [15]. Стоит отметить, что в исследовании

в выборке пациентов преобладали женщины, что соответствует эпидемиологическим данным о распространении ОП [1, 16].

В настоящее время применяются ИИ-сервисы, которые анализируют медицинские изображения различных модальностей с целью определения КП тел позвонков. Использование данного подхода показало хорошие результаты как для рентгенографии, так и для КТ [9, 17–19]. Помимо этого, широко применяются ИИ-сервисы, которые автоматически измеряют рентгеновскую плотность тел позвонков на КТ-изображениях. Измерение рентгеновской плотности позволяет определить снижение МПК, что также является одним из признаков ОП [20, 21]. Используются также радиомические подходы для прогнозирования переломов по данным КТ-исследований [22]. Важно отметить, что отечественные ИИ-сервисы, которые были рассмотрены в нашем исследовании, не уступают зарубежным аналогам по метрикам точности и функционалу.

Продемонстрирована работа ИИ-сервисов в определении признаков ОП: наличии КП и снижении МПК. Перед тем как допустить ИИ-сервисы в Эксперимент, их подвергают нескольким этапам тестирования: самотестированию (проводится разработчиком), функциональному и калибровочному тестированию (для этих этапов подготавливаются эталонные наборы данных), этапу апробации и опытной эксплуатации (ИИ-сервисы анализируют исследования из МО) [23, 24]. Данные ИИ-сервисы работают в рамках Эксперимента более двух лет, и их метрики (ROC AUC, чувствительность, специфичность и точность) на протяжении всего времени не опускались ниже пороговых значений, что говорит об их высоких функциональных и диагностических способностях [11, 25].

Зачастую врачи-рентгенологи не указывают наличие КП в протоколах рутинных КТ-исследований. Согласно различным исследованиям, лишь в 11–17% случаев КП фиксируются в протоколах описания [5, 6]. В нашей работе (с участием 66 пациентов) врачи-рентгенологи указывали КП в протоколах описания в 33% случаев, в то время как в заключении — всего в 8%.

Следует отметить, что ранее оценивалась только эффективность применения ИИ-сервисов, работающих в Эксперименте по направлению ОП, на этапе тестирования на заранее подготовленном наборе данных, не в рамках работы в МО [11, 26, 27]. В ходе реализованного проекта у 26 пациентов (39,4%) из 66, которые обратились в МО для оказания амбулаторно-поликлинической помощи и которым была выполнена КТ ОГК, был диагностирован ОП. По данным ДРА, у жителей Москвы старше 50 лет данный показатель составляет 27,4% [14]. Важно отметить, что ранее у этих пациентов не был установлен данный диагноз. Они были направлены на проведение ДРА лечащим врачом в качестве дополнительного исследования с целью подтверждения диагноза после выявления признаков ОП ИИ-сервисами. У 37 пациентов (56,1%) было выявлено состояние остеопении, что также выше определённого ранее показателя (50,3%) [14]. Это необходимо принимать во внимание врачам-клиницистам. Следует подчеркнуть важную роль в данном исследовании лечащих врачей МО, которые направляли пациентов на дообследование для подтверждения диагноза.

Проанализированы метрики точности для двух методик диагностики остеопороза (ДРА и КТ-денситометрии) по отношению к выявленным КП с помощью ИИ-сервисов, которые были подтверждены врачом-экспертом. В соответствии с полученными результатами демонстрируется гиподиагностика относительно применения ДРА с точность до 0,67. Эти

данные коррелируют с данными, полученными в ходе исследования М.Т. Löffler и соавт., где ROC AUC=0,67 [28]. Относительно данных по КТ-денситометрии определяется низкая специфичность, что ведёт, в свою очередь, к гипердиагностике. По литературным данным, при выполнении КТ-денситометрии значение Т-критерия занижается до -0,3 стандартных отклонения [29].

Таким образом, было показано, что в итоговой выборке, сформированной с учётом результатов ИИ-сервисов и подтверждённой врачом-рентгенологом, преобладали пациенты с МПК ниже значений по данным ДРА, полученным на группе «возрастной нормы» ( $p < 0,001$ ) [14]. Сходные данные были получены и в отечественном обзоре о распространённости ОП в случайной популяционной выборке [30].

Перспективность использования ИИ-сервисов заключается в возможности анализа КТ-исследований, которые были выполнены по другим показаниям, отличным от ОП, без дополнительной лучевой нагрузки на пациента. Визуальная и текстовая детализация результатов работы ИИ-сервисов поможет снизить временные затраты при формировании протоколов описания врачами-рентгенологами. Вместе с тем работа ИИ-сервисов позволяет повысить выявляемость КП и снижения рентгеновской плотности тел позвонков при рутинных КТ-исследованиях [31, 32].

Выявленные низкоэнергетические КП тел позвонков (не компрессионная деформация и не результат высококинетической травмы) у пациента старше 50 лет сигнализирует о наличии у пациента тяжёлого ОП и требует рассмотрения вопроса о назначении лечения [1]. КП могут быть выявлены доступными методами инструментальной диагностики (рентгенография, КТ, магнитно-резонансная томография). При выявлении КП с помощью ИИ-сервисов необходимыми условиями реализации данного подхода являются пересмотр результатов ИИ-сервисов врачами-рентгенологами для исключения деформации, не связанной с ОП, и сопоставление их с клинико-лабораторными данными. Ранняя диагностика признаков ОП позволит маршрутизировать пациента в МО и своевременно разработать тактику лечения до манифестации заболевания в виде остеопоротических переломов.

## **Ограничения исследования**

К ограничениям исследования можно отнести малую выборку пациентов, расширение которой является предметом дальнейшего развития проекта.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Полученные результаты исследования свидетельствуют о целесообразности использования ИИ-сервисов для диагностики ОП по данным рутинных КТ-исследований. Функциональный и диагностический потенциал ИИ-сервисов демонстрирует высокую продуктивность их работы. ИИ-сервисы могут быть использованы в качестве компонента оппортунистического скрининга ОП, что повысит выявляемость заболевания на доклинической стадии, позволит своевременно начать лечение и предотвратить осложнения.

## Дополнительная информация

**Вклад авторов.** З.Р. Артюкова, Н.Д. Кудрявцев — написание текста статьи, выполнение экспериментальной части исследований, валидация; А.В. Петряйкин, Д.С. Семёнов — анализ полученных данных; А.В. Владимировский, Ю.А. Васильев — концепция и дизайн исследования. Все авторы одобрили финальную версию перед публикацией, а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой её части.

**Источники финансирования.** Данная работа подготовлена авторами в рамках НИОКР «Разработка и создание аппаратно-программного комплекса для оппортунистического скрининга остеопороза» (№ ЕГИСУ: 123031400007–7).

**Раскрытие интересов.** Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов (личных, профессиональных или финансовых), связанных с третьими лицами (коммерческими, некоммерческими, частными), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи, а также иных отношений, деятельности и интересов за последние три года, о которых необходимо сообщить.

**Оригинальность.** При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, данные).

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

**Рассмотрение и рецензирование.** Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

## ADDITIONAL INFO

**Author contribution.** Z.R. Artyukova, N.D. Kudryavtsev — writing the text of the article, performing the experimental part of the research, validation; A.V. Petraikin, D.S. Semenov — data analysis; A.V. Vladymyrskyu, Yu.A. Vasilev — study concept and design. All authors have approved the final version before publication and have also agreed to be responsible for all aspects of the work, ensuring that issues relating to the accuracy and integrity of any part of it are properly addressed and resolved.

**Funding sources.** This article was prepared by the authors as part of the research and development work (EGISU number: 123031400007-7) in accordance with the Program of the Moscow Department of Health for 2023–2025.

**Disclosure of interests.** The authors declare the absence of relationships, activities and interests (personal, professional or financial) related to third parties (commercial, non-profit, private),

whose interests may be affected by the content of the article, as well as other relationships, activities and interests over the past three years, which must be reported.

**Statement of originality.** The authors did not use previously published information (text, data) to create this paper.

**Generative AI.** Generative AI technologies were not used for this article creation.

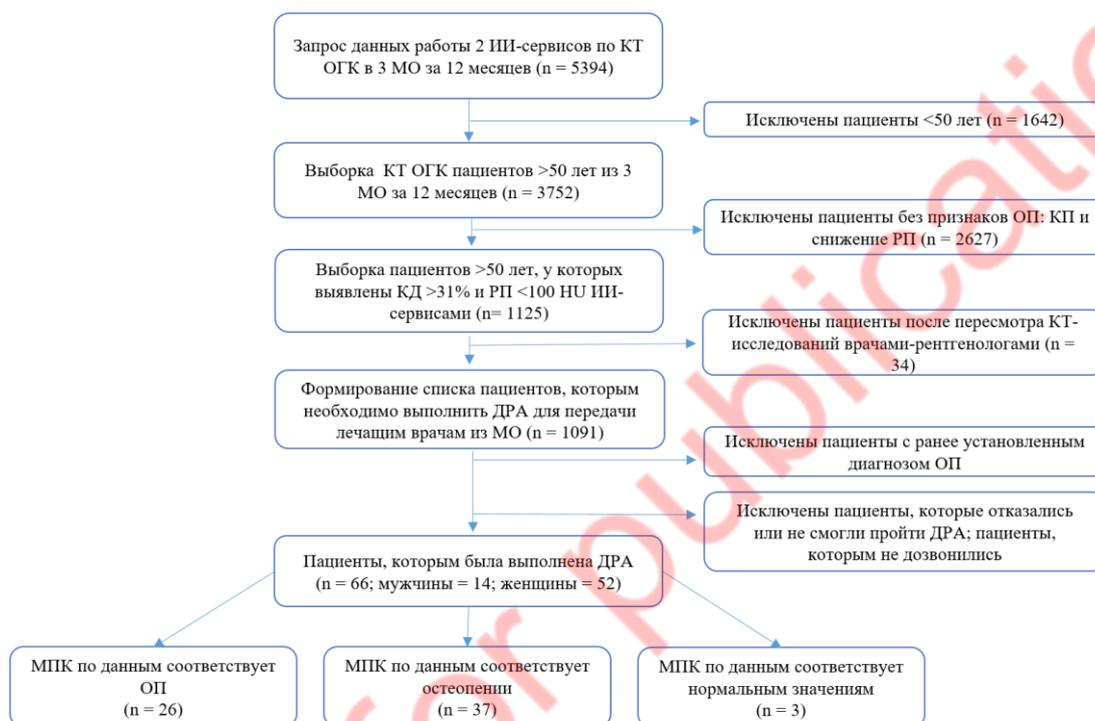
**Provenance and peer-review.** This paper was submitted to the journal on an initiative basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board and the scientific editor of the publication participated in the review.

## Список литературы | References

1. Belaya ZhE, Belova KYu, Biryukova EV, et al. Federal clinical guidelines for diagnosis, treatment and prevention of osteoporosis. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2021;24(2):4–47. doi: 10.14341/osteo12930 EDN: TUONYE
2. The International Society For Clinical Densitometry (ISCD). The Adult Official Positions of the ISCD. 2023. Available from: <https://iscd.org/official-positions-2023/> Accessed: Apr 18, 2023.
3. Petryaikin AV, Artyukova ZR, Nizovtsova LA, et al. *M 54 Methodological recommendations for conducting dual-energy X-ray absorptiometry*. Moscow: GBUZ "NPCC DiT DZM"; 2022. 60 p. (In Russ.).
4. Alacreu E, Moratal D, Arana E. Opportunistic screening for osteoporosis by routine CT in Southern Europe // *Osteoporosis International*. 2017;28(3):983–990. doi: 10.1007/s00198-016-3804-3
5. Gossner J. Missed incidental vertebral compression fractures on computed tomography imaging: More optimism justified. *World J Radiol*. 2010;21(2):472–473. doi: 10.4329/wjr.v2.i12.472
6. Carberry GA, Pooler BD, Binkley N, et al. Unreported vertebral body compression fractures at abdominal multidetector CT. *Radiology*. 2013;268(1):120–126. doi: 10.1148/radiol.13121632
7. Vasiliev YuA, Vladzimirsky AV. *Computer vision in radiation diagnostics: the first stage of the Moscow Experiment*. Moscow: Publishing Solution; 2023. (In Russ.).
8. Pisov M, Kondratenko V, Zakharov A, et al. Keypoints Localization for Joint Vertebra Detection and Fracture Severity Quantification. *Lecture Notes in Computer Science*. 2020;12266:723–732. doi: 10.1007/978-3-030-59725-2\_70
9. Tomita N, Cheung YY, Hassanpour S. Deep neural networks for automatic detection of osteoporotic vertebral fractures on CT scans. *Computers in Biology and Medicine*. 2018;98:8–15. doi: 10.1016/j.combiomed.2018.05.011
10. Cheng X, Zhao K, Zha X, et al. Opportunistic Screening Using Low-Dose CT and the

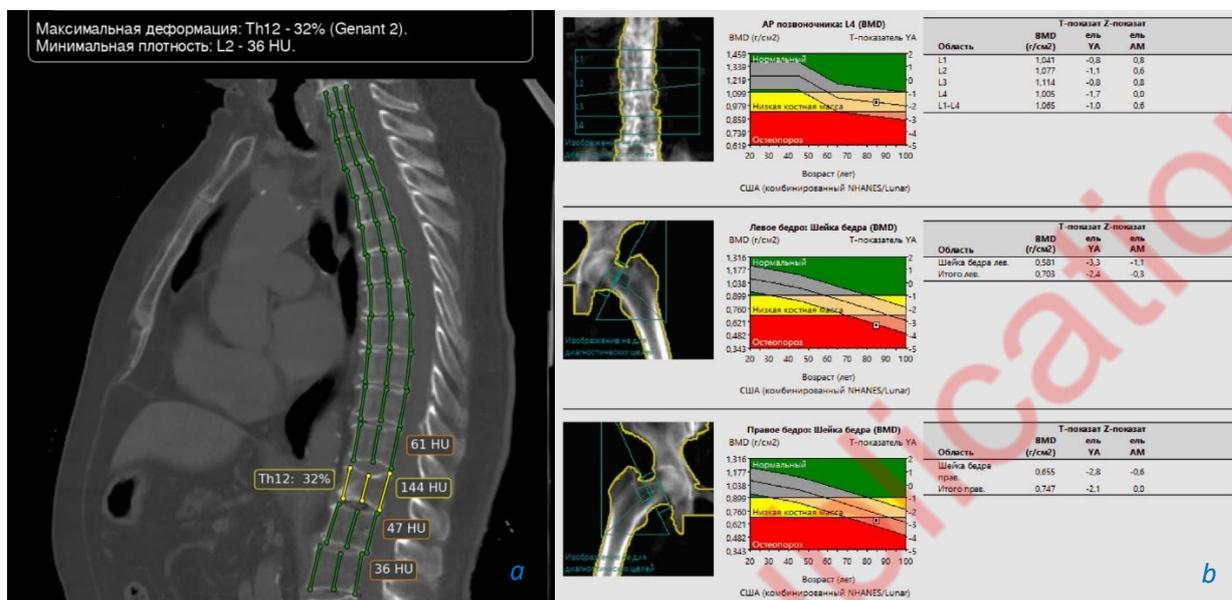
- Prevalence of Osteoporosis in China: A Nationwide, Multicenter Study. *Journal of Bone and Mineral Research*. 2021;36(3):427–435. doi: 10.1002/jbmr.4187
11. Artificial intelligence services in radiation diagnostics. 2023. Available from: <https://mosmed.ai/> Accessed: Apr 18, 2023. (In Russ.).
  12. Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, et al. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J Bone Miner Res*. 1993;8(9):1137–48. doi: 10.1002/jbmr.5650080915
  13. Petryaikin AV, Belaya ZhE, Belyaev MG, et al. Accuracy of automatic diagnostics of compression fractures of vertebral bodies according to the morphometric algorithm of artificial intelligence. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2022;25(3):92–93. (In Russ.). doi: 10.14341/osteo13064
  14. Petraikin AV, Artyukova ZR, Kudryavtsev ND, et al. Analysis of Age Distribution of Bone Mineral Density by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023;104(1):21–29. doi:10.20862/0042-4676-2023-104-1-21-29 EDN: ULUKYU
  15. Lesnyak OM, Yershova OB, Zakroeva AG, et al. *Audit of the Russian Osteoporosis Association*. 2020. P. 44. (In Russ.).
  16. Salari N, Ghasemi H, Mohammadi L, et al. The global prevalence of osteoporosis in the world: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2021;16(1):609. doi: 10.1186/s13018-021-02772-0
  17. Murata K, Endo K, Aihara T, et al. Artificial intelligence for the detection of vertebral fractures on plain spinal radiography. *Sci Rep*. 2020;10(1):20031. doi: 10.1038/s41598-020-76866-w
  18. Dong Q, Luo G, Lane NE, et al. Deep Learning Classification of Spinal Osteoporotic Compression Fractures on Radiographs using an Adaptation of the Genant Semiquantitative Criteria. *Acad Radiol*. 2022;29(12):1819–1832. doi: 10.1016/j.acra.2022.02.020
  19. Valentinitich A, Trebeschi S, Kaesmacher J, et al. Opportunistic osteoporosis screening in multi-detector CT images via local classification of textures. *Osteoporos Int*. 2019;30(6):1275–1285. doi: 10.1007/s00198-019-04910-1
  20. Yasaka K, Akai H, Kunimatsu A, et al. Prediction of bone mineral density from computed tomography: application of deep learning with a convolutional neural network. *Eur Radiol*. 2020;30(6):3549–3557. doi: 10.1007/s00330-020-06677-0
  21. Nam KH, Seo I, Kim DH, et al. Machine Learning Model to Predict Osteoporotic Spine with Hounsfield Units on Lumbar Computed Tomography. *J Korean Neurosurg Soc*. 2019;62(4):442–449. doi: 10.3340/jkns.2018.0178
  22. Zhang J, Liu J, Liang Z, et al. Differentiation of acute and chronic vertebral compression fractures using conventional CT based on deep transfer learning features and hand-crafted radiomics features. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2023;24(1):165. doi: 10.1186/s12891-023-06281-5
  23. Certificate of State registration of the database No. 2023621171 Russian Federation.

- Vasiliev YuA, Turavilova EV, Vladzimirsky AV, et al. MosMedData: CT scan with signs of spinal osteoporosis. The applicant is the State Budgetary Healthcare Institution of the city of Moscow "Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Department of Healthcare of the City of Moscow". Registration date: 04/11/2023. (In Russ.).
24. Vasiliev YuA, Vlazimirsky AV, Omelyanskaya OV, et al. Methodology for testing and monitoring artificial intelligence-based software for medical diagnostics. *Digital Diagnostics*. 2023;4(3):252–267. doi: <https://doi.org/10.17816/DD321971> EDN: UEDORU
  25. Bobrovskaya TM, Kirpichev YS, Savkina EF, Chetverikov SF, Arzamasov KM. Development and validation of a tool for statistical comparison of roc-curves using the example of algorithms based on artificial intelligence technologies *Medical doctor and information technologies*. 2023;3:4–15. doi: 10.25881/18110193\_2023\_3\_4 EDN: CUFICX
  26. Artyukova ZR, Kudryavtsev ND, Petraikin AV, et al. Using an artificial intelligence algorithm to assess the bone mineral density of the vertebral bodies based on computed tomography data. *Medical Visualization*. 2023;27(2):125–137. doi: 10.24835/1607-0763-1257 EDN: FQACCV
  27. Petraikin AV, Belaya ZhE, Kiseleva AN, et al. Artificial intelligence for diagnosis of vertebral compression fractures using a morphometric analysis model, based on convolutional neural networks. *Problems of Endocrinology*. 2020;66(5):48–60. doi: 10.14341/probl12605 EDN: GLXSYG
  28. Löffler MT, Jacob A, Scharr A, et al. Automatic opportunistic osteoporosis screening in routine CT: improved prediction of patients with prevalent vertebral fractures compared to DXA. *Eur Radiol*. 2021;31(8):6069–6077. doi: 10.1007/s00330-020-07655-2
  29. Petraikin AV, Toroptsova NV, Nikitsinskaya OA, et al. Using asynchronous quantitative computed tomography for opportunistic screening of osteoporosis. *Rheumatology Science and Practice*. 2022;60(3):360–368. doi: 10.47360/1995-4484-2022-360-368 EDN: KTYJHB
  30. Mikhailov EE, Benevolenskaya LI. *Epidemiology of osteoporosis and fractures*. In: *A Guide to Osteoporosis*. Moscow: BINOM. Laboratory of Knowledge; 2003: 10–55. (In Russ.).
  31. Morozov SP, Gavrilov AV, Arkhipov IV, et al. Effect of artificial intelligence technologies on the CT scan interpreting time in COVID-19 patients in inpatient setting. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(1):14–20. doi: 10.17116/profmed20222501114 EDN: QRZZKS
  32. Vladzimirsky AV, Kudryavtsev ND, Kozhikhina DD, et al. Effectiveness of using artificial intelligence technologies for dual descriptions of the results of preventive lung examinations. *Russian Journal of Preventive Medicine*. 2022;25(7):7–15. doi: 10.17116/profmed2022250717 EDN: JNUMFN



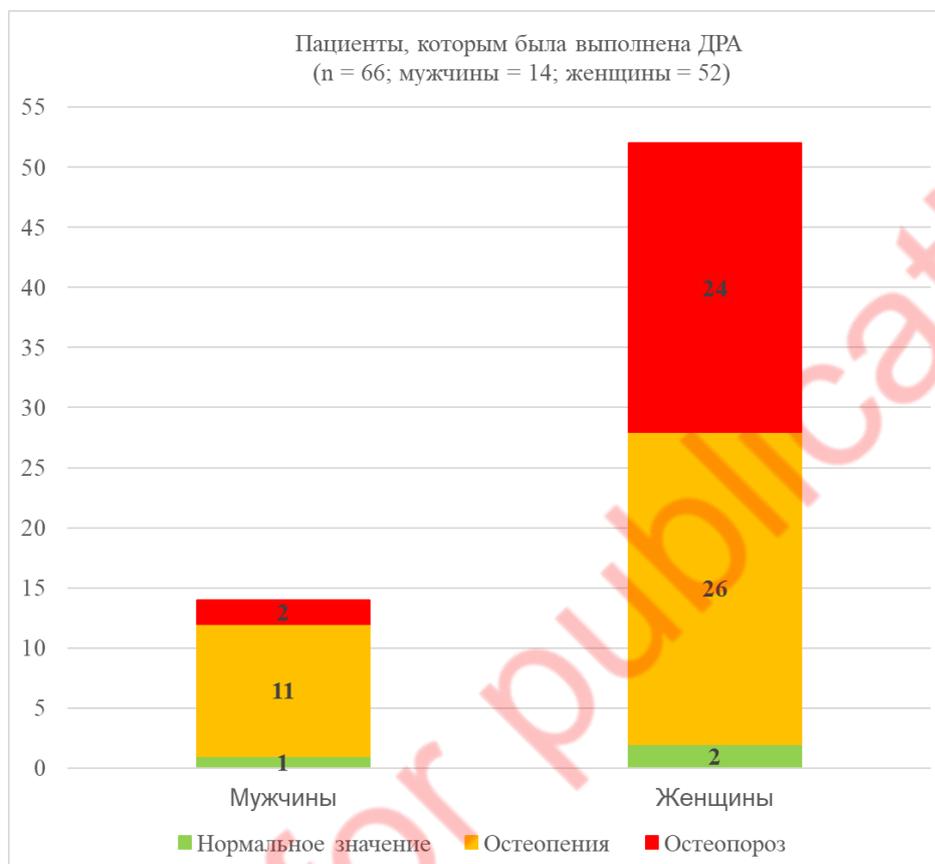
**Рис. 1.** Схема реализации пилотного исследования. ДРА — двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия, ИИ — искусственный интеллект, КД — компрессионная деформация, КП — компрессионный перелом, КТ ОГК — компьютерная томография органов грудной клетки, МО — медицинская организация, МПК — минеральная плотность кости, ОП — остеопороз, РП — рентгеновская плотность.

**Fig. 1.** Scheme of the pilot study. DXA – dual-energy X-ray absorptiometry; AI – artificial intelligence; CD – compression deformation; CF – compression fracture; chest CT – computed tomography of chest organs; MF – medical facility; BMD – bone mineral density; OP – osteoporosis; XRD – X-ray density



**Рис. 2.** Пример реализации скрининга (женщина, 84 года): *a* — дополнительная серия КТ-исследования; *b* — двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия поясничного отдела позвоночника и проксимального отдела бедра. Пациентке в январе 2023 года была выполнена компьютерная томография органов грудной клетки. Данное КТ-исследование проанализировал ИИ-сервис (Genant-IRA) и выявил признаки остеопороза (компрессионная деформация тела позвонка Th12 — до 32%, рентгеновская плотность тел позвонков Th11, L1, L2 — менее 100 HU). После этого пациентке была назначена двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия. Исследование было выполнено в мае 2023 года. По данным денситометрии минеральная плотность кости соответствует остеопорозу. КТ — компьютерная томография, ИИ — искусственный интеллект.

**Fig. 2.** Screening example (a woman, 84 years old): *a* – An additional CT-image series; *b* – dual-energy X-ray absorptiometry of the lumbar spine and the proximal femur. The patient underwent a chest CT in January 2023. The CT-scan was analyzed by the AI service (Genant-IRA), which determined signs of osteoporosis – compression deformation of vertebral body Th12 to 32%; X-ray density of vertebral body Th11, L1, L2 less than 100 HU. The patient underwent the additional dual-energy X-ray absorptiometry in May 2023. According to dual-energy X-ray absorptiometry, the bone mineral density corresponds to osteoporosis. CT – computed tomography; AI – artificial intelligence.



**Рис. 3.** Результаты, полученные при двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. ДРА — двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.

**Fig. 3.** Results obtained from dual-energy X-ray absorptiometry. DXA – dual-energy X-ray absorptiometry.



**Рис. 4.** Распределение по полу и минеральной плотности кости пациентов, которым была выполнена двухэнергетическая рентгеновская абсорбциометрия.

**Fig. 4.** Distribution by sex and bone mineral density in patients who underwent dual-energy X-ray absorptiometry

## ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

* Автор, ответственный за переписку	* Corresponding author
* <b>Артюкова Злата Романовна;</b> адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; <b>ORCID:</b> 0000-0003-2960-9787; <b>eLibrary SPIN:</b> 7550-2441; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:zl.artyukova@gmail.com">zl.artyukova@gmail.com</a>	* <b>Zlata R. Artyukova, MD;</b> address: 24 Petrovka st, bldg 1, Moscow, Russia, 127051; <b>ORCID:</b> 0000-0003-2960-9787; <b>eLibrary SPIN:</b> 7550-2441; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:zl.artyukova@gmail.com">zl.artyukova@gmail.com</a>
<b>Кудрявцев Никита Дмитриевич;</b> <b>ORCID:</b> 0000-0003-4203-0630; <b>eLibrary SPIN:</b> 1125-8637; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:KudryavtsevND@zdrav.mos.ru">KudryavtsevND@zdrav.mos.ru</a>	<b>Nikita D. Kudryavtsev, MD;</b> <b>ORCID:</b> 0000-0003-4203-0630; <b>eLibrary SPIN:</b> 1125-8637; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:KudryavtsevND@zdrav.mos.ru">KudryavtsevND@zdrav.mos.ru</a>
<b>Петрайкин Алексей Владимирович, д-р</b> мед. наук, доцент; <b>ORCID:</b> 0000-0003-1694-4682; <b>eLibrary SPIN:</b> 6193-1656; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:alexeypetraikin@gmail.com">alexeypetraikin@gmail.com</a>	<b>Alexey V. Petraikin, MD, Dr. Sci.</b> (Medicine), Associate Professor; <b>ORCID:</b> 0000-0003-1694-4682; <b>eLibrary SPIN:</b> 6193-1656; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:alexeypetraikin@gmail.com">alexeypetraikin@gmail.com</a>
<b>Семёнов Дмитрий Сергеевич, канд. тех.</b> наук; <b>ORCID:</b> 0000-0002-4293-2514; <b>eLibrary SPIN:</b> 2278-7290; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:SemenovDS4@zdrav.mos.ru">SemenovDS4@zdrav.mos.ru</a>	<b>Dmitry S. Semenov; Cand. Sci.</b> (Engineering); <b>ORCID:</b> 0000-0002-4293-2514; <b>eLibrary SPIN:</b> 2278-7290; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:SemenovDS4@zdrav.mos.ru">SemenovDS4@zdrav.mos.ru</a>
<b>Владзимирский Антон Вячеславович, д-</b> р мед. наук; <b>ORCID:</b> 0000-0002-2990-7736; <b>eLibrary SPIN:</b> 3602-7120; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru">VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru</a>	<b>Anton V. Vladzimirskyy, MD, Dr. Sci.</b> (Medicine); <b>ORCID:</b> 0000-0002-2990-7736; <b>eLibrary SPIN:</b> 3602-7120; <b>e-mail:</b> <a href="mailto:VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru">VladzimirskijAV@zdrav.mos.ru</a>
<b>Васильев Юрий Александрович, канд.</b> мед. наук; <b>ORCID:</b> 0000-0002-5283-5961;	<b>Yuriy A. Vasilev, MD, Cand. Sci. (Medicine),</b> <b>ORCID:</b> 0000-0002-5283-5961; <b>eLibrary SPIN:</b> 4458-5608;

**eLibrary SPIN:** 4458-5608;

**e-mail:** [VasilevYA1@zdrav.mos.ru](mailto:VasilevYA1@zdrav.mos.ru)

**e-mail:** [VasilevYA1@zdrav.mos.ru](mailto:VasilevYA1@zdrav.mos.ru)

Accepted for publication