



УДК 616-073.75-053.2-073.755.4
DOI: 10.56871/ViM.2025.92.83.003

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ КОНТРАСТНЫХ ВЕЩЕСТВ В СОВРЕМЕННОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ПЕДИАТРИИ

© Сабина Парвизовна Нарзиева, Наталья Викторовна Марченко, Алексей Иванович Ташчилкин, Дмитрий Леонидович Дубицкий, Елена Юрьевна Шевченко, Дмитрий Юрьевич Новокшонов, Дарья Дмитриевна Лопарева, Арина Александровна Дерягина, Роман Анатольевич Постаногов, Валерий Петрович Куценко

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Контактная информация: Сабина Парвизовна Нарзиева — врач-рентгенолог отделения функциональной и лучевой диагностики с кабинетами компьютерной томографии. E-mail: narzieva.sabina@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6163-6827> SPIN: 7437-1120

Для цитирования: Нарзиева С.П., Марченко Н.В., Ташчилкин А.И., Дубицкий Д.Л., Шевченко Е.Ю., Новокшонов Д.Ю., Лопарева Д.Д., Дерягина А.А., Постаногов Р.А., Куценко В.П. Использование и безопасность контрастных веществ в современной визуализации в педиатрии. Визуализация в медицине. 2025;7(1):27–35. DOI: <https://doi.org/10.56871/ViM.2025.92.83.003>

Поступила: 13.01.2025

Одобрена: 19.02.2025

Принята к печати: 26.03.2025

Резюме. Контрастные вещества (КВ) стали важным инструментом в медицинской визуализации, повышая четкость анатомических деталей и точность интерпретации результатов при рентгенографии, компьютерной томографии (КТ), магнитно-резонансной томографии (МРТ) и ультразвуковом исследовании (УЗИ). Несмотря на обширные рекомендации по их применению у взрослых, педиатрические протоколы остаются недостаточно разработанными. Это создает пробел в клинической практике, учитывая анатомо-физиологические особенности детей, включая скорость метаболизма, чувствительность к радиации и нюансы дозирования. В обзоре анализируются подходы к использованию контрастных средств в трех ключевых методах — КТ, МРТ и УЗИ — у пациентов от младенческого до подросткового возраста. Для КТ акцент делается на снижении доз йодосодержащих препаратов, минимизируя риски нефротоксичности и аллергических реакций. В МРТ обсуждаются гадолиниевые агенты, их безопасность при незрелом гематоэнцефалическом барьере и ограничения при почечной недостаточности. В УЗИ рассматриваются микропузырьковые средства, улучшающие детализацию сосудов и паренхиматозных органов, но требующие осторожности у детей младшего возраста. Особое внимание уделяется адаптации протоколов: коррекции объема контраста по массе тела, выбору менее инвазивных методик и учету психоэмоционального комфорта пациента. Подчеркивается необходимость создания унифицированных педиатрических руководств, основанных на мультидисциплинарном консенсусе, чтобы оптимизировать диагностическую ценность при минимизации потенциальных осложнений.

Ключевые слова: лучевая диагностика, контрастные вещества, педиатрия

THE USE AND SAFETY OF CONTRAST AGENTS IN MODERN IMAGING IN PEDIATRICS

© Sabina P. Narzieva, Natalya V. Marchenko, Alexey I. Tashchilkin, Dmitriy L. Dubitskiy, Elena Yu. Shevchenko, Dmitriy Yu. Novokshonov, Daria D. Lopareva, Arina A. Deryagina, Roman A. Postanogov, Valeriy P. Kutsenko

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

Contact information: Sabina P. Narzieva — radiologist at the Department of functional and radiation diagnostics with computed tomography rooms. E-mail: narzieva.sabina@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6163-6827> SPIN: 7437-1120

For citation: Narzieva SP, Marchenko NV, Tashchilkin AI, Dubitskiy DL, Shevchenko EYu, Novokshonov DYU, Lopareva DD, Deryagina AA, Postanogov RA, Kutsenko VP. The use and safety of contrast agents in modern imaging in pediatrics. Visualization in Medicine. 2025;7(1):27–35. DOI: <https://doi.org/10.56871/ViM.2025.92.83.003>

Received: 13.01.2025

Revised: 19.02.2025

Accepted: 26.03.2025

Abstract. Contrast agents (CAs) have become essential tools in medical imaging, enhancing the clarity of anatomical details and the accuracy of result interpretation in X-ray, computed tomography (CT), magnetic resonance imaging (MRI), and ultrasound (US). Despite extensive guidelines for their use in adults, pediatric protocols remain underdeveloped. This creates a gap in clinical practice, given children's distinct anatomical and physiological features, including metabolic rate, radiation sensitivity, and dosing nuances. This review analyzes approaches to using contrast agents across three key modalities — CT, MRI, and US — in patients ranging from infancy to adolescence. For CT, the focus is on reducing doses of iodine-based agents to minimize risks of nephrotoxicity and allergic reactions. In MRI, gadolinium-based agents are discussed, including their safety in the context of an immature blood-brain barrier and limitations in renal insufficiency. For ultrasound, microbubble agents are examined, which improve vascular and parenchymal organ visualization but require caution in younger children. Special emphasis is placed on protocol adaptations: adjusting contrast volume based on body weight, selecting less invasive techniques, and prioritizing patient psychological comfort. The need for unified pediatric guidelines, grounded in multidisciplinary consensus, is highlighted to optimize diagnostic value while minimizing potential complications.

Keywords: X-ray, contrast agents, pediatrics

ВВЕДЕНИЕ

Внутривенные контрастные вещества используются при проведении магнитно-резонансной томографии (МРТ), компьютерной томографии (КТ) и ультразвуковом исследовании (УЗИ) для анатомической оценки и определения характера поражения. Безопасность всегда имеет первостепенное значение при введении любых контрастных средств детям, поэтому радиологам и врачам, оформляющим заявку, важно знать о профиле безопасности и возможных побочных явлениях, которые могут возникнуть. В данной статье рассматриваются частота и типы нежелательных явлений, связанных с внутривенными контрастными средствами, о которых сообщается в педиатрической литературе. Внутривенные контрастные средства в целом безопасны в педиатрической практике. Тем не менее понимание возможных побочных эффектов, связанных с их применением, и мер профилактики таких редких осложнений крайне важно для предотвращения рисков и обеспечения безопасности пациентов. Кроме того, понимание особенностей накопления гадолиния в тканях может облегчить беседы с обеспокоенными врачами и родителями. Данный обзор представляет собой краткий, но исчерпывающий справочник для радиологов и врачей, назначающих исследования, по вопросам безопасности внутривенного контрастирования у пациентов детского возраста.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТРАСТНЫХ СРЕДСТВ У ДЕТЕЙ

Введение контрастных веществ возможно только при наличии клинических показаний, утвержденных Министерством здравоохранения РФ или другими регулирующими органами (например, FDA, EMA). Примеры показаний: КТ с контрастом — оценка опухолей, воспалений, сосудистых аномалий (например, тромбоз, аневризма). При использовании КС необходимо учитывать возраст и массу тела ребенка.

Стоит принимать во внимание диаметр внутривенного катетера, место его постановки для уменьшения риска травматизации сосудов, а также скорость введения. Для катетера 24-го калибра (G) максимальная скорость введения варьирует от 1 до 5 мл/с. Стоит отметить, что при неангиографической КТ, МРТ и УЗИ скорость введения контрастного вещества, как правило, составляет 1–2 мл/с. При КТ-ангиографии скорость введения контрастного вещества обычно составляет 2–3 мл/с [1].

Также при проведении детям лучевых исследований с контрастированием нужно выделить место, которое следует выделить с соблюдением общих принципов безопасного внутривенного контрастирования (анализ крови на креатинин для оценки функции почек, информированное согласие законного представителя на введение КС) [2].

С учетом индивидуальных особенностей детского организма при введении КС, необходимо провести опрос о наличии у ребенка аллергических реакций, уведомить законного представителя о возможных побочных эффектах при введении КС.

ВЫБОР КОНТРАСТНОГО СРЕДСТВА У ДЕТЕЙ

Условно можно выделить несколько классификаций КС (рис. 1). Во-первых, в зависимости от метода медицинской визуализации (рентгеноскопия, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография). Во-вторых, в зависимости от пути введения контрастного препарата (внутривенный путь, пероральный и т.д.).

КОНТРАСТИРОВАНИЕ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

При выборе контрастного препарата в педиатрической практике обращают внимание на такие свойства, как осмотическая активность и вязкость контрастного вещества. Осмотическая активность является способностью раствора вызывать движение воды в клетку или из нее. Дети имеют низкую



Рис. 1. Классификация рентгеноконтрастных средств [2]

Fig. 1. Classification of radiopaque media [2]

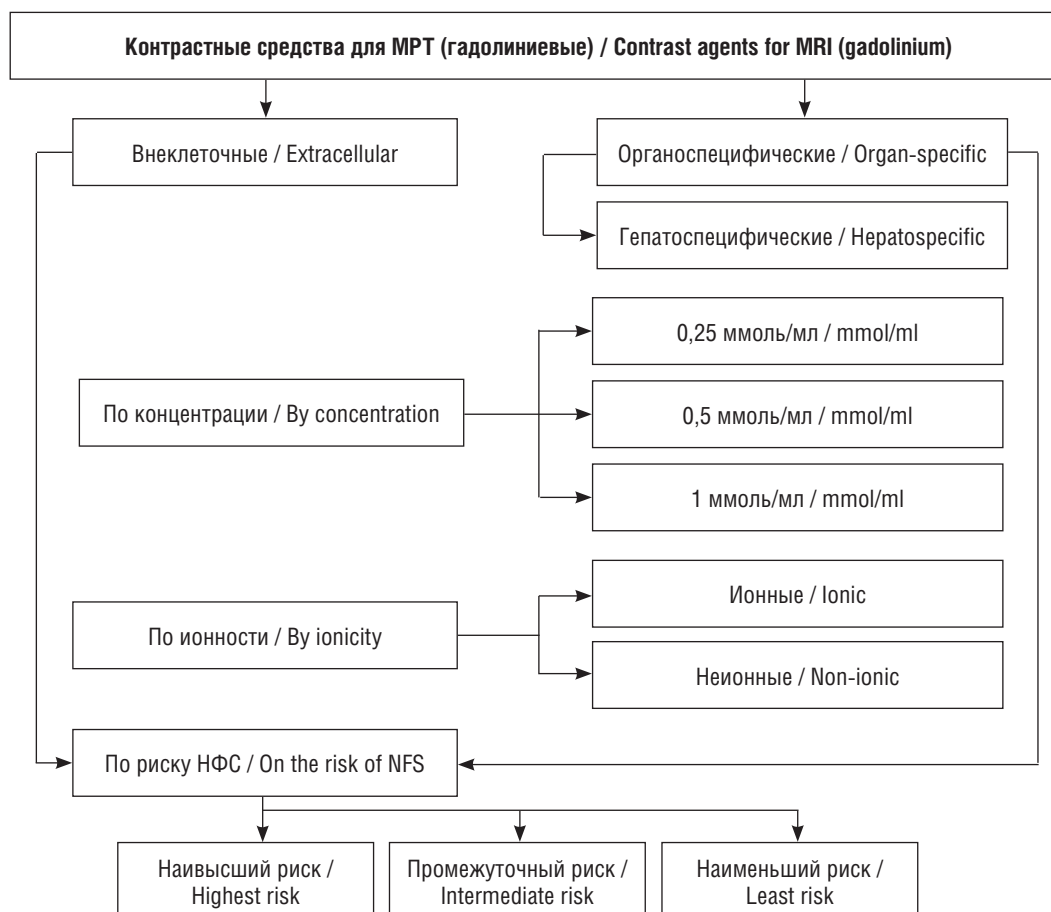


Рис. 2. Классификация контрастных средств для магнитно-резонансной томографии (МРТ) [2]

Fig. 2. Classification of contrast media for magnetic resonance imaging (MRI) [2]

переносимость к внутрисосудистой осмотической нагрузке, поэтому введение ребенку гиперосмолярного контрастного средства может привести к увеличению объема циркулирующей крови, в результате чего может возникнуть сердечная недостаточность и впоследствии отек легких. В свою очередь, вязкость йодосодержащего препарата играет важную роль непосредственно во время инфузии вещества и улучшает визуализацию. Более вязкие рентгеноконтрастные препараты способны повредить сосуд при инъекции. Для безопасного применения вязкого контрастного вещества рекомендуется увеличить температуру препарата [4].

Йодированные контрастные препараты содержат йод, который значительно повышает радиоплотность, способствуя лучшей визуализации сосудистых структур и органов. Йодированные препараты выпускаются в различных формах, с радиоплотностью от 25 до 30 единиц Хаунсфилда на миллиграмм йода на миллилитр, при напряжении трубки 100–120 кВ [5].

Существует два основных типа йодосодержащих контрастных веществ: ионные и неионные. Эффективность йодированных контрастных веществ обусловлена их сильным взаимодействием с рентгеновскими фотонами, что делает их незаменимыми для таких методов, основанных на рентгеновском излучении, как компьютерная томография и ангиография. Высокое атомное число йода значительно увеличивает поглощение рентгеновского излучения тканями, содержащими контрастное вещество, повышая контрастность рентгенографического изображения [5].

Сегодня используются неионные низко- или изоосмолярные средства из-за их повышенной безопасности и меньшего количества побочных реакций. Наиболее часто используемый препарат в педиатрической практике — неионный мономер иоверсол.

При проведении компьютерной томографии предпочтительно использовать неионные препараты с содержанием йода 300–320 мг/мл, так как применение низкого напряжения уменьшает необходимость высокой концентрации вводимого препарата.

Что касается объемов вводимого препарата детям, то им предпочтительно введение небольших (1,5–2 мл/кг) объемов КС. Следует учитывать прямую зависимость максимальной скорости введения контраста и наружного диаметра катетера: Предпочтительнее использовать катетеры малого диаметра и скорость введения от 0,5 до 5 мл/с [6].

КОНТРАСТИРОВАНИЕ В МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Магнитно-резонансная томография в педиатрии является незаменимым этапом в диагностике пато-

логических изменений в центральной нервной системе, опорно-двигательном аппарате, мышечной системе, брюшной полости и забрюшинном пространстве. С помощью применения парамагнитных контрастных препаратов врач-рентгенолог может проанализировать не только анатомические структуры, но и определиться с предположительным диагнозом, провести дифференциальную диагностику между заболеваниями, оценить функциональность органов систем.

Для МРТ используются макроциклические гадолиниевые контрастные препараты (рис. 2). Гадолиний является парамагнитным элементом, который изменяет скорость релаксации T1 протонов воды в тканях, что приводит к более яркому сигналу [6, 7]. Агенты на основе гадолиния взаимодействуют с протонами воды, ускоряя процесс релаксации T1. Парамагнитные ионы гадолиния создают колебательные магнитные поля за счет теплового движения, что приводит к более быстрому затуханию индуцированной поляризации. Это взаимодействие изменяет контрастные свойства близлежащих тканей на полученном МР-изображении [5].

В настоящее время наиболее востребованным и благоприятным в применении одномолярным контрастным препаратом в МРТ является гадобутрол. С 2014 года гадобутрол был одобрен для применения в педиатрии у детей любого возраста, включая доношенных новорожденных детей [2].

Однако, несмотря на широкий выбор парамагнетиков у детей, перед их использованием необходимо изучить инструкцию конкретного препарата, так как не все гадолиниевые агенты зарегистрированы для введения у детей с рождения. Существует ряд действий, которые следует выполнить перед использованием КВ у ребенка. К примеру, если зарегистрированное для применения у детей контрастное средство недоступно, то врачу-рентгенологу, во-первых, следует оформить согласие на введение парамагнетика у родителей. Вместе с тем, даже при наличии информированного согласия на введение гадолинийсодержащего средства от родителей, запрещается вводить препарат, не рекомендованный к применению у детей. В таком случае, во-вторых, проводится врачебная комиссия с обоснованием применения конкретного парамагнитного агента на основе гадолиния.

Для качественного проведения магнитно-резонансного исследования у детей необходимо обеспечить полную неподвижность во время всей процедуры. Помимо неврологических нарушений существует ряд других причин, по которым дети не могут сохранять неподвижность во время МР-процедуры. Например, выраженная двигательная

активность проявляется у детей с клаустрофобией, паническими атаками, боязнью проведения исследования, а также с заболеваниями, вызывающими мышечную/суставную боль.

Именно поэтому при подготовке к МРТ с контрастным усилением отдельное внимание необходимо обратить на устранение тревоги и движений пациента. В большинстве случаев приходится прибегать к различным методам седации детей. Наиболее распространенными являются внутривенное введение пропофола и ингаляционный метод анестезии севофлураном. Однако стоит отметить, что перед анестезиологическим обеспечением необходимо обосновать показания на наркоз и подготовить пациента (получить заключение от педиатра, провести электрокардиограмму (ЭКГ), сдать клинический анализ крови и часть биохимических показателей), также перед проведением исследования следует исключить противопоказания и за 4 часа до исследования не принимать пищу и воду [8].

ПРЕПАРАТЫ СУЛЬФАТА БАРИЯ

Помимо внутривенного существует пероральное контрастирование, которое чаще всего используется при рентгеноскопии желудочно-кишечного тракта.

Это ионное соединение состоит из бария, металлического элемента с атомным номером 56. Высокое атомное число сульфата бария делает его отличным поглотителем рентгеновского излучения для радиологической визуализации, его нерастворимость снижает токсичность и предотвращает всасывание в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ). Обычно сульфат бария принимают перорально или вводят с помощью клизмы. Сульфат бария эффективно покрывает слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта. Данный вид контрастирования помогает в диагностических задачах, а также при терапевтических решениях [5, 9–13].

КОНТРАСТИРОВАНИЕ В УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Ультразвуковое исследование считается незаменимым методом диагностики в педиатрической практике ввиду его экономичности, отсутствия ионизирующего излучения, необходимости седации, а также портативности. Для оценки функциональности органов для онкологических пациентов в кардиологической практике немаловажным дополнением в УЗИ является использование контрастирования. Среди наиболее популярных контрастных средств в настоящее время числятся Lumason, Optison и Definity различных произ-

водителей. Lumason, который наиболее часто используется в педиатрии, состоит из газообразного гексафторида серы, окруженного фосфолипидной оболочкой. Преимуществом данного контрастного препарата является то, что фосфолипидная оболочка выводится из организма через гепатобилиарную систему, а газ — через легкие [14]. Таким образом, выведение данного КС через почки не производится, а, соответственно, использование контрастирования при УЗИ не представляется затруднительным для детей с почечной недостаточностью. Контрастирование достигается путем ультразвуковой кавитации (микробузырьки под действием ультразвуковых волн сужаются и расширяются), за счет чего создается ультразвуковой сигнал, который улавливается датчиком [15].

Для детей дозировка КС составляет 0,03 мл/кг с максимальной дозой 2 мл.

Применение контрастирования в ультразвуковой диагностике в педиатрии оптимально для визуализации печени, а именно для характеристики очаговых поражений, чтобы эффективно дифференцировать доброкачественные процессы (гемангиомы и фокальные узловые гиперплазии) от злокачественных (гепатобластомы).

Помимо дифференциальной диагностики заболеваний печени, УЗИ с контрастированием играет важную роль в оценке аномалий почек у детей, для отличия сложных кист от солидных почечных образований. В кардиологии УЗИ с применением контраста помогает для выявления различных пороков сердечно-сосудистой системы, таких как дефекты межпредсердной перегородки и открытый овальный канал.

ВИДЫ ПОБОЧНЫХ РЕАКЦИЙ НА КОНТРАСТНЫЕ СРЕДСТВА

В настоящее время продолжают исследования по поводу влияния введения контрастных веществ на КТ и МРТ у детской группы населения. Наиболее часто побочные или нежелательные реакции наблюдаются при введении йодосодержащих контрастных средств, используемых в КТ.

Нежелательные реакции на КС делятся на следующие виды:

- 1) по времени возникновения — острые (развиваются в течение 1 часа от введения КС) и отсроченные (поздние, возникают в интервале от 1 часа до 1 недели после введения КС);
- 2) по месту возникновения — внепочечные (общие) и почечные (нефротоксичное действие КС);
- 3) специфические виды побочных реакций (нефрогенный системный фиброз; реакции, связанные с влиянием препаратов на свертываемость крови, функцию щитовидной железы,

а также вызванные взаимодействием с лекарственными средствами) [16].

Лечащий врач, назначающий исследование с контрастированием, должен заблаговременно собрать анамнез у законных представителей ребенка. Особенно стоит обратить внимание на наличие в анамнезе таких патологий, как бронхиальная астма, тяжелая аллергия на любые вещества и препараты, предыдущие умеренные или тяжелые острые реакции на КС.

Как было сказано ранее, острые побочные реакции развиваются в течение 1 часа от момента введения КС. Они представляют собой аллергоподобные, гиперчувствительные или хемотоксические реакции. По степени тяжести данные побочные реакции принято разделять на легкие, умеренные и тяжелые. При легких реакциях наблюдаются тошнота, кожная сыпь и зуд. При умеренных реакциях может добавиться бронхоспазм, отек лица и гортани, тяжелая рвота, вагусная сосудистая реакция. Острые побочные реакции тяжелой степени тяжести нередко требуют оказания экстренной медицинской помощи в связи с развитием гипотензивного шока, коллапса с судорогами, а также остановкой дыхания и/или сердечной деятельности.

Побочные реакции, возникающие в интервале от 1 часа до 1 недели после введения контрастного вещества, называются поздними. Характеризуются также кожными реакциями в виде сыпи, отека кожи и зуда. Помимо этого часто встречаются такие симптомы, как головная боль, тошнота, рвота, боли в мышцах. Однако зачастую многие из вышеописанных симптомов не связаны с действием КС [16, 17].

Специфические виды побочных реакций чаще всего развиваются на фоне хронической болезни почек, острой почечной недостаточности и у пациентов, находящихся на диализе. В связи с этим лучевых исследований с контрастным усилением следует избегать у пациентов данной группы населения.

В перечень мероприятий, предупреждающих появление нежелательных реакций на контрастные средства, входят:

- наблюдение за пациентом в течение 30 минут после введения контрастного вещества;
- присутствие врача — анестезиолога-реаниматолога, а также наличие всего необходимого для проведения экстренных реанимационных мероприятий;
- владение специалистами лучевой диагностики навыками оказания первой неотложной помощи, а также регулярные инструктажи по данной тематике.

ЭКСТРАВАЗАЦИЯ

Экстравазация внутривенного контрастного вещества в мягкие ткани является не самым частым

осложнением у детей (примерно 1% случаев у педиатрических пациентов). Однако стоит учитывать некоторые особенности по предотвращению распространения контрастного препарата внутрикожно или подкожно.

Риск повреждения мягких тканей при экстравазации КС выше при использовании высокоосмолярных препаратов (йодосодержащие контрастные вещества), поэтому препараты с низкой осмолярностью, как правило, редко вызывают некроз тканей при экстравазации [18].

Существуют различные факторы возникновения экстравазации у детей. К примеру, стоит учитывать особенности анатомического строения вен у пациентов педиатрического профиля. Большой риск экстравазации имеется у пациентов с нарушением артериальной перфузии или венозного оттока, а также у детей с малым диаметром и хрупкими стенками сосудов. В зоне риска находятся также дети, которым делают инъекции в области с меньшим количеством окружающих мягких тканей (тыльная сторона кистей или стоп). Не стоит забывать и о технических факторах, таких как несоблюдение техники установки внутривенных катетеров и неправильное использование автоматических инжекторов.

Основными симптомами при контрастной экстравазации могут быть отеки, ощущение стянутости, жгучей боли, эритема, болезненность или отек в месте инъекции.

В случае возникновения экстравазации следует тщательно наблюдать за состоянием ребенка до нивелирования симптомов. Началом лечения является приподнимание пораженной конечности, прикладывание на место инъекции холодного компресса [6].

КОНТРАСТ-ИНДУЦИРОВАННОЕ ОСТРОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ПОЧЕК

Острое постконтрастное повреждение почек (ОППП) вызывается внутривенным йодированным контрастом в течение 48 часов после введения и характеризуется повышением сывороточного креатинина более чем в 1,5 раза или на 26,5 мкмоль/л (0,3 мг/дл) и более от исходного уровня, снижением объема выделенной мочи до $\leq 0,5$ мл/кг в час в течение 6 часов после внутрисосудистого введения контрастного средства.

Патогенез ОППП связан с цитотоксичностью и вазоконстрикцией, вызванными контрастным веществом: ишемия паренхимы почек из-за вазоконстрикции, прямое токсическое действие на канальцевую систему, атероэмболия при проведении инвазивных вмешательств. К факторам риска па-

циента относятся гипотония, гиповолемия, острое или хроническое повреждение почек.

На основе скорости клубочковой фильтрации (СКФ) в 2018 году было выпущено руководство по оценке риска острого повреждения почек (RANZCR — Royal Australian and New Zealand College of Radiologists, Королевский колледж рентгенологов Австралии и Новой Зеландии):

Пациенты с СКФ ≥ 45 мл/мин/1,73 м ² / Patients with SCF ≥ 45 ml/min/1.73 m ²	Незначительный риск / Low risk
Пациенты с СКФ от 30 до 45 мл/мин/1,73 м ² / Patients with SCF from 30 to 45 ml/min/1.73 m ²	Низкий риск / Low risk
Пациенты с рСКФ ≥ 30 мл /мин/1,73 м ² / Patients with eGFR ≥ 30 ml/min/1.73 m ²	Повышенный риск / Increased risk
Пациенты с рСКФ 15 мл /мин/1,73 м ² / Patients with eGFR 15 ml/min/1.73 m ²	Терминальная стадия почечной недостаточности / End stage renal failure

Внутривенное контрастирование следует проводить только в том случае, если диагностическая польза значительно превышает риски. Пациентам из группы риска могут быть рекомендованы альтернативные методы визуализации, такие как бесконтрастная КТ, МРТ или УЗИ [5].

Разработанной тактики лечения ОППП не существует, поэтому следует уделить внимание профилактике, основным способом которой при ОППП является гидратация с внутривенным введением физиологического раствора. Существует два варианта гидратации:

- стандартный (0,9% раствор натрия хлорида внутривенно в дозе 3–4 мл/кг в час на протяжении 4 часов до введения контрастного препарата и 4 часов после этого);
- «долгий» (0,9% раствор натрия хлорида внутривенно в дозе 1 мл/кг в час на протяжении 12 часов перед введением контрастного препарата и 12 часов после этого).

Еще одним вариантом профилактики является гидратация с использованием натрия бикарбоната (защелачивание канальцевой мочи путем введения натрия бикарбоната может ослабить образование свободных радикалов, приводя к меньшему окислительному повреждению). Помимо этого имеются и другие варианты предотвращения развития ОППП: использование N-ацетилцистеина, витамина С, статинов, блокаторов ангиотензин-превращающего фермента и рецепторов ангиотензина II, заместительная почечная терапия [6, 19–21].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение лучевых исследований с контрастным усилением у пациентов педиатрического профиля остается важным инструментом в современной диагностике. Это обуславливает необходимость глубокого понимания специалистами лучевой диагностики специфики применения контрастных препаратов в детском возрасте, включая особенности дозирования, профиль безопасности и возрастные анатомо-физиологические ограничения.

Строгое соблюдение стандартизированных протоколов введения контрастных средств способствует повышению диагностической точности, минимизации артефактов и эффективной дифференциации патологических процессов. Оптимизация методик контрастирования не только улучшает визуализацию структур, но и обеспечивает своевременную постановку клинически значимого диагноза, что является ключевым фактором в выборе дальнейшей тактики ведения педиатрического пациента.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследований и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maloney E., Iyer R.S., Phillips G.S., Menon S., Lee J.J., Callahan M.J. Practical administration of intravenous contrast media in children: screening, prophylaxis, administration and

- treatment of adverse reactions. 2019;49(4):433–447. DOI: 10.1007/s00247-018-4306-6.
2. Mammias I.N., Spandidos D.A. The perspectives and the challenges of paediatric radiology: an interview with Dr Georgia Papaioannou, Head of the Paediatric Radiology Department at the ‘Mitera’ Children’s Hospital in Athens, Greece. *Exp Ther Med*. 2019;18:3238–3242.
 3. Гомболевский В.А., Лайпан А.Ш., Бадюл М.И., Инджиев А.А., Буренчев Д.В., Шапиев А.Н., Ким С.Ю., Подтетенов Д.С., Чернина В.Ю., Морозов С.П., Нуднов Н.В., Проценко Д.Н. Особенности применения контрастных препаратов в лучевой диагностике. Методические рекомендации. М.; 2019.
 4. Callahan M.J., Servaes S., Lee E.Y. et al. Practice patterns for the use of iodinated i.v. contrast media for pediatric CT studies: a survey of the Society for Pediatric Radiology. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;202:872–879.
 5. Clinical applications, safety profiles, and future developments of contrast agents in modern radiology: A comprehensive review. *Reabal Najjar*. 2024. DOI: 10.1002/ird3.95.
 6. Cheeney S.H.E., Maloney E., Iyer R.S. Safety considerations related to intravenous contrast agents in pediatric imaging. 2023. DOI: 10.1007/s00247-022-05470-z.
 7. McDonald R.J., Weinreb J.C., Davenport M.S. Symptoms associated with gadolinium exposure (SAGE): a suggested term. *Radiology*. 2021;302:270–273.
 8. Алиханов А.А., Шимановский Н.Л. Применение магнитно-резонансных контрастных средств в детской практике. 2016;1(7):82–94. DOI: 616-053.2-073.756.8.
 9. Andreucci M., Solomon R., Tasanarong A. Side effects of radiographic contrast media: pathogenesis, risk factors, and prevention. *BioMed Res Int*. 2014;2014:741018–20. DOI: 10.1155/2014/741018.
 10. Zaccarini D.J., Lubin D., Sanyal S., Abraham J.L. Barium sulfate deposition in the gastrointestinal tract: review of the literature. *Diagn Pathol*. 2022;17(1):99. DOI: 10.1186/s13000-022-01283-8.
 11. Макаров Л., Поздняков А., Позднякова О. Визуализация образа структур головного мозга. Визуализация в медицине. 2023;5(3):10–15.
 12. Шабалов Н.П., Иванов Д.О., Цыбулькин Э.К. и др. Неонатология. Том 2. М.: МЕДпресс-информ; 2004. EDN: QLGBMN.
 13. Подкаменев А.В., Караваева С.А., Мызникова И.В., Сырцова А.Р., Ти Р.А., Позднякова О.Ф., Кондратьев Г.В., Купатадзе Д.Д., Ли А.Г., Назарова И.В. Кровоизлияние в тимус, имитирующее объемное образование переднего средостения, как осложнение поздней геморрагической болезни у новорожденного. *Педиатр*. 2018;9(5):120–124. DOI: 10.17816/PED95120-124.
 14. McCulloch M., Gresser C., Moos S., Odabashian J., Jasper S., Bednarz J. et al. Ultrasound contrast physics: a series on contrast echocardiography, article 3. *J Am Soc Echocardiogr*. 2000;13(10):959–67. DOI: 10.1067/mje.2000.107004.
 15. Ntoulia A., Anupindi S.A., Back SJ et al. Contrast-enhanced ultrasound: a comprehensive review of safety in children. *Pediatr Radiol*. 2021;51:2161–2180.
 16. Синицын В.Е., Тюрин И.Е., Шимановский Н.Л., Кармазановский Г.Г., Быченко В.Г., Рубцова Н.А., Филатова Д.А. Безопасное использование контрастных средств в рентгенологии (методическое руководство Российского общества рентгенологов и радиологов). *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2023;104(6):363–384. DOI: 10.20862/0042-4676-2023-104-6-363-384.
 17. Dillman J.R., Ellis J.H., Cohan R.H. et al. Allergic-like breakthrough reactions to gadolinium contrast agents after corticosteroid and antihistamine premedication. *AJR Am J Roentgenol*. 2008;190:187–190.
 18. Amaral J.G., Traubici J., BenDavid G. et al. Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187:580–583.
 19. Синицын В.Е., Филатова Д.А., Мершина Е.А. Контраст-индуцированное острое почечное повреждение: современное состояние вопроса. *Медицинская визуализация*. 2022;26(1):27–39. DOI: 10.24835/1607-0763-1088.
 20. Крылова А.И., Сотникова Е.А., Гольбиц А.Б. Лучевые исследования с контрастным усилением у детей. *Педиатр*. 2016;7(1):111–119. DOI: 10.17816/PED71111-119.
 21. Kibrom B.T., Manyazewal T., Demma B.D., Feleke T.H., Kabtimer A.S., Ayele N.D., Korsa E.W., Hailu S.S. Emerging technologies in pediatric radiology: current developments and future prospects. *Pediatric Radiology*. 2023;53:1352–1363. DOI: 10.1007/s00247-022-05470-z.

REFERENCES

1. Maloney E., Iyer R.S., Phillips G.S., Menon S., Lee J.J., Callahan M.J. Practical administration of intravenous contrast media in children: screening, prophylaxis, administration and treatment of adverse reactions. 2019;49(4):433–447. DOI: 10.1007/s00247-018-4306-6.
2. Mammias I.N., Spandidos D.A. The perspectives and the challenges of paediatric radiology: an interview with Dr Georgia Papaioannou, Head of the Paediatric Radiology Department at the ‘Mitera’ Children’s Hospital in Athens, Greece. *Exp Ther Med*. 2019;18:3238–3242.
3. Gombolevsky V.A., Laipan A.Sh., Badyul M.I., Indzhiev A.A., Burenchev D.V., Shapiey A.N., Kim S.Yu., Podtetenev D.S., Chernina V.Yu., Morozov S.P., Nudnov N.V., Protsenko D.N. Features of the use of contrast agents in radiation diagnostics. Methodological recommendations. Moscow: 2019. (In Russian).
4. Callahan M.J., Servaes S., Lee E.Y. et al. Practice patterns for the use of iodinated i.v. contrast media for pediatric CT studies: a survey of the Society for Pediatric Radiology. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;202:872–879.
5. Clinical applications, safety profiles, and future developments of contrast agents in modern radiology: A comprehensive review. *Reabal Najjar*. 2024. DOI: 10.1002/ird3.95.

6. Cheeney S.H.E., Maloney E., Iyer R.S. Safety considerations related to intravenous contrast agents in pediatric imaging. 2023. DOI: 10.1007/s00247-022-05470-z.
7. McDonald R.J., Weinreb J.C., Davenport M.S. Symptoms associated with gadolinium exposure (SAGE): a suggested term. *Radiology*. 2021;302:270–273.
8. Alihanov A.A., Shimanovsky N.L. Use of contrast-enhanced magnetic resonance in pediatric patients. 2016;1(7):82–94. (In Russian). DOI: 616-053.2-073.756.8.
9. Andreucci M., Solomon R., Tasanarong A. Side effects of radiographic contrast media: pathogenesis, risk factors, and prevention. *BioMed Res Int*. 2014;2014:741018–20. DOI: 10.1155/2014/741018.
10. Zaccarini D.J., Lubin D., Sanyal S., Abraham J.L. Barium sulfate deposition in the gastrointestinal tract: review of the literature. *Diagn Pathol*. 2022;17(1):99. DOI: 10.1186/s13000-022-01283-8.
11. Makarov L., Pozdnyakov A., Pozdnyakova O. Visualization of the image of brain structures. *Visualization in Medicine*. 2023;5(3):10–15. (In Russian).
12. Shabalov N.P., Ivanov D.O., Tsybulkin E.K. and others. *Neonatology*. Volume 2. Moscow: MEDpress-inform; 2004. (In Russian). EDN: QLGBMN.
13. Podkamenev A.V., Karavaeva S.A., Myznikova I.V., Syrtsova A.R., Ti R.A., Pozdnyakova O.F., Kondratyev G.V., Kupatadze D.D., Li A.G., Nazarova I.V. Hemorrhage into the thymus, simulating the voluminous formation of the anterior mediastinum, as a complication of late hemorrhagic disease in a newborn. *Pediatrician*. 2018;9(5):120–124. (In Russian). DOI: 10.17816/PED95120-124.
14. McCulloch M., Gresser C., Moos S., Odabashian J., Jasper S., Bednarz J. et al. Ultrasound contrast physics: a series on contrast echocardiography, article 3. *J Am Soc Echocardiogr*. 2000;13(10):959–67. DOI: 10.1067/mje.2000.107004.
15. Ntoulia A., Anupindi S.A., Back S.J. et al. Contrast-enhanced ultrasound: a comprehensive review of safety in children. *Pediatr Radiol*. 2021;51:2161–2180.
16. Valentin E., Sinitsyn, Igor E., Tyurin, Nikolay L., Shimanovskiy, Grigoriy G., Karmazanovskiy, Vladimir G., Bychenko, Natalia A., Rubtsova, Daria A., Filatova. Safe Use of Contrast Media in Radiology (Clinical Guidelines). *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2023;104(6):363–384. (In Russian). DOI: 10.20862/0042-4676-2023-104-6-363-384.
17. Dillman J.R., Ellis J.H., Cohan R.H. et al. Allergic-like breakthrough reactions to gadolinium contrast agents after corticosteroid and antihistamine premedication. *AJR Am J Roentgenol*. 2008;190:187–190.
18. Amaral J.G., Traubici J., BenDavid G. et al. Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187:580–583.
19. Sinitsyn V.E., Filatova D.A., Mershina E.A. Contrast-induced acute kidney injury: current state of the art. *Medical Visualization*. 2022;26(1):27–39. (In Russian). DOI: 10.24835/1607-0763-1088.
20. Krylova A.I., Sotnikova E.A., Golbits A.B. The use of contrast media in radiology in children. 2016;7(1):111–119. (In Russian). DOI: 10.17816/PED71111-119.
21. Kibrom B.T., Manyazewal T., Demma B.D., Feleke T.H., Kabtimer A.S., Ayele N.D., Korsa E.W., Hailu S.S. Emerging technologies in pediatric radiology: current developments and future prospects. *Pediatric Radiology*. 2023;53:1352–1363. DOI: 10.1007/s00247-022-05470-z.