



ФМБА РОССИИ
Федеральное медико-биологическое агентство



Медико-биологический университет
инноваций и непрерывного образования
ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

Адрес: г. Москва, ул. Живописная, д. 46, стр. 8

Тел.: 8 (499) 190-96-92

Сайт: www.mbufmbc.ru

**Маткевич Е.И., Ионова Е.А., Башков А.Н.,
Такмаков А.А., Удалов Ю.Д., Аносова Т.А.**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ
В ПРАКТИКЕ МНОГОПРОФИЛЬНОЙ КЛИНИКИ
В ИНТЕРЕСАХ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПАЦИЕНТОВ**

Учебное пособие

Москва, 2026

Федеральное медико-биологическое агентство
Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр Российской Федерации –
Федеральный медицинский биофизический центр
имени А.И.Бурназяна»

**Маткевич Е.И., Ионова Е.А., Башков А.Н.,
Такмаков А.А., Удалов Ю.Д., Аносова Т.А.**

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ
ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ
В ПРАКТИКЕ МНОГОПРОФИЛЬНОЙ КЛИНИКИ
В ИНТЕРЕСАХ СНИЖЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ПАЦИЕНТОВ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**Москва
2026**

УДК 616-01:616-073.8

ББК Р364.2

И 88

Маткевич Е.И., Ионова Е.А., Башков А.Н., Такмаков А.А., Удалов Ю.Д., Аносова Т.А. Использование методов лучевой диагностики в практике многопрофильной клиники в интересах снижения воздействия ионизирующего излучения на пациентов. Учебное пособие. – М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. 48 с.

Автор:

Маткевич Елена Ивановна – к.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

Ионова Елена Александровна – д.м.н., заведующая кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Башков Андрей Николаевич – к.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

Такмаков Андрей Александрович – врач-рентгенолог отделения магнитно-резонансной томографии Центра лучевой и радиоизотопной диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

Удалов Юрий Дмитриевич – генеральный директор ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, главный внештатный специалист ФМБА России по радиологии, доктор медицинских наук, доцент.

Аносова Татьяна Александровна – к.м.н., доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Рецензенты:

Шеянов М.В – д.м.н., профессор кафедры терапии МБУ ИНО ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им.А.И.Бурназяна ФМБА России.

Классовская Н.Ю. – к.м.н., врач-рентгенолог, врач ультразвуковой диагностики хирургического стационара ГБУЗ Московской области «Серпуховская областная больница».

В учебном пособии кратко изложены диагностические возможности и ограничения различных методов лучевой диагностики (обзорной рентгенографии, ультразвуковой диагностики, компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии и радионуклидной диагностики) при визуализации основных областей тела. Рассмотрены особенности выбора конкретного метода при первичной диагностике и при динамическом наблюдении за пациентами. Размещены сведения о показаниях, порядке проведения и описания МРТ всего. Разработаны и приводятся тестовые вопросы и ситуационные задачи по теме для контроля освоения материала. Пособие предназначено для использования в процессе обучения по дисциплинам «Лучевая диагностика и рентгенология», «Общая и медицинская радиобиология», а также в практической работе с пациентами врачами-рентгенологами, ординаторами, рентген-лаборантами и лечащими врачами многопрофильного стационара

ISBN 978-5-93064-431-9

© ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна
ФМБА России, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ПРИНЦИП ОБОСНОВАННОСТИ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ	10
1.1 Эволюция методов лучевой диагностики	10
1.2. Диагностическая информативность	10
1.3. Ограничения методов визуализации	11
2. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ	12
2.1 Обзорная рентгенография	12
2.2 Компьютерная томография.....	12
2.3 Магнитно-резонансная томография	13
2.4 Ультразвуковая диагностика	13
2.5 Радионуклидные методы	14
3. ВЫБОР МЕТОДА ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ПО АНАТОМИЧЕСКИМ ОБЛАСТЯМ	15
3.1 Головной мозг	15
3.2 Органы грудной клетки	16
3.3 Сердце и сосуды	17
3.4 Органы брюшной полости	18
3.5 Забрюшинное пространство	19
3.6 Органы малого таза.....	20
3.7 Позвоночник и спинной мозг.....	21
3.8 Мягкие ткани	21
3.9 Кости и суставы.....	22
4. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВСЕГО ТЕЛА В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ	24
4.1 Возможные показания	24
4.2 Протоколы исследования	25
4.3 Алгоритм анализа МРТ изображений	26
4.4 Ограничения метода	27
5. ПОТЕНЦИАЛ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ, ВЫБОР МЕТОДОВ И АЛГОРИТМЫ АЛГОРИТМЫ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ	28
5.1 Выбор метода при первичной диагностике	28
5.2 Выбор метода при динамическом наблюдении	29
5.3 Выбор метода у пациентов группы риска.....	29

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	30
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	31
ПРИЛОЖЕНИЯ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Среднегодовые дозы облучения пациентов при КТ-исследованиях.	35
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Клинические примеры сопоставления МРТ с КТ и уровни снижения лучевой нагрузки на пациента	36
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Потенциал МРТ в сравнении с КТ.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Тестовые вопросы для самоконтроля	42
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Примеры ситуационных задач.	48

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГЦК	– гепатоцеллюлярная карцинома
КТ	– компьютерная томография
мЗв	– миллизиверт
МРТ	– магнитно-резонансная томография
НДКТ	– низкодозная компьютерная томография
ОФЭКТ	– однофотонная эмиссионная компьютерная томография
ПЭТ/КТ	– позитронно-эмиссионная томография в сочетании с компьютерной томографией
РГ	– рентгенография
РДУ	– референтные диагностические уровни
РФП	– радиофармпрепараты
ТЭЛА	– тромбоэмболия легочной артерии
УЗИ	– ультразвуковое исследование
ХОБЛ	– хроническая обструктивная болезнь лёгких
ЧСС	– частота сердечных сокращений
ЯМР	– ядерный магнитный резонанс
ACR	– American College of Radiology – американский радиологический колледж
DAP	– произведение дозы на площадь
DLP	– произведение дозы на длину
DMSA	– радиофармацевтический препарат (димеркаптосукциновая кислота), используемый для проведения статической сцинтиграфии почек
DWI	– диффузионно взвешенное изображение
MRA/MRV	– магнитно-резонансная ангиография/венография
MAG3	– радиофармпрепарат (меркаптоацетилтриглицин), используемый в радионуклидной диагностике для визуализации почек (сцинтиграфия).
RECIST	– критерии оценки ответа на лечение при солидных опухолях

ВВЕДЕНИЕ

Роль лучевой диагностики. Рентгенография, компьютерная томография (КТ), радионуклидные методы (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ) являются «золотым стандартом» в выявлении переломов, пневмонии, тромбоэмболии лёгочной артерии, онкологических заболеваний и инсультов. Они позволяют получить анатомическое и функциональное изображение органов и тканей человека без хирургического вмешательства, но сопровождаются воздействием ионизирующего излучения (ИИ) на пациентов. Другие методы лучевой диагностики (УЗИ и МРТ) также обладают высокими диагностическими возможностями, но не во всех случаях (например, при патологии лёгких или костей они менее информативны, чем КТ), поэтому полностью отказаться от методов диагностики, для которых свойственно воздействие ИИ на пациента не представляется возможным.

Проблема роста количества исследований. В последние годы роль лучевых методов диагностики в здравоохранении продолжает возрастать, определяя в значительной степени тактику клинического ведения пациентов [1]. По данным Государственного доклада о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации за 2024 год, общее количество рентгенодиагностических исследований остаётся стабильно высоким – 297,5 млн процедур в год [2], при этом число процедур КТ увеличивается каждый год и в 2024 г. составляло 25,6 млн.

На фоне роста объёмов рентгенодиагностики требуется усилить внимание к вопросам радиационной безопасности. Коллективная доза за счет диагностического медицинского облучения с 2016 г. к 2024 г. возросла более чем в 2 раза – с 73,8 тыс. чел.-Зв до 165 тыс. чел.-Зв [2, 3], при этом компьютерная томография продолжает вносить наибольший вклад до 69,1 % в суммарную дозу от диагностических медицинских облучений. Парк КТ-аппаратов в РФ с 2019 по 2023 годы расширился на 42,9 % [4], это увеличило доступность КТ-исследований для населения, но привело к возрастанию

средней «медицинской» дозы облучения на одного жителя до 1,11 мЗв в год [2]. Годовой предел дозы облучения для населения согласно НРБ 99-2009 [5] составляет 1 мЗв, но в этот норматив не входит доза от медицинского облучения, так как к медицинскому облучению по НРБ 99-2009 не применяется принцип нормирования. В целях защиты пациентов от избыточного воздействия ИИ при медицинском облучении должны использоваться принципы обоснованности и оптимизации.

Дозовая нагрузка: цифры и риски. Медицинское облучение остаётся вторым по значимости источником среднего индивидуального пожизненного радиационного риска для населения Российской Федерации после облучения радоном и дочерними продуктами его распада в воздухе помещений. С 2014 к 2023 г. показатель радиационного риска для населения за счёт медицинских рентгенорадиологических процедур вырос в 2,3 раза – с $2,1 \times 10^{-5}$ до $4,9 \times 10^{-5}$.

Эффективная доза измеряется в миллизивертах (мЗв).

Для сравнения – средний природный фон в год на жителя земли – 2–3 мЗв. Дозы облучения при КТ-диагностике превышают годовой предел для населения 1 мЗв [5, 6] и составляют:

- рентген грудной клетки: 0,05–0,1 мЗв,
- КТ головного мозга: 1,5–2 мЗв,
- КТ грудной клетки: 7–8 мЗв,
- КТ брюшной полости: 9–20 мЗв.

Целью данных рекомендаций является ознакомление врачей-рентгенологов, лаборантов, лечащих врачей, ординаторов и аспирантов особенностями визуализации и возможностью использования разных методов лучевой диагностики для обеспечения радиационной безопасности пациентов, особенно из групп риска (персонала, работающего с техногенными источниками ИИ).

Принципы радиационной безопасности для снижения дозовой нагрузки на пациента:

1. Обоснование.

Врач обязан оценить – соотношение диагностической пользы и радиационного риска. Если клиническую задачу

можно решить без лучевой нагрузки (УЗИ, МРТ, эндоскопия), то методы с использованием ИИ назначать не следует. Выделяются особые группы пациентов: беременные, дети и персонал, работающий с техногенными источниками ионизирующих излучений.

2. Оптимизация (принцип разумного предела – настолько низко, насколько разумно достижимо).

Доза облучения пациента должна быть минимальной, но достаточной для установления диагноза [5, 7]. Обеспечивающие технологии:

- использование защитных средств (свинцовые фартуки, воротники, очки – для защиты щитовидной железы, хрусталика, гонад),
- настройка протоколов: снижение силы тока на трубке, использование модуляции дозы, ограничение зоны сканирования только областью интереса,
- детские протоколы: доза для ребёнка должна быть значительно ниже, чем для взрослого,
- контроль референтных диагностических уровней (РДУ); регулярное превышение доз облучения РДУ – сигнал к пересмотру протоколов.

3. Нормирование.

Для пациентов пределов медицинского облучения нет, но для персонала, работающего с источниками, действуют лимиты согласно НРБ-99/2009 [5]: 20 мЗв/год для группы А и 5 мЗв /год для группы Б. Женщины из числа персонала при планировании беременности переводятся на работу без облучения. Пациентам ведётся учёт доз облучения в индивидуальной карте – это помогает избежать повторных исследований без необходимости.

1. ПРИНЦИП ОБОСНОВАННОСТИ В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

1.1 Эволюция методов лучевой диагностики

История лучевой диагностики начинается с открытия в 1895 году Вильгельмом Рентгеном X-лучей, за которое он получил первую Нобелевскую премию по физике. Долгое время классическая рентгенография оставалась единственным методом неинвазивной визуализации внутренних органов. Прорыв в диагностических технологиях произошёл в 1970-х годах: появилась компьютерная томография (КТ), основанная на компьютерной реконструкции поперечных срезов. Тогда же начали развиваться магнитно-резонансная томография (МРТ) и позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), которые сначала применялись только в исследовательских целях, а затем и в общеклинической практике. В XXI веке лучевая диагностика перешла к гибридным системам (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ) и методам искусственного интеллекта для анализа изображений [8].

1.2 Диагностическая информативность

Информативность лучевого метода оценивается по нескольким параметрам: чувствительность (способность выявлять патологию у больных), специфичность (способность исключать здоровых) и диагностическая точность. Для сравнения разных методов используют ROC-анализ: чем ближе площадь под ROC-кривой к 1,0, тем выше диагностическая эффективность [9].

В клинической практике лучевая диагностика лежит в основе 80–90 % диагностических решений, особенно в онкологии, неврологии и травматологии. Однако информативность одного и того же метода может существенно различаться в зависимости от локализации патологии, качества оборудования и опыта врача [10].

1.3 Ограничения методов визуализации

Каждый метод лучевой диагностики имеет свои ограничения [11-15], которые необходимо учитывать при назначении исследования (Таблица).

Таблица.

Сравнительная характеристика особенностей методов лучевой диагностики

Метод	Ключевые ограничения
Рентгенография	Суммация теней (наложение органов), низкий контраст мягких тканей, ионизирующее излучение.
Компьютерная томография (КТ)	Ионизирующее излучение (относительно высокая доза), артефакты от металлических имплантатов, ограничение по весу пациента (обычно до 150–200 кг).
Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Абсолютные противопоказания (кардиостимуляторы, ферромагнитные имплантаты, кохлеарные импланты), длительность исследования (20–60 минут), чувствительность к движению, клаустрофобия, высокая стоимость.
Ультразвуковая диагностика (УЗИ)	Необходимость врача для выполнения процедуры, невозможность визуализации через кости и газ, плохая воспроизводимость результатов.
Радионуклидные методы (ПЭТ, ОФЭКТ)	Высокая стоимость, ограниченная доступность, влияние уровня глюкозы в крови (для ПЭТ с ФДГ), относительно высокая доза облучения.

2. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1 Обзорная рентгенография

Обзорная рентгенография остаётся наиболее распространённым и доступным методом первичной лучевой диагностики. Метод основан на пропускании рентгеновского излучения через тело пациента с получением суммационного (плоскостного) изображения. Ключевым показанием является подозрение на патологию костной системы: переломы, вывихи, дегенеративно-дистрофические изменения. В пульмонологии метод широко используется для диагностики пневмонии и туберкулёза. Диапазон доз облучения составляет 0,02–0,1 мЗв (например, при рентгенографии грудной клетки) [16]. Преимущества: быстрота, доступность, низкая стоимость. Недостатки: суммация теней, низкий контраст мягких тканей. Основное противопоказание – беременность.

2.2 Компьютерная томография

Компьютерная томография – метод послойного рентгенологического исследования с компьютерной реконструкцией срезов, обеспечивающий высокое пространственное разрешение (0,5–1 мм) и отсутствие наложения тканей. Диапазон доз облучения пациентов (таблица А-1 Приложения А): КТ головного мозга – 2,08-2,63 мЗв, КТ грудной клетки – 3,34-8,23 мЗв, КТ брюшной полости и забрюшинного пространства – 10,08-25,15 мЗв. Эффективная доза при КТ брюшной полости соответствует 3–5 годам естественного фонового облучения [6]. Показания: острая травма головного мозга и позвоночника, опухолевые заболевания, стадирование онкологического процесса. Преимущества: высокое разрешение, быстрота исследова-

дования (5–20 минут). Недостатки: значительная лучевая нагрузка, артефакты от металлов. Противопоказания: беременность, избыточная масса тела (ограничение аппарата).

2.3 Магнитно-резонансная томография

МРТ основана на явлении ядерно-магнитного резонанса (ЯМР) протонов водорода в сильном магнитном поле; метод не использует ионизирующее излучение. Это обеспечивает полную безопасность для многократного применения, однако длительность исследования составляет 20–60 минут. МРТ обладает высочайшим контрастом мягких тканей и мультипланарными возможностями. Показания: заболевания головного и спинного мозга, патологии суставов и позвоночника, онкологические процессы мягких тканей. Абсолютные противопоказания: кардиостимуляторы, ферромагнитные имплантаты, электронные имплантаты среднего уха. Относительные: клаустрофобия, I триместр беременности. Не съёмные зубные импланты и коронки не являются противопоказанием.

2.4 Ультразвуковая диагностика

УЗИ использует отражение ультразвуковых волн высокой частоты от границ тканей с различной акустической плотностью; ионизирующее излучение отсутствует. Метод полностью безопасен, не имеет противопоказаний, может применяться у беременных и детей. Время исследования – 15–40 минут, стоимость низкая, доступность высокая. Показания: заболевания органов брюшной полости, малого таза, щитовидной и молочной желёз, сердца (эхокардиография), сосудов, мягких тканей. Недостатки: операторозависимость – результаты существенно зависят от квалификации врача, невозможна визуализация через кость и газ (лёгкие, петли кишечника).

2.5 Радионуклидные методы

Радионуклидные методы основаны на введении радиофармпрепарата (РФП) и регистрации его распределения в организме. ПЭТ использует позитрон-излучающие изотопы (^{18}F , ^{11}C), ОФЭКТ – гамма-излучатели ($^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{123}I). Эти методы позволяют оценивать метаболическую активность тканей на клеточном уровне, что незаменимо в онкологии. Диапазон доз: сцинтиграфия с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – 1–5 мЗв, ПЭТ/КТ всего тела – 15–25 мЗв (вклад РФП и КТ-компонента примерно одинаков). Показания: стадирование и рестадирирование злокачественных новообразований, поиск метастазов, оценка жизнеспособности миокарда, нейродегенеративные заболевания. Противопоказания: беременность, грудное вскармливание. При ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ необходим контроль уровня глюкозы.

3. ВЫБОР МЕТОДА ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ПО АНАТОМИЧЕСКИМ ОБЛАСТЯМ

В разделе систематизированы возможности методов лучевой диагностики по основным анатомическим областям [17]. В Приложении Б приведены 2 клинических примера возможности использования альтернативных методов диагностики.

3.1 Головной мозг

Обзорная РГ не рассматривается как рекомендованный метод визуализации головного мозга, ввиду крайне низкой информативности. Исключение – обзорная РГ черепа в качестве вспомогательного метода при подозрении на нарушение целостности или миграции компонентов шунтирующей системы у пациентов гидроцефалией с установленным вентрикулоперитонеальным шунтом.

КТ без контрастирования – метод выбора при черепно-мозговой травме, подозрении на внутричерепное кровоизлияние, острое нарушение мозгового кровообращения (особенно первые часы инсульта), а также при отёке мозга и костных повреждениях основания черепа. Высокая доступность, скорость выполнения и устойчивость к артефактам движения делают КТ незаменимой в ургентной неврологической практике.

КТ с контрастом показана при подозрении на опухоли, абсцессы, тромбоз венозных синусов, а также при вторичных осложнениях инфекционного процесса, позволяет визуализировать сосуды головного мозга и выявить аневризмы, стенозы, артериовенозные мальформации.

МРТ демонстрирует высокую чувствительность к ишемии, что позволяет выявлять очаги ишемии. Метод выбора при подозрении на воспалительные заболевания (энцефалиты, менингиты), демиелинизирующие патологии (например, рассеянный склероз), опухоли головного мозга, эпилепсию

и при нейродегенеративных заболеваниях. Особое значение МРТ приобретает в диагностике патологий задней черепной ямки, гипофиза, орбит, нервов и сосудистых мальформаций. Протоколы ангио- и венографии (MRA/MRV) позволяют без контраста визуализировать артериальные и венозные структуры, снижая лучевую нагрузку.

Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, сцинтиграфия) используются в неврологии для оценки метаболической активности мозга при деменции (болезнь Альцгеймера, лобно-височная деменция и др.), эпилепсии, опухолях и дифференцировке постоперационных и новых активных зон.

ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ используется при деменции и метастазах, ПЭТ с ^{11}C -метионином – при глиомах, ОФЭКТ с дофаминовыми транспортерами – при паркинсонизме для оценки нейромедиаторных нарушений.

Ультразвук ограничен в применении и используется, в основном, при исследовании сосудов шеи и экстракраниальных отделов сонных и позвоночных артерий.

3.2 Органы грудной клетки

Диагностика заболеваний органов грудной клетки традиционно начинается с обзорной РГ, которая остаётся основным методом при обострении хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ), пневмонии, туберкулёзе и подозрении на пневмоторакс.

Наиболее информативным методом становится КТ, особенно низкодозовая КТ (НДКТ), которая рекомендована как метод скрининга рака лёгкого у групп риска. КТ с внутривенным контрастированием показана при подозрении на опухоли плевры и средостения, а также при тромбоэмболии лёгочной артерии.

МРТ в данной области применяется ограниченно (для визуализации органов средостения) ввиду низкой плотности протонов в воздухосодержащих структурах и подверженности артефактам от дыхания.

ПЭТ/КТ целесообразен при стадировании рака лёгкого, а также при выборе участка для биопсии. Метод позволяет проводить дифференциальную диагностику доброкачественных и злокачественных процессов, в том числе при интерстициальных поражениях и узлах в лёгких.

Ультразвуковое исследование используется как дополнительный метод для оценки «жидкостных» полостей – плевральной и перикардиальной.

3.3 Сердце и сосуды

Обзорная РГ органов грудной клетки может быть использована как дополнительный метод оценки формы и размеров сердца.

КТ применяется для оценки степени стеноза коронарных артерий, наличия коронарного кальция (coronary calcium scoring), анатомии аорты, лёгочной артерии и вен. КТ с контрастом используется при подозрении на ТЭЛА, расслаивающую аневризму, врождённые аномалии сосудов, постоперационные изменения. Метод требует чёткого контроля ЧСС.

МРТ сердца предоставляет информацию о сократимости, фиброзе, отёке и перфузии миокарда, используется при миокардитах, кардиомиопатиях, врождённых пороках, ишемии и инфаркте миокарда. МР-ангиография позволяет оценить сосудистую анатомию без контрастирования — важный аспект при противопоказаниях к КУ.

Сцинтиграфия – наиболее чувствительный метод при хронической тромбоэмболической болезни.

Перфузионная сцинтиграфия миокарда используется для оценки функционально значимого стеноза коронарных артерий.

Ультразвуковое исследование - эхокардиография (ЭхоКГ) остаётся основным методом визуализации сердца в рутинной клинической практике. Он позволяет оценить размеры камер, систолическую функцию, состояние клапанов, признаки легочной гипертензии, выпот в перикарде и сократимость миокарда. Чреспищеводная ЭхоКГ применяется при

оценке тромбов в ушке левого предсердия, инфекционного эндокардита, а также уточнения состояния восходящей аорты при подозрении на её аневризму или расслоение.

3.4 Органы брюшной полости

РГ применяется ограниченно и преимущественно в экстренной практике: при подозрении на кишечную непроходимость, перфорацию полого органа, инородные тела.

КТ с внутривенным контрастированием остаётся методом выбора при острых болях в животе неясного генеза, подозрении на аппендицит, дивертикулит, кишечную непроходимость, ишемию кишечника, а также при оценке абсцессов и онкопатологии. КТ позволяет визуализировать не только органную патологию, но и сосудистые изменения, жидкость, газ, инородные тела.

МРТ в абдоминальной диагностике демонстрирует высокую эффективность в подострой и плановой диагностике, применяется при визуализации печени при хроническом гепатите, жировой инфильтрации, гемохроматозе, а также при дифференциации фокальных образований (гемангиом, аденом, ГЦК), как альтернатива КТ при противопоказаниях к йодсодержащим контрастам. Специализированные протоколы — МР-холангиография и МР-энтерография — являются ценными инструментами в диагностике патологии желчных протоков и воспалительных заболеваний кишечника.

Радионуклидные методы дают функциональную информацию при онкопатологии, уточнении метастатического поражения, стадировании рака желудочно-кишечного тракта.

УЗИ – приоритетный метод, который применяется как на догоспитальном, так и на госпитальном этапе. УЗИ позволяет выявить патологические образования всех паренхиматозных органов, а также оценить наличие свободной жидкости. Чувствительность УЗИ ограничена при кишечнике с обильным количеством газа и у пациентов с избыточной массой тела.

3.5 Забрюшинное пространство

Обзорная РГ может быть полезна, в основном, при мочекаменной болезни. В остальных ситуациях применяется только в случае недоступности других методов исследования.

КТ без контраста является золотым стандартом при диагностике мочекаменной болезни — она позволяет выявить камни и проследить их в динамике. КТ с внутривенным контрастом (КТ-урография) незаменима при подозрении на опухоли, травмы, обструкции и аномалии развития. Метод позволяет зафиксировать выделительную функцию почек и тем самым визуализировать анатомию мочевых путей на всем протяжении.

КТ позволяет визуализировать надпочечники при подозрении на опухоли (аденома, карцинома, феохромоцитома, метастазы).

МРТ используется при противопоказаниях к КТ с контрастом. МРТ также применяется для оценки сложных кист, опухолей, тромбоза вен и воспалительных процессов.

МРТ полезен для дифференциации липидных и нелипидных опухолей почек и надпочечников. МР-урография также позволяет визуализировать мочевые пути на всем протяжении, но занимает большее количество времени, чем КТ-урография.

Функциональная сцинтиграфия с использованием MAG3 и DMSA — позволяет оценить структуру и дренажную способность почек. Сцинтиграфия с MIBG и SRS для выявления опухолей надпочечников. Меченый холестерин для диагностики первичного гиперальдостеронизма (синдром Кона).

УЗИ является методом первичной визуализации при подозрении на мочекаменную болезнь, гидронефроз, кистозные образования, аномалии развития. Метод позволяет оценить размеры почек, структуру паренхимы, наличие расширения чашечно-лоханочной системы, объём остаточной мочи. Однако чувствительность метода ограничена при ожирении и при визуализации мочеточников.

3.6 Органы малого таза

Обзорная РГ органов малого таза не рассматривается как самостоятельный диагностический метод ввиду малой информативности.

КТ используется преимущественно при оценке распространения опухолевого процесса и травме малого таза. В гинекологии имеет ограниченное применение, однако незаменим при подозрении на осложнённый воспалительный процесс (например, tuboовариальный абсцесс), распространение онкологического процесса на забрюшинные структуры, а также в экстренных ситуациях, таких как разрыв кисты или апоплексия яичника при нестабильной гемодинамике.

МРТ применяется в случаях, когда необходимо уточнить характер образования, его распространённость и степень инвазии при подозрении на эндометриоз, опухоли тела и шейки матки, а также при врождённых аномалиях развития матки и влагалища. МРТ незаменима при планировании операций у пациенток с бесплодием, при подозрении на опухоли яичников и при дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов. МРТ применяется при раке предстательной железы, в сочетании с биопсией под контролем МРТ/УЗИ.

ПЭТ-КТ применяется для стадирования, выявления рецидивов и оценки ответа на лечение при злокачественных опухолях органов малого таза: раке шейки матки, эндометрия, яичников, а также при нейроэндокринных опухолях. Метод позволяет оценить метаболическую активность, выявить отдалённые метастазы и дифференцировать послеоперационные изменения от рецидива.

У женщин трансабдоминальное и трансвагинальное УЗИ является основным методом первичной визуализации. Метод позволяет быстро и безопасно оценить структуру матки, эндометрия, яичников, а также выявить воспалительные изменения, миомы, кисты, гидросальпинкс, аномалии развития. В урологии УЗИ также является методом выбора для оценки мочевого пузыря, предстательной железы и семенных пузырьков у мужчин.

3.7 Позвоночник и спинной мозг

Обзорная РГ используется как первичный метод при подозрении на деформации, остеохондроз, спондилёз, сколиоз, компрессионные переломы. Несмотря на ограниченную информативность в оценке мягкотканых и спинальных структур, она остаётся доступным методом скрининга в амбулаторной практике.

КТ имеет преимущество при визуализации костных структур и применяется при острых травмах (в том числе высокоэнергетических), при подозрении на нестабильность, а также в предоперационном планировании и оценке деструктивных процессов, например, при туберкулёзном спондилите. КТ позволяет точно оценить состояние тел позвонков, дуг, и корешковых каналов.

МРТ является золотым стандартом при патологии спинного мозга, межпозвонковых дисков, связочного аппарата, при подозрении на опухоли, миелопатию, остеомиелит и эпидуральный абсцесс. Протоколы МРТ позволяют проводить детальную оценку позвоночного канала и содержимого, особенно при хронических болях и радикулопатии.

Радионуклидная диагностика применяется для выявления воспалительных и метастатических поражений позвоночника. ПЭТ/КТ особенно ценна при онкопоиске, диагностике рецидивов опухолей и при дифференциации инфекционного и опухолевого поражения при неоднозначных данных КТ и МРТ.

УЗИ для визуализации структур позвоночника и спинного мозга не применяется.

3.8 Мягкие ткани

Обзорная РГ мягких тканей в методических рекомендациях рассматривается только как дополнительный, вспомогательный метод при наличии металлических инородных тел, кальцинатов или оссификатов. Для полноценной оценки мягкотканых структур обзорная РГ не рекомендуется.

КТ в данной области имеет ограниченное применение – преимущественно при подозрении на кальцификации, плотные компоненты, костную инвазию или при невозможности проведения МРТ.

МРТ обладает максимальной контрастностью для мягкотканых структур и служит золотым стандартом при оценке распространённости опухолей, дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов, а также при планировании хирургического вмешательства. МРТ с контрастом позволяет оценить васкуляризацию, периневральное и сосудистое вовлечение, инвазию в кости.

ПЭТ/КТ используется при наблюдении и стадировании сарком мягких тканей, при контроле ответа на химиотерапию и при подозрении на рецидив. Позволяет дифференцировать послеоперационные изменения от рецидивов и отслеживать распространение опухолевого процесса.

УЗИ остаётся методом выбора при оценке поверхностных образований, кист, гематом, воспалительных инфильтратов и инородных тел. Метод УЗИ применяется при пункционных и биопсийных манипуляциях, а также при послеоперационном наблюдении за пациентом.

3.9 Кости и суставы

При патологии конечностей рентгенография остаётся первым этапом диагностики при травмах, болевых синдромах, воспалительных и дегенеративных изменениях суставов. Она широко применяется при подозрении на переломы, остеоартрит, остеомиелит и подагру (визуализация тофусов и эрозий).

Компьютерная томография применяется при сложных и множественных переломах, планировании остеосинтеза, особенно в области мелких суставов (стопа, кисть). Метод используется также при оценке сращения переломов и при 3D-моделировании в ортопедии.

МРТ обеспечивает точную визуализацию внутрисуставных структур — менисков, хрящей, связок, сухожилий и кости. Метод незаменим при хронической боли, нестабильности сустава и после травм.

Радионуклидные методы применяются при остеомиелите, скрытых стресс-переломах, опухолях кости и при определении активности воспалительного процесса в суставе.

УЗИ позволяет оценить сухожилия, связки, синовиальные оболочки, выявить выпоты и кисты (например, Бейкера). Он используется в травматологии, ревматологии и спортивной медицине.

Краткое описание потенциала использования метода МРТ для основных областей тела приведено в Приложении В с целью возможного снижения лучевой нагрузки.

4. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ ВСЕГО ТЕЛА В ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Магнитно-резонансная томография всего тела (WB-MRI - Whole-Body MRI) представляет собой современный высокоинформативный метод визуализации, позволяющий одновременно оценивать состояние большинства анатомических областей организма без использования ионизирующего излучения. Метод основан на сочетании анатомических и функциональных последовательностей, включая диффузионно-взвешенные изображения (DWI), что обеспечивает высокую чувствительность при выявлении опухолевых, воспалительных и метастатических изменений. WB-MRI применяется преимущественно в онкологии для первичного стадирования, оценки эффективности лечения, выявления рецидивов и динамического наблюдения, особенно у пациентов, требующих многократных повторных исследований. Важным преимуществом метода является отсутствие лучевой нагрузки, что делает его перспективной альтернативой компьютерной томографии и ПЭТ/КТ в ряде клинических ситуаций, прежде всего у пациентов из групп риска и при необходимости длительного мониторинга заболевания.

4.1 Возможные показания

1. Пациентам с подтверждённым онкологическим диагнозом: С16 (желудка), С34 (bronхов и легких), С50 (молочной железы), С61 (предстательной железы), С 64 (почки), лимфома (С81–С96).
2. До начала лечения, в процессе лечения, в стадии ремиссии.
При этом важно учитывать, что пациент должен быть способен пролежать неподвижно в МРТ-сканере в течение 50 минут.

Клиническая информация о пациенте, необходимая для анализа МРТ-изображений, включает: лабораторные данные и архив предыдущих исследований.

4.2 Протоколы МРТ-исследования

Стандартный протокол WB-MRI (Whole-Body MRI) – от талии до стоп:

1. Cor T1W TSE 4-5 мм
2. Cor STIR 4-5 мм
3. Axial T1W GRE Dixon 5 мм
4. Axial T2 TSE 5 мм
5. Axial DWI (b = 50 and 800-100) fat-suppression 5 мм
6. Головной мозг Axial T2 FLAIR 4-5 мм
7. Легкие T1- GRE Dixon TE 1.5 мсек, менее 3 мм

«Стандартный» протокол МРТ всего тела разработан для пациентов с повышенным риском рака, включая пациентов с синдромами предрасположенности к раку, рекомендуется для поиска отдаленных метастазов при первичном стадировании, биохимическом рецидиве на фоне проводимой терапии. Этот протокол должен быть выполнен **в течение 50 минут**, может быть адаптирован по мере необходимости для других специфических анатомических областей [18-19].

Укороченный протокол WB-MRI – от основания черепа до средней трети бедра:

1. Cor STIR 4-5 мм
2. Axial T1W GRE Dixon 5 мм
3. Axial T2 TSE 5 мм
4. Axial DWI (b = 50 and 800-100) fat-suppression 5 мм
5. Головной мозг Axial T2 FLAIR 4-5 мм
6. Легкие T1- GRE Dixon TE 1.5 мсек, менее 3 мм

Этот протокол предложен для скрининга рака в общей популяции. По сравнению со стандартным протоколом, сагиттальная T1-взвешенная визуализация всего позвоночника не выполняется (поскольку вероятность метастазов в костях у общей популяции крайне низка). Этот протокол может быть выполнен **в течение 30 минут**.

4.3 Алгоритм анализа МРТ изображений

Основные этапы алгоритма анализа изображений МРТ всего тела:

1. Проводится сводная оценка 14 зон интереса, включая: 7 зон скелета (череп; шейный, грудной и поясничный отделы позвоночника; кости таза; рёберно-грудинный комплекс; конечности), 3 группы лимфоузлов (регионарные, отдаленные и другие), 3 висцеральные зоны (печень, легкие и другие) и первичный очаг (при использовании расширенного протокола).
2. Начинать просмотр с МIP-реконструкций диффузионно-взвешенных изображений (DWI) с высоким b-фактором (800–1000). Это позволяет быстро визуализировать потенциальные очаги поражения по всему телу и определить приоритетные зоны для детального изучения.
3. Поэтапная оценка по анатомическим регионам, начиная с костной системы. При этом каждый подозрительный очаг анализируется с использованием:
 - DWI (визуальное усиление сигнала по сравнению с окружающими мышцами),
 - ADC карт видимого коэффициента диффузии (ИКД) – для количественной характеристики,
 - анатомических последовательностей: T1 Dixon, T1 SE, STIR, T2 TSE.
- 3.1. Интерпретация ИКД (ADC) для костной системы, значение внутри ROI:
 - нормальный костный мозг: $\leq 0,6-0,7 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$;
 - жизнеспособная опухоль: $\sim 0,7-1,4 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$;
 - наблюдаются при патоморфозе и некрозе $\geq 1,4 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$.
- 3.2. На T1 Dixon-изображениях метастатическое поражение костного мозга проявляется снижением жирового сигнала, которое рассчитывается по карте жировой фракции (Fat Fraction, FF%). На T1 SE и STIR последо-

вательностях оценка сигнала проводится сравнительно, по отношению к скелетной мускулатуре.

4. Лимфатические узлы оцениваются в 3 группах. На DWI лимфоузлы в норме ограничивают диффузию, но измерения выполняются по T1 или T2, начиная с регионарных. Интерпретация ИКД (ADC) для лимфатических узлов – значение внутри ROI:
- реактивный / доброкачественный узел $\geq 1,0-1,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$;
 - метастатический узел $0,7-1,0 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$.
5. Висцеральные органы оцениваются по DWI, картам ИКД, T1 и T2 последовательности. Интерпретация ИКД (ADC) для висцеральных органов следующая:

• **печень**

- нормальная паренхима: $\sim 1,1-1,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- гипоцеллюлярные метастазы: $\geq 1,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- гиперцеллюлярные метастазы
(например, из поджелудочной, лёгких): $\leq 1,0 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- гемангиомы, кисты: очень высокий ADC $\geq 2,0 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$

• **лёгкие** – точного порога нет:

- ADC вариабельный, но злокачественные очаги обычно $\leq 1,2 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- однако из-за наличия воздуха оценка может быть ограничена.

• **другие органы (почки, надпочечники, поджелудочная железа)** – порога нет:

- нормальные значения выше $1,3-1,5 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- метастазы часто имеют сниженные ADC $< 1,0 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$

4.4 Ограничения метода МРТ всего тела

К ограничениям метода МРТ всего тела относят – тяжесть

состояния пациента, высокая стоимость исследования, недоступность подходящего оборудования.

5. ПОТЕНЦИАЛ МЕТОДОВ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ, ВЫБОР МЕТОДОВ И АЛГОРИТМЫ ПРИ ИХ ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ

Каждый из методов лучевой диагностики обладает своими ключевыми преимуществами. КТ обеспечивает высокую пространственную точность, универсальность и короткое время сканирования (в среднем от 5 до 15 минут). МРТ отличается превосходной визуализацией мягкотканых структур и полным отсутствием ионизирующего излучения, что особенно важно при повторных исследованиях и у категорий пациентов из группы риска.

Несмотря на широкие диагностические возможности, каждый из методов имеет определённые ограничения:

- при КТ повышается лучевая нагрузка на пациента, возможны реакции на введение контраста,
- при МРТ длительность проведения процедуры (от 20 до 45 минут) больше, чем при КТ (10-15 минут); для МРТ характерны высокая стоимость, наличие определенных противопоказаний (металлические импланты, кардиостимуляторы, клаустрофобия и др.), точность диагностики снижается при наличии встроенных металлических конструкций.

5.1 Выбор метода при первичной диагностике

Основной принцип выбора метода — максимальная достоверность при минимальной лучевой нагрузке. Выбор метода диктуется клинической ситуацией.

- **Рентгенография** – метод первого выбора при патологии костей, суставов, лёгких (пневмония, туберкулёз), а также в скрининговых программах.
- **КТ** — предпочтительна при подозрении на объёмные про-

цессы головного мозга, травму внутренних органов, поражения средостения.

- **МРТ** – оптимальна для мягких тканей, ЦНС, суставов и позвоночника, органов малого таза и очаговых изменений органов брюшной полости.. Требуется больше времени. Выбор между КТ и МРТ: КТ лучше для костных деталей, МРТ – для оценки протяжённости поражения мягких тканей.
- **УЗИ** – метод первого выбора для органов брюшной полости, малого таза, щитовидной и молочной желез. Абсолютно безопасно, нет противопоказаний.

Для систематизации выбора используются критерии целесообразности ACR и отечественные клинические рекомендации.

5.2 Выбор метода при динамическом наблюдении

Динамическое наблюдение – повторные исследования для мониторинга течения болезни и оценки эффективности лечения. Главные задачи: сопоставимость результатов визуализации патологии и минимизация кумулятивной дозы облучения пациента.

В онкологии лучевая диагностика — ведущий метод наблюдения за состоянием пациента. При необходимости частого выполнения КТ (2–6 в год) используют оптимизированные протоколы (например, двухфазное сканирование, при котором доза облучения уменьшается по сравнению с традиционным четырехфазным протоколом КТ). В зависимости от локализации и распространенности неопластических очагов следует рассмотреть возможность использования протокола МРТ всего тела.

5.3 Выбор метода у пациентов группы риска

Беременные. Действует принцип – максимально низкая разумно достижимая доза. Предпочтение – УЗИ и МРТ. По жизненным показаниям можно использовать методы с

применением ИИ, но пациентка должна быть информирована о радиационных рисках.

Пациенты с металлоконструкциями. МРТ противопоказана при наличии у пациента ферромагнитных имплантатов. КТ с алгоритмами редукции артефактов — метод выбора для оценки костей.

Курящие с высоким риском рака лёгкого. Ввиду большей частоты у курящих лиц онкологических заболеваний по сравнению со всем населением, в рамках регулярной диспансеризации курильщикам рекомендуется скрининговая низкодозная КТ грудной клетки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лучевая диагностика — мощный высокотехнологичный инструмент визуализации патологии в современной медицине, однако его использование требует рационального подхода. Рост числа КТ-исследований — объективная реальность нашего времени, которую нельзя игнорировать. Внедрение принципов обоснования, оптимизации и нормирования (где это допустимо) позволяет минимизировать радиационные риски. В связи с этим современное правило — не должно назначаться и выполняться КТ без обоснованных показаний, а каждое такое исследование должно выполняться с максимально низкой разумно достижимой дозой (при которой не ухудшается качество визуализации патологии).

Применение данных рекомендаций в практической работе центра лучевой диагностики многопрофильной клиники позволит снизить лучевую нагрузку и радиационные риски у пациентов.

Список литературы

1. Тюрин И.Е. Лучевая диагностика в Российской Федерации. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2018. – Т.1, №4. – С. 43-51. DOI:10.37174/2587-7593-2018-1-4-43-51
2. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2025. – 424 с.
3. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. – 206 с.
4. Динамика оснащённости медицинских организаций Российской Федерации и федеральных округов компьютерными и магниторезонансными томографами за 2019-2023 годы / А. В. Поликарпов, Е. В. Огрызко, С. В. Моравская, [и др.] // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024. – № 3. – С. 749-764. – DOI: 10.24412/2312-2935-2024-3-749-764.
5. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47. – М., 2009. – 225 с.
6. МР 2.6.1.0296-22 Оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике посредством применения референтных диагностических уровней: 2.6.1. Радиационная гигиена. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Роспотребнадзор, 2022. – 57 с.
7. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиологической защите 2007 года: пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
8. European Society of Radiology (ESR). Impact of artificial intelligence on radiology: a EuroAIM survey among members of the European Society of Radiology // Insights Imaging. 2019 Oct 31;10(1):105. DOI: 10.1186/s13244-019-0798-3.
9. Obuchowski NA, Bullen JA. Receiver operating characteristic (ROC) curves: review of methods with applications in diagnostic medicine // Phys Med Biol. 2018 Mar 29;63(7):07TR01. DOI: 10.1088/1361-6560/aab4b1.
10. Hagiwara A, Fujita S, Ohno Y, Aoki S. Variability and Standardization of Quantitative Imaging: Monoparametric to Multiparametric Quantification, Radiomics, and Artificial Intelligence // Invest Radiol. 2020 Sep;55(9):601-616. DOI: 10.1097/RLI.0000000000000666.
11. Rumack C.M., Levine D. Diagnostic Ultrasound. – 5th ed. – Elsevier, 2017.
12. Wahl R.L., et al. Principles and Practice of PET/CT. – 2nd ed. – Wolters Kluwer, 2009. – 166 p.
13. Илясова Е.Б., Чехонацкая М.Л., Приезжева В.Н. Лучевая диагностика. Учебное пособие. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. – 432 с.

14. Постановов Р.А., Белохов Н.В., Глебов С.Г., Малек Д.А., Марченко, Н.В. Двухэнергетическая компьютерная томография в клинической практике. Возможности и современное состояние проблемы // REJR. – 2025. Т.15, № 4. – С. 239-258. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-4-239-258.
15. Сеницын В.Е. Магнитно-резонансная томография: учебное пособие. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 204 с.
16. Методические указания 2.6.1.2944–11 «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 19.07.2011 (в ред. МУ 2.6.1.3584-19 от 30.10.2019). М., 2019. – 41 с.
17. Методические рекомендации «Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма». Разделы 1 (Вып. 16, 2018), 2 (Вып. 19, 2018), 3 (Вып. 20, 2020), 4 (Вып. 17, 2020), 5 (Вып. 69, 2020), 6 (Вып. 52, 2020), 7 (Вып. 70, 2023), 9 (вып.23, 2020) / сост. С.П. Морозов, Д.С. Бурмистров [и др.]; под ред. С.П. Морозова // Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». –М.: ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2018 – 2023 гг.
18. Petralia G, Koh DM, Attariwala R, Busch JJ, et al. Oncologically Relevant Findings Reporting and Data System (ONCO-RADS): Guidelines for the Acquisition, Interpretation, and Reporting of Whole-Body MRI for Cancer Screening. *Radiology*. 2021 Jun;299(3):494-507. DOI: 10.1148/radiol.2021201740.
19. Eissa, L., Manosur, M. & Darweesh, R. The additive diagnostic role of diffusion-weighted magnetic resonance and chemical shift imaging (CSI) in differentiation between malignant and benign cervical lymph nodes // *Egypt J Radiol Nucl Med* 54, 161 (2023). DOI: 10.1186/s43055-023-01092-z.
20. Клинические рекомендации. Острый пиелонефрит (28.12.2024). Утв. Минздравом РФ. –22 с.
21. Клинические рекомендации. Перелом (вывих) грудного и пояснично-крестцового отдела позвоночника (05.11.2024). Утверждены Минздравом РФ. –133 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А.

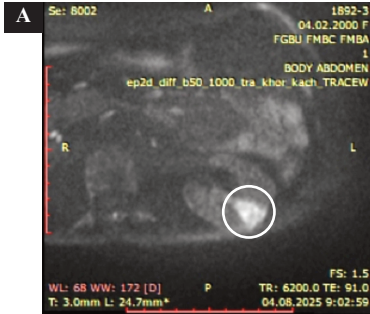
**Среднегодовые дозы облучения пациентов
при КТ-исследованиях**

№ п/п	Анатомические области	Средняя доза облучения пациента за одно КТ- исследование в ФМБЦ им. А.И.Бурназяна (M±m), мЗв (2024 г.)		РДУ для РФ (2020 г.)
		КТ без КУ	КТ с КУ	
1	Голова	2,08±0,06	3,63±0,35	2,0
2	Шея	2,35±0,53	8,61±1,26	-
3	ОГК	3,34±0,07	8,23±1,26	6,0
4	Сердце и сосуды	2,2±0,90	7,61±0,77	-
5	ОБП и ЗП и таза	10,08±0,80	25,15±1,34	11,0
6	Органы малого таза	4,63±0,90	12,2±0,87	13,0
7	Кости и мягкие ткани	2,55±0,44	-	-
8	ОГК, ОБП и ЗП и таза	10,73±0,76	23,75±0,61	-

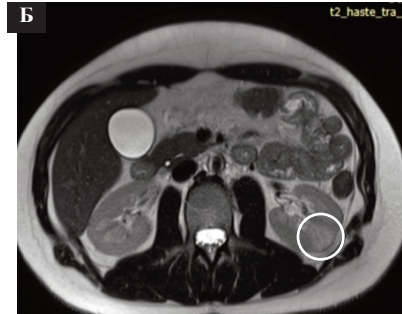
**Клинические примеры сопоставления МРТ с КТ
и уровни снижения лучевой нагрузки на пациента**

Пример №1.

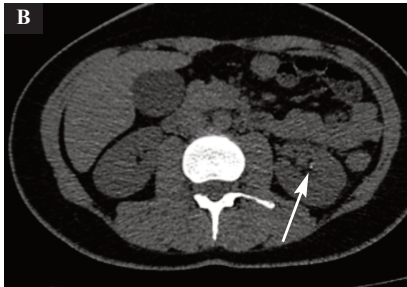
Пациентка А., 24 года обратилась с жалобами на боли в поясничном отделе спины, преимущественно слева. Первоначально предполагалась патология поясничного отдела позвоночника. При проведении МРТ признаков протрузии, способной вызвать компрессию нервных структур, выявлено не было. С учётом наличия у пациентки мочекаменной болезни в анамнезе, было принято решение расширить МРТ исследование до зоны почек в соответствии с [20]. На диффузионно-взвешенных изображениях (DWI) визуализировался клиновидный участок ограничения диффузии (рис.Б-1а), на T2-ВИ отмечалось отсутствие чёткой дифференцировки между корковым и мозговым веществом (рис.Б-1б), что в целом соответствовало признакам острого пиелонефрита. Для визуализации конкрементов пациентке была дополнительно выполнена КТ почек, по которой установили их наличие (рис.Б-1в). Поскольку данных МРТ в совокупности с результатами лабораторных анализами оказалось достаточно для постановки диагноза острого пиелонефрита, КТ с внутривенным контрастированием не проводили. Это позволило снизить лучевую нагрузку на пациентку (таблица Приложение А) с 25,15 мЗв до 10,08 мЗв, без потери диагностической информативности. На рисунке Б-1г приведены данные КТ с КУ другого пациента с пиелонефритом, которые позволяют заключить, что при остром пиелонефрите информативность МРТ не уступает КТ.



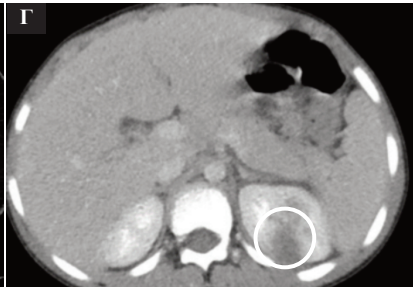
МРТ, DWI, аксиальная плоскость, выделен клиновидный участок ограничения диффузии в среднем полюсе левой почки



МРТ, T2-ВИ, аксиальная плоскость, выделена зона с отсутствием четкой дифференцировки между корковым и мозговым веществом левой почки



КТ без КУ, аксиальная плоскость, стрелкой указан мелкий конкремент в средней группе чашечек левой почки



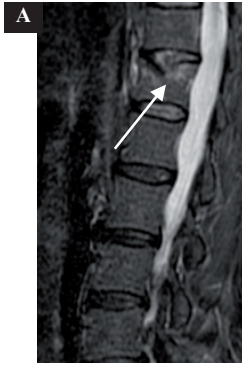
КТ с КУ, аксиальная плоскость, выделена гиповаскулярная клиновидная область почечной паренхимы в среднем полюсе левой почки

Рис. Б-1. Результаты визуализации у пациентки А-ва: а, б – острого пиелонефрита по данным МРТ в сравнении с КТ с КУ (г) и конкрементов в почке по данным КТ без КУ (в).

Пример №2.

Пациентка С., 45 лет, обратилась с жалобами на боль в поясничном отделе позвоночника. При МРТ поясничного отдела позвоночника, выполненной в декабре 2023 г. (рис. Б-2 а, б), на верхней границе зоны исследования выявлен острый компрессионный перелом Th12 позвонка - повышение сигнала на STIR за счет отека костного мозга, а также деформация верхней замыкательной пластинки позвонка без отломков, что позволило классифицировать перелом как стабильный. В соответствии с [21] для подтверждения диагноза проведена КТ (рис. Б-2 в). По результатам КТ данные МРТ подтвердились, пациентка С. находилась под динамическим наблюдением. В последующем исследования МРТ выполнялись каждые 4 месяца. В декабре 2024 г. было выполнено контрольное МРТ поясничного отдела позвоночника (рис. Б-2 г, д) и одновременно с этим КТ органов брюшной полости (рис. Б-2 е, б). При этом результаты обоих методов визуализации поясничного отдела позвоночника были сопоставимы - установлено прогрессирование снижения высоты тела Th12 позвонка с 30 % до 50 % от нормы.

Данный клинический случай демонстрирует, что при контроле стабильных компрессионных переломов позвонков в соответствии с принципом обоснованности, целесообразна замена КТ на МРТ, это позволяет исключить облучение пациента в суммарной дозе 20,07 мЗв: в дозе 4,77 мЗв (таблица Приложение А) – при замене КТ на МРТ во время первичного обследования и в дозе 14,3 мЗв – за счет замены 3-х КТ на 3-и МРТ при динамическом наблюдении.



МРТ STIR, при поступлении, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация верхней замыкательной пластинке Th12 позвонка, с перифокальным отеком



МРТ T2 WI, при поступлении, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация верхней замыкательной пластинке Th12 позвонка, со снижением высоты позвонка до 30 %



КТ без КУ, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация по верхней замыкательной пластинке тела Th12 позвонка в среднем отделе на 5мм (снижение на 30 %)



МРТ STIR, через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой указана деформация верхней замыкательной пластинке Th12 позвонка, без перифокального отека



МРТ T2 WI, через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой указана деформация верхней замыкательной пластинки Th12 позвонка, со снижением высоты позвонка до 50 %



КТ без КУ через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой показана компрессионная деформация тела Th12 позвонка за счет вдавления верхней замыкательной пластинки со снижением высоты позвонка до 50 %

Рис.Б-2. Результаты визуализации у пациентки С. компрессионного перелома 12 грудного позвонка (Th12) по данным МРТ (а, б, г, д) и КТ (в, е).

Потенциал МРТ в сравнении с КТ

№ п/п	Анатомическая область	Потенциал МРТ в сравнении с КТ
1	Головной мозг	При хронических и подострых заболеваниях центральной нервной системы МРТ может с высокой достоверностью заменить КТ, предоставляя более точную и безопасную информацию. Однако при острых состояниях: при подозрении на внутричерепное кровоизлияние и тяжёлую черепно-мозговую травму (ЧМТ), КТ остаётся методом выбора. Оптимальная тактика может включать этапность: начальное КТ с последующим повторным проведением МРТ при необходимости уточнения характера и распространения патологии в динамике заболевания.
2	Органы грудной клетки (ОГК)	МРТ может применяться у пациентов при необходимости многократных исследований (например, динамическое наблюдение при лимфомах у молодых пациентов). Магнитно-резонансная ангиография позволяют визуализировать сосуды грудной клетки без введения контрастного вещества.
3	Сердце и сосуды	МРТ не заменяет КТ при визуализации поражений коронарных артерий, но превосходит её при диагностике миокардитов, кардиомиопатий, опухолей сердца и врождённых аномалий. Дополнительным фактором, ограничивающим замену КТ на МРТ, является необходимость долгой чёткой синхронизации с дыханием, что затрудняет выполнение МРТ у некоторых категорий пациентов.
4	Органы брюшной полости (ОБП)	Оптимальным подходом является комплексное использование двух методов с учётом клинической ситуации: КТ — для экстренных задач, МРТ — для углубленной оценки и динамического наблюдения. Такое разделение позволяет снизить лучевую нагрузку и повысить точность диагностики, сохраняя клиническую целесообразность.
5	Забрюшинное пространство (почки и надпочечники)	МРТ может заменить КТ при плановом исследовании надпочечников (аденомы, феохромоцитомы, метастазы); при сложных кистах почек; при опухолях у пациентов с противопоказаниями к КТ с КУ; при необходимости визуализации мочеочечников без контраста. МРТ не может заменить КТ при мочекаменной болезни; при острых ургентных состояниях; при оценке кальцинатов, газа, плотных структур; в посттравматической оценке. КТ и МРТ в области почек и надпочечников не конкурируют, а дополняют друг друга.

Потенциал МРТ в сравнении с КТ

№ п/п	Анатомическая область	Потенциал МРТ в сравнении с КТ
6	Органы малого таза (гинекология и урология)	МРТ обладает высоким потенциалом для замещения КТ при большинстве гинекологических и урологических состояний, особенно в рамках онкопоиска, стадирования и диагностики репродуктивной функции. КТ необходима в urgentной практике, при оценке осложнений и для стадирования с визуализацией за пределами таза. Оптимальный выбор метода определяется клинической задачей и состоянием пациента.
7	Позвоночник	При дегенеративных заболеваниях позвоночника КТ может выявлять остеофиты, сужение межпозвонковых отверстий, но не даёт полной информации, в отличие от МРТ, которая позволяет визуализировать компрессию корешков и собственно спинного мозга. При подозрении на опухоли или воспаление (туберкулёзный спондилит, остеомиелит, метастазы), КТ визуализирует костные разрушения, но не позволяет оценить степень вовлечения спинного мозга, мягких тканей и паравerteбральных структур. МРТ также незаменима при ранней диагностике эпидурита, абсцессов и метастазов. Отдельное место занимает оценка позвоночника в послеоперационном периоде: МРТ лучше выявляет послеоперационный фиброз, остаточную компрессию и воспаление, в то время как КТ предпочтительнее при необходимости оценки установки металлоконструкций.
8	Мягкие ткани	МРТ применяется при первичной диагностике, планировании хирургических вмешательств, динамическом наблюдении и оценке рецидивов. Замещения КТ на МРТ не требуется, так как МРТ уже является методом выбора.
9	Конечности	МРТ незаменима в плановой травматологии для выявления патологических изменений костей (остеомиелит, стресс-переломы, опухоли), обладает диагностическими преимуществами перед КТ.

Тестовые вопросы для самоконтроля

1. За какое открытие Вильгельм Рентген получил Нобелевскую премию по физике?

- А) За изобретение компьютерной томографии
- Б) За открытие X-лучей в 1895 году
- В) За создание гибридной системы ПЭТ/КТ
- Г) За разработку магнитно-резонансной томографии

2. Какой метод лучевой диагностики, основанный на компьютерной реконструкции поперечных срезов, появился в 1970-х годах?

- А) Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)
- Б) Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
- В) Компьютерная томография (КТ)
- Г) Классическая рентгенография

3. Какой параметр из перечисленных НЕ используется для оценки информативности лучевого метода согласно тексту?

- А) Чувствительность
- Б) Специфичность
- В) Продолжительность исследования
- Г) Диагностическая точность

4. В каких клинических областях лучевая диагностика лежит в основе 80–90 % диагностических решений?

- А) Кардиология, гастроэнтерология, нефрология
- Б) Онкология, неврология, травматология
- В) Педиатрия, акушерство, геронтология
- Г) Психиатрия, дерматология, офтальмология

5. Какое ограничение является общим (встречается в тексте) для рентгенографии и компьютерной томографии?

- А) Высокая стоимость
- Б) Операторозависимость
- В) Ионизирующее излучение
- Г) Абсолютные противопоказания (кардиостимуляторы)

6. Для какого метода визуализации в тексте указано абсолютное противопоказание — наличие ферромагнитных имплантатов?

- А) Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
- Б) Радионуклидные методы (ПЭТ, ОФЭКТ)
- В) Рентгенография
- Г) Магнитно-резонансная томография (МРТ)

Приложение Г (продолжение).

Тестовые вопросы для самоконтроля

7. Какое основное противопоказание для проведения обзорной рентгенографии указано в тексте?

- А) Наличие кардиостимулятора
- Б) Беременность (особенно I триместр)
- В) Клаустрофобия
- Г) Уровень глюкозы в крови выше 11,2 ммоль/л

8. Согласно тексту, какой диапазон эффективных доз облучения характерен для компьютерной томографии (КТ) брюшной полости?

- А) 0,02–0,1 мЗв
- Б) 1–2 мЗв
- В) 7–8 мЗв
- Г) 8–13 мЗв

9. Что является абсолютным противопоказанием для проведения магнитно-резонансной томографии (МРТ) согласно тексту?

- А) Избыточная масса тела пациента
- Б) Наличие обычных зубных имплантов
- В) Наличие кардиостимулятора
- Г) I триместр беременности

10. Какой основной недостаток ультразвуковой диагностики (УЗИ) упомянут в тексте?

- А) Использование ионизирующего излучения
- Б) Высокая стоимость исследования
- В) Операторозависимость (зависимость результатов от квалификации врача)
- Г) Наличие абсолютных противопоказаний у беременных

11. Для какого радионуклидного метода исследования в тексте указана необходимость контроля уровня глюкозы в крови (не выше 11,2 ммоль/л)?

- А) ОФЭКТ с ^{99m}Tc
- Б) Сцинтиграфия с ^{123}I
- В) ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ
- Г) ОФЭКТ/КТ с ^{99m}Tc

12. Какой метод лучевой диагностики из перечисленных НЕ использует ионизирующее излучение и при этом обладает высочайшим контрастом мягких тканей?

- А) Обзорная рентгенография
- Б) Компьютерная томография (КТ)
- В) Магнитно-резонансная томография (МРТ)
- Г) Радионуклидные методы (ПЭТ, ОФЭКТ)

13. Какой метод лучевой диагностики является методом выбора при черепно-мозговой травме и подозрении на внутримозговое кровоизлияние в первые часы инсульта?

- А) МРТ без контраста
- Б) КТ без контрастирования
- В) ПЭТ/КТ с ^{18}F -ФДГ
- Г) Обзорная рентгенография черепа

14. Для оценки какого типа патологии МРТ является методом выбора благодаря высокой чувствительности к ишемии?

- А) Переломов основания черепа
- Б) Тромбоза венозных синусов
- В) Очагов ишемии
- Г) Кальциноза сосудов

15. Какой метод рекомендован в тексте как скрининг рака лёгкого у групп риска?

- А) Обзорная рентгенография
- Б) МРТ грудной клетки
- В) Низкодозовая КТ (НДКТ)
- Г) ПЭТ/КТ с ^{11}C -метионином

16. Какой метод визуализации сердца остаётся основным в рутинной клинической практике для оценки размеров камер, систолической функции и состояния клапанов?

- А) КТ с коронарографией
- Б) Сцинтиграфия миокарда
- В) Эхокардиография (ЭхоКГ)
- Г) МРТ сердца

17. При каком состоянии рентгенография (обзорная) применяется в экстренной практике согласно тексту?

- А) При остром аппендиците
- Б) При перфорации полого органа (подозрение)
- В) При тромбозе мезентериальных сосудов
- Г) При абсцессе печени

18. Что является «золотым стандартом» при диагностике мочекаменной болезни по данным текста?

- А) Обзорная рентгенография
- Б) УЗИ почек и мочевого пузыря
- В) КТ без контраста
- Г) МР-урография

19. В каком случае КТ органов малого таза незаменима согласно тексту?

- А) Для первичной визуализации миомы матки
- Б) При подозрении на эндометриоз
- В) При разрыве кисты яичника с нестабильной гемодинамикой
- Г) Для планирования ЭКО

20. Какой метод является «золотым стандартом» при патологии спинного мозга, межпозвонковых дисков и связочного аппарата?

- А) МРТ
- Б) КТ
- В) Обзорная рентгенография
- Г) ПЭТ/КТ

21. Какой метод обладает максимальной контрастностью для мягкотканых структур и служит золотым стандартом при оценке распространённости опухолей мягких тканей?

- А) УЗИ
- Б) КТ
- В) Обзорная рентгенография
- Г) МРТ

22. При какой патологии рентгенография остаётся первым этапом диагностики согласно разделу о костях и суставах?

- А) Разрыв мениска
- Б) Остеомиелит (начальная стадия)
- В) Переломы
- Г) Повреждение связок

23. Какой метод наиболее чувствителен при хронической тромбоэмболической болезни лёгочной артерии?

- А) КТ с контрастом
- Б) Сцинтиграфия
- В) МР-ангиография
- Г) Эхокардиография

24. Почему МРТ в диагностике заболеваний органов грудной клетки применяется ограниченно?

- А) Из-за высокой лучевой нагрузки
- Б) Из-за низкой плотности протонов в воздуходержащих структурах и артефактов от дыхания
- В) Из-за абсолютных противопоказаний (кардиостимулятор)
- Г) Из-за высокой стоимости и малодоступности

Тестовые вопросы для самоконтроля

25. Какое из перечисленных условий НЕ является обязательным показанием или требованием для проведения МРТ всего тела?

- А) Подтвержденный онкологический диагноз (например, С50 молочной железы)
- Б) Отсутствие противопоказаний к МРТ
- В) Наличие гистологического строения опухоли (обязательно для всех пациентов)
- Г) Проведение КТ ОГК, ОБП и ОМТ с ВВ за текущую госпитализацию (с интервалом не более 1–2 недель)

26. Какое значение видимого коэффициента диффузии (ИКД, ADC) для костной системы характерно для жизнеспособной опухоли?

- А) $\leq 0,6\text{--}0,7 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- Б) $\sim 0,7\text{--}1,4 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- В) $\geq 1,4 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$
- Г) $\geq 2,0 \times 10^{-3} \text{ мм}^2/\text{с}$

27. Какое ограничение метода МРТ всего тела указано в тексте?

- А) Невозможность оценки лимфатических узлов
- Б) Высокая лучевая нагрузка на пациента
- В) Недоступность подходящего оборудования
- Г) Отсутствие возможности оценки костной системы

28. Какой метод лучевой диагностики является методом первого выбора для органов брюшной полости, малого таза, щитовидной и молочной желез согласно тексту?

- А) Компьютерная томография (КТ)
- Б) Магнитно-резонансная томография (МРТ)
- В) Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
- Г) Обзорная рентгенография

29. Какая главная задача динамического наблюдения с использованием лучевых методов указана в тексте?

- А) Получение максимально детального изображения любой ценой
- Б) Сопоставимость результатов и минимизация кумулятивной дозы
- В) Обязательное использование контрастных веществ при каждом исследовании
- Г) Проведение исследования только в стационарных условиях

30. Какой метод предпочтителен для иммунокомпрометированных пациентов (онкогематология) при подозрении на пневмонию?

- А) МРТ лёгких
- Б) УЗИ лёгких
- В) Обзорная рентгенография
- Г) Компьютерная томография (КТ)

Приложение Г (окончание).

Тестовые вопросы для самоконтроля

Правильные ответы:

№ вопроса	Правильный ответ	№ вопроса	Правильный ответ
1	б	16	в
2	в	17	б
3	в	18	в
4	б	19	в
5	в	20	а
6	г	21	г
7	б	22	в
8	г	23	б
9	в	24	б
10	в	25	в
11	в	26	б
12	в	27	в
13	б	28	в
14	в	29	б
15	в	30	г

Примеры ситуационных задач

1. Мужчина 58 лет обратился в ваше отделение амбулаторно с жалобами на внезапную слабость в правых конечностях, нарушение речи, время от начала симптомов 2 часа. Из анамнеза накануне вечером стрессовые ситуации и эпизод повышения артериального давления.

***Задание:** какой метод лучевой диагностики необходимо выполнить в первую очередь, обоснуйте выбор метода, какое альтернативное исследование можно использовать?*

2. Женщина 45 лет обратилась с жалобами на острые боли в правой подвздошной области, температура 38°C, беременность исключена.

***Задание:** выбрать оптимальный алгоритм действий для врача-рентгенолога в такой ситуации.*

3. Мужчина 62 лет, из анамнеза известно о наличии рака лёгкого, после химиотерапии.

***Задание:** какой метод необходимо провести для оценки наличия отдаленных метастазов в головной мозг?*

Отпечатано в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России
123098, г. Москва, ул. Живописная, д. 46
тел.: 8 (499) 190-93-90
rcdm@mail.ru, lochin59@mail.ru
www.fmbafmbc.ru

Формат 60x90/16, Объем: 3.0 п.л.,
Бумага 80 г/м² офсетная, Гарнитура Times New Roman,
Тираж 1000 экз., Заказ №2026-431-мбУ

