

УДК: 616-073.75+616-073.755.4  
DOI: 10.17816/PED71111-119

## ЛУЧЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ У ДЕТЕЙ

© А.И. Крылова, Е.А. Сотникова, А.Б. Гольбиц

ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России

Контактная информация: E-mail: a\_golbits@mail.ru – Александра Борисовна Гольбиц

Статья принята к печати 11.01.2016

**Резюме.** Использование метода искусственного контрастирования при проведении традиционного рентгенологического исследования (рентгенографии, рентгеноскопии), компьютерной томографии, магнитно-резонансной томографии играет важную роль в получении информации, которая в ряде случаев является основной для решения диагностических задач и выбора метода лечения пациента, в частности в онкологии. Существуют особенности введения контрастных препаратов у детей. Использование небольших объемов контрастного вещества (КВ) (1,5–2 мл/кг), применение катетеров малого диаметра и особенности сосудистого доступа осложняют введение контрастных веществ у новорожденных и детей младшего возраста. Если используемый кровеносный сосуд тонкий, то необходимо введение контрастного вещества вручную с визуальным контролем для уменьшения риска травматизации сосуда. Доза контрастного вещества рассчитывается с учетом массы тела и концентрации контрастного препарата. Скорость введения КВ зависит от количества и его концентрации, диаметра катетера. Важно придерживаться температурного режима при введении контрастного препарата. Как любой инвазивный метод, контрастное исследование сопряжено с рядом осложнений. У детей наиболее частыми осложнениями являются аллергические реакции и нарушение функции почек. Следует помнить, что оценка функции почек у детей должна производиться с использованием формулы Шварца. Общие принципы предупреждения аллергических реакций у детей аналогичны таковым у взрослых и включают в себя премедикацию с антигистаминными препаратами и глюкокортикоидами. Для уменьшения лучевой нагрузки необходимо использовать современные МСКТ и использовать специальные программы уменьшения лучевой нагрузки.

**Ключевые слова:** дети; рентгенологические исследования; контрастные вещества.

## THE USE OF CONTRAST MEDIA IN RADIOLOGY IN CHILDREN

© A.I. Krylova, E.A. Sotnikova, A.B. Golbits

Saint Petersburg State Pediatric Medical University of Health Ministry of Russia

Contact Information: E-mail: a\_golbits@mail.ru – Aleksandra B. Golbits

For citation: Pediatrician, 2016, vol. 7, No. 1, pp. 111–119

Accepted: 11.01.2016

**Abstract.** Using of contrast media (CM) during traditional x-ray examination, CT, MRI plays an important role in obtain information. This information can be crucial for the final diagnosis or making choice of treatment in different areas of medicine, like surgery, pediatrics, oncology, etc. Principles regarding contrast media utilization and associated adverse events are generally similar between children and adults, but of course have some important differences. The main peculiarities of introducing contrast in children are: using small volume of contrast media (1,5–2 ml/kg); small gauge angiocatheters (for example, 24-gauge) located in tiny peripheral vessels. It makes performing this method more hard in newborns and small children. Dose of CM is calculated according body weight and concentration of the stuff. It is important not to forget about optimal temperature mode during introducing CM. As any invasive method introducing of CM can be associated with some complications. The most frequent complications in pediatric patients are contract-induced allergy and contract-induced nephrotoxicity. The assessment of renal function in children is determined by the special formula (Schwartz Equation). General guidelines for the prevention of allergic-like reactions in children are similar to those used for adult patients and include premedication regimen, using a combination of corticosteroid and antihistamine. It is necessary to apply modern multi-layer spiral CT and special programs for reducing radiation exposure.

**Keywords:** children; contrast media; x-ray examinations.

## ВВЕДЕНИЕ

Использование метода искусственного контрастирования при проведении традиционных рентгенологических исследований (рентгенографии, рентгеноскопии), компьютерной и магнитно-резонансной томографий играет важную роль для решения диагностических задач и выбора методов лечения пациентов. Разработаны алгоритмы лучевых исследований с контрастным усилением для взрослых, но нет четких рекомендаций применения контрастных веществ (КВ) в педиатрии. Хотя общие принципы использования контрастного вещества и связанные с этим побочные реакции и осложнения, как правило, похожи у детей и у взрослых, необходимо конкретизировать основные их отличия для детей. При этом крайне важно обратить внимание на возможные реакции и осложнения при применении контрастных веществ.

## КОНТРАСТНЫЕ ВЕЩЕСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РОССИИ

В настоящее время для лучевой диагностики различных заболеваний внутренних органов используют рентгеновские лучи, явления магнитного резонанса и ультразвук. Возможности любого из этих видов диагностики многократно увеличиваются при использовании контрастных средств, которые можно разделить на 3 группы [1]:

- 1) рентгеноконтрастные средства (РКС);
- 2) магнитно-резонансные контрастные средства (МРКС);
- 3) ультразвуковые контрастные средства (УЗКС).

В то время как история разработки РКС началась практически сразу после открытия В.К. Рентгеном X-лучей в 1895 году, МРКС и УЗКС применяются в медицине лишь несколько десятилетий. Именно в разработке препаратов последних двух групп контрастных средств в последние годы заметен наиболее быстрый прогресс. Однако широкое использование в практическом здравоохранении методов диагностики с помощью рентгеновских лучей требует постоянного совершенствования и разработки новых препаратов группы РКС.

РКС делятся на две группы [28]:

- 1) рентгенонегативные, пропускающие рентгеновские лучи (диоксид углерода, азот, кислород, ксенон и другие газы);
- 2) рентгенопозитивные, задерживающие рентгеновские лучи (йодзамещенные и не содержащие йод вещества).

Рентгенопозитивные препараты имеют более высокую плотность, чем мягкие ткани и кости. Их плотность определяется атомной массой элементов, входящих в состав РКС. Ее увеличение приво-

дит к повышению контрастирования внутренних органов. Плотность мягких тканей примерно равна плотности воды ( $0,92-1,06 \text{ г/см}^3$ ), плотность йода —  $4,94 \text{ г/см}^3$  и бария —  $3,51 \text{ г/см}^3$ .

В качестве элементов, включаемых в РКС, наиболее приемлемыми оказались йод и барий. Препараты бария (сульфат бария) более полувека применяются для контрастирования желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), их главное достоинство — фармакологическая инертность, однако они неприменимы для паренхиматозных органов и сосудов.

Для целей ангиографии, урографии, холецистографии, миелографии и других разновидностей этих методов начиная с 50-х годов все шире используются органические йодсодержащие РКС.

Среди них выделяют ионные и неионные; мономерные и димерные йодсодержащие РКС. По результатам существующих доклинических и клинических исследований неионные РКС, по сравнению с ионными, обладают большей безопасностью и лучшей переносимостью.

Внедренные в медицинскую практику до 1969 года йодсодержащие органические РКС представляют собой соли, диссоциирующие в водных растворах. Их ионный характер и, следовательно, гиперосмоларность (в 5 раз выше, чем осмотичность крови) обуславливают ряд побочных эффектов: гипотонию, нефропатию, увеличение проницаемости капилляров, болезненность сосудов, тошноту, рвоту и др. Поэтому заметным шагом на пути улучшения переносимости РКС стало создание неионных препаратов, осмотичность которых в 2–3 раза ниже по сравнению с ионными РКС. Начиная с 80-х годов прошлого столетия были созданы и внедрены стабильные трийодированные мономерные неионные РКС (иогексол, иопромид и др.), которые обладали хорошей диагностической эффективностью и безопасностью. Тем не менее в нашей стране неионные РКС пока не полностью вытеснили ионные.

Все трийодзамещенные органические РКС классифицируются следующим образом.

### *I. Ионные*

1. Мономерные (производные бензойной кислоты: диатризоат, иокситаламат, йоталамат, метризоат, йодамид).
2. Димерные (производные ариламиноацетиламин-йодбензойной кислоты (йоксаглат):
  - полиметиленовые димеры трийодбензойной кислоты (йодипамид, йодоксамат, йотроксат).

### *II. Неионные*

1. Мономерные (йопамидол, иопромид, иогексол).
2. Димерные (йотролан, йодиксанол).

Частота побочных реакций зависит от используемого типа контрастного средства (ионное или

неионное). Оказывает влияние также его концентрация, объем, темп инъекции и факторы, зависящие от пациента.

РКС, применяемые для холеграфии и ангиографии, отличаются особенностями фармакокинетики и вводятся внутрь либо внутривенно, либо интравенно-артериально.

Внутривенные холецистографические вещества проникают через клеточные мембраны, активно секретируются печенью и диффундируют в желчные протоки. Они экскретируются печенью в неизменном виде.

Определенная часть холеграфических йодсодержащих РКС выделяется из организма с мочой, что необходимо учитывать при рентгенологическом исследовании больных с патологическими состояниями почек.

Особенностью фармакокинетики ангиоурографических средств является их циркуляция в сосудистом русле вне связи с белками и высокая (отчасти поэтому) скорость их экскреции почками (при условии нормального функционирования мочевыделительной системы). Они обычно экскретируются почками в неизменном виде.

На основании изучения механизмов транспорта РКС, их взаимодействия с белками плазмы, форменными элементами крови, мембранными структурами печени и почек сформулирована теория органотропности РКС, суть которой заключается в существовании для холецистографических РКС транспортных систем в клеточных мембранах, функционирующих по принципу молекулярного «узнавания», а для урографических РКС — специальных механизмов секреции и концентрирования в почечных канальцах.

Побочные реакции на внутрисосудистое введение ионных ангиоурографических РКС возникают примерно в 12% случаев, причем некоторые из них требуют проведения экстренных реанимационных мероприятий [19]. Несмотря на создание в последние десятилетия новых, менее токсичных РКС, проблема безопасности их использования остается весьма актуальной.

Побочные явления, вызываемые РКС, разделяют на хемотоксические и атопические (анафилактические и аллергические).

Атопические реакции, индуцируемые РКС, обусловлены высвобождением гистамина и других медиаторов. Они встречаются чаще у пациентов, склонных к аллергическим заболеваниям, и представляют главную опасность при клиническом использовании РКС. Хемотоксические эффекты присутствуют практически всегда и объясняются осмотической активностью РКС (снижением гематокрита вследствие выхода в сосудистое русло ткане-

вой жидкости и воды из клеток крови; осмотическим диурезом после попадания молекул РКС в просвет почечных канальцев), их липофильностью, электрическим зарядом, способностью взаимодействовать с биомакромолекулами и др. В отдельных участках центральной нервной системы (ЦНС) нет гематоэнцефалического барьера. Прямое действие контрастных средств на эти зоны (оно тем выше, чем выше осмотичность РКС) и может быть причиной побочных эффектов, таких как тошнота и рвота.

Можно классифицировать побочные реакции в зависимости от степени их выраженности:

- мягкие: тошнота, рвота, ощущение жара в сердце, покраснение, мягкая крапивница, чихание;
- промежуточные: легкая гипотензия, генерализованная крапивница, легкий бронхоспазм, диффузная эритема, сосудистый отек;
- тяжелые: гипотензия (систолическое давление меньше 70 мм рт. ст.), отек легких, отек надгортанника, тяжелый бронхоспазм, сердечная аритмия, остановка сердца.

Для уменьшения риска развития анафилактических реакций следует применять премедикацию (предварительное введение антигистаминных препаратов, глюкокортикоидов, адреномиметиков и др.).

Для предупреждения хемотоксических реакций используют противорвотные средства (метоклопрамид). Это особенно необходимо при введении ионных высокоосмотических РКС.

При подозрении на возможность появления аллергических реакций до введения РКС необходимо сделать прямой и непрямой базофильный тест (тест Шелли для диагностики аллергических заболеваний).

## ПРИМЕНЕНИЕ КОНТРАСТНЫХ ВЕЩЕСТВ У ДЕТЕЙ

*Йодсодержащие внутривенные контрастные вещества*

Осмотическая активность КВ — важное физическое свойство. Описаны различные осложнения при внутривенном введении йодсодержащих КВ, которые могут быть связаны с этим физическим свойством, в том числе побочные эффекты по типу атопических реакций, осложнения после экстравазации КВ [3].

Осмотичность КВ имеет особое значение у новорожденных и маленьких детей. Эти пациенты считаются особенно восприимчивыми к скорости введения и имеют более низкую толерантность к внутрисосудистой осмотической нагрузке по сравнению со взрослыми. Введение гипертонического КВ может привести к миграции жидкости из мягких тканей в кровеносные сосуды, следовательно, к увеличению объема циркулирующей крови.

Если скорость введения велика, в результате может развиться сердечная недостаточность и отек легких. У детей с уже существующей значительной сердечной недостаточностью особое внимание должно быть уделено использованию изосмотического КВ.

Вязкость КВ: существует прямая взаимосвязь между вязкостью и давлением, направленным на введение контраста. Попытки введения вязкого КВ с большой скоростью через катетер небольшого диаметра могут привести к повреждению сосуда, а также к невозможности достижения нужной скорости введения. Существуют различные способы изменения вязкости КВ. Кроме того, вязкость КВ не прямо пропорциональна концентрации йода. К примеру, вязкость йопамидола при условии использования в одинаковой температуре увеличивается параллельно концентрации и составляет 2,0 сантипуаза (сП) при дозировке 200 мг/мл и 9,4 сП — 370 мг/мл.

Вязкость КВ зависит от температуры. При повышении температуры вязкость уменьшается, что позволяет увеличить скорость введения. Исследование Вергара и Сенуэла, которое включало взрослых и детей, показало, что увеличение температуры вводимого КВ привело к меньшему количеству побочных эффектов после инъекции по сравнению с КВ комнатной температуры [27].

#### *Особенности введения контрастных веществ детям*

Использование небольших объемов КВ (1,5–2 мл/кг), применение катетеров малого диаметра и особенности сосудистого доступа осложняют введение КВ у новорожденных, грудничков и детей младшего возраста. Исследование Амарэла и др. [5] показало, что периферические катетеры 24-го калибра безопасно использовать при максимальной скорости введения 1,5 мл/с и с максимальным давлением до 150 фунтов на квадратный дюйм (PSI). Если используемый кровеносный сосуд тонкий, то необходимо введение КВ вручную, с визуальным контролем для уменьшения риска травматизации сосуда. Так как многие используемые в настоящее время центральные венозные катетеры не одобрены для таких инъекций, следует с особым вниманием выбирать периферический катетер, учитывая допустимое давление. Экстравазация контраста у детей имеет такие же симптомы как и у взрослых. В исследовании среди 554 детей, у которых был использован шприц-инжектор для введения йодсодержащего КВ, было зафиксировано 0,3 % экстравазаций. Большинство кровоизлияний в педиатрической практике проходят без дальнейших осложнений. (Исследование Van и др. [4] показало, что в 15 из 17 случаев

экстравазации КВ у детей была минимальной степени тяжести или без побочных эффектов).

### **ОСОБЕННОСТИ ЛЕЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ У ДЕТЕЙ С ОНКОЛОГИЧЕСКИМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ И ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ**

#### *Предупреждение аллергических реакций*

Общие рекомендации по профилактике аллергических реакций у детей аналогичны тем, которые используются для взрослых пациентов [11, 13]. Примеры премедикации в педиатрической практике с использованием комбинации кортикостероидов и антигистаминных препаратов: преднизолон из расчета 0,5–0,7 мг/кг, но не более 50 мг вводится за 13, 7 и 1 час до исследования; димедрол из расчета 1,25 мг/кг, не более 50 мг за час до исследования. Следует учитывать, что аллергические реакции могут произойти и после премедикации.

Дети реже страдают лекарственной аллергией, чем взрослые, но у больных детей на фоне основного заболевания (системной красной волчанки, бронхиальной астмы и др.) чаще, чем у здоровых, развивается лекарственная аллергия [23].

Для развития лекарственной аллергии большое значение имеет предшествующая сенсibilизация ребенка, особенно веществами белковой природы. Развитие лекарственной аллергии зависит от вида лекарственного препарата или от индекса сенсibilизации, а также от индивидуальных способностей организма ребенка [9, 10].

### **КОНТРАСТ-ИНДУЦИРОВАННАЯ НЕФРОПАТИЯ У ДЕТЕЙ**

#### *Оценка функции почек у детей*

Креатинин является продуктом распада скелетных мышц, и скорость его синтеза пропорциональна мышечной массе. Мышечная масса зависит от целого ряда факторов, в том числе возраста пациента, пола и уровня физической активности. Таким образом, нормальные концентрации креатинина сыворотки очень изменчивы в педиатрической практике, даже при сохранной функции почек. Нормальная концентрация сывороточного креатинина у детей увеличивается с возрастом, при этом значения верхних пределов нормы всегда меньше, чем у взрослых [18].

Креатинин сыворотки не используется как единственный маркер нарушения функции почек по нескольким причинам. Во-первых, нормальная концентрация креатинина в сыворотке крови не означает, что функция почек сохранена. Например, увеличение креатинина от 0,4 до 0,8 мг/мл у 10-летнего пациента могло бы быть клинически значимым и предполагать некоторую степень нарушения функции почек, хотя оба значения могут быть допустимы

для пациента его возраста. Концентрация креатинина сыворотки может не изменяться до тех пор, пока клубочковая фильтрация значительно не снизится. Во-вторых, в условиях острой почечной недостаточности увеличение концентрации креатинина сыворотки может занять несколько дней.

Оценка уровня мочевины крови также не является патогномичным симптомом нарушения функции почек. Концентрация мочевины зависит от множества факторов, помимо функции почек, в том числе от ежедневного рациона белков, функции печени и гидратации пациента.

Функцию почек у детей можно оценить с помощью скорости клубочковой фильтрации (СКФ). Важно отметить, что две формулы для расчета детской СКФ (см. ниже) отличаются от формул, которые применяются у взрослых. Расчет СКФ у детей требует знания концентрации креатинина сыворотки пациента и его роста.

#### *Измерение СКФ у детей*

Существует несколько лабораторных методов измерения концентрации креатинина сыворотки. Эти методы дают разные результаты. Не рекомендуется для оценки СКФ у детей метод щелочного пикрата (Jaffe), который имеет калибровку, прослеживаемую при спектроскопии массы растворимых изотопов [6, 7, 8, 14–17, 22, 25, 26].

*Уравнение 1:* (исходное уравнение Шварца)

$$\text{СКФ (мл/мин/1,73 м}^2\text{)} = (K \times \text{рост}) / \text{креатинин сывороточный,}$$

где  $K$  = константа, зависящая от возраста ребенка ( $K=0,33$  у недоношенных детей;  $K=0,45$  у младенцев до 1 года;  $K=0,55$  у детей до 13 лет;  $K=0,70$  у юношей из-за предполагаемого увеличения мышечной массы;  $K$  — для девушек остается постоянной 0,55);  
рост в сантиметрах;  
сывороточный креатинин в мг/дл.

По этой формуле (рекомендованной NKDEP) считается, что функция почек не нарушена при  $\text{СКФ} \geq 75 \text{ мл/мин/1,73 м}^2$ .

*Уравнение 2:*

$$\text{СКФ (мл/мин/1,73 м}^2\text{)} = (0,41 \times \text{рост}) / \text{креатинин сывороточный,}$$

где рост в сантиметрах;  
сывороточный креатинин в мг/дл.

*Контрастные вещества для исследования желудочно-кишечного тракта*

У детей чаще всего используются КВ на основе бария. Эти препараты можно вводить через рот, пря-

мую кишку, стомы или зонды, находящиеся в желудочно-кишечном тракте. Данные контрастные препараты, как правило, противопоказаны пациентам с подозрением или установленной перфорацией органа ЖКТ. В таких ситуациях препаратом выбора будут йодсодержащие КВ [21].

Как и в случае с внутривенными йодсодержащими КВ, при выборе пероральных РКС следует учитывать их осмолярность [12]. Гиперосмолярные йодсодержащие КВ в желудочно-кишечном тракте могут вызвать перемещение жидкости из просвета через стенку кишки и экстравазальное распространение между мягкими тканями и кровеносными сосудами. Новорожденные и дети старшего возраста с сердечной и почечной недостаточностью могут быть наиболее восприимчивы к такого рода осложнениям. У таких больных следует использовать низкоосмолярные или изоосмолярные КВ для исследования верхних отделов пищеварительного тракта. Что касается ректального применения, высокую осмолярность КВ обычно разбавляют до низкой осмолярности и до достаточной концентрации йода, необходимой для диагностической визуализации.

Высокоосмолярных йодсодержащих КВ следует избегать у детей с риском аспирации, так как это может вызвать химический пневмонит с последующим отеком легких [20]. Аспирация больших объемов контрастирующих веществ на основе бария и пероральных йодсодержащих контрастных средств может привести к летальному исходу [24].

#### *Контрастное усиление аорты и печени при мультиспиральной компьютерной томографии (64-спиральной) брюшной полости в педиатрии*

При проведении компьютерной томографии (КТ) с контрастным усилением у детей доза КВ рассчитывается с учетом массы тела и концентрации контрастного препарата. Внутривенный доступ, количество КВ, а также сроки начала сканирования у детей трудно стандартизировать.

Нередко объем введенного контрастного препарата зависит от вида исследования, для КТ-ангиографии (КТА) и перфузии требуется меньший объем, чем для исследований паренхиматозных органов.

Успех исследования сосудов КТА зависит от правильно подобранных параметров сканирования и методики инъекции контрастного препарата, в том числе его объема, концентрации, скорости введения, времени задержки сканирования.

Время задержки отличается у каждого пациента, оно зависит от показателей гемодинамики, места установки внутривенного доступа и скорости введения КВ. Начало КТА должно совпадать

с достижением пика концентрации КВ в просвете исследуемого сосуда, а продолжительность сбора данных должна быть сопоставима с протяженностью плато концентрации контрастного препарата в сосуде.

Если у взрослых можно использовать усредненные величины времени задержки поступления контрастного препарата, то у детей в связи с высокой скоростью кровотока и частотой сердечных сокращений это сделать трудно, поэтому чаще всего врач выбирает полуавтоматический режим и начинает ручную сканирование при достижении РКС зоны интереса.

Однако в отличие от КТА, существенное снижение количества КВ не применимо для КТ брюшной полости. Это связано с тем, что повышение контрастности в КТА зависит от скорости введения КВ, в то время как усиление контрастности в печеночной паренхиме в основном зависит от количества общей массы вводимого йода (т.е. концентрация в общем объеме КВ). Масса тела (точнее г йод/кг массы тела) является наиболее важным фактором, влияющим на контрастное усиление печени. Величина печеночного паренхиматозного усиления линейно уменьшается с увеличением массы тела больного. Таким образом, при обследовании больших пациентов общая нагрузка йодом должна быть увеличена для достижения полноценного печеночного контрастного усиления. Йодная нагрузка может быть увеличена за счет увеличения концентрации КВ, объема или скорости введения.

Скорость введения РКС у детей определяется возрастом и калибром установленного катетера и варьирует от 0,5 до 4 мл/с в зависимости от диаметра катетера, возраста и веса ребенка, целей исследования. В целом чем младше ребенок, тем медленнее скорость, и у детей в возрасте нескольких дней скорость может быть установлена 0,5–1,0 мл/с.

С появлением новых технологий КТ и новых КВ появилась клиническая необходимость пересмотра и переоценки традиционного подхода введения КВ у детей для контрастирования головы, брюшной полости, малого таза.

В подавляющем большинстве случаев у детей 2–12 лет достаточно скорости введения 1,5 мл/с для исследований головы, шеи, грудной клетки и 2 мл/с для исследования брюшной полости. При ангиографических исследованиях скорость составляет 2,0–4,0 мл/с в зависимости от возраста ребенка и типа катетера. Для маленьких детей с установленным катетером 0,8 × 25 мм скорость устанавливается 2 мл/с и ниже, для младенцев предпочтительнее введение контрастного препарата от руки со скоростью 1 мл/с или меньше.

Предпочтительнее использование неионного препарата с содержанием йода 300–320 мг/мл, так как использование низкого напряжения при исследованиях детей уменьшает потребность в высокой концентрации вводимого препарата. Напряжение 80 кВ увеличивает чувствительность к контрасту на 50% [2], и высокая концентрация вводимого препарата может вызвать значительные артефакты в верхней полой вене.

Доза вводимого препарата зависит от зоны исследования. При исследованиях головы, шеи, грудной клетки достаточно 1,5 мл/кг, при сканировании живота объем препарата составляет 2 мл/кг, максимально — 125–150 мл в зависимости от возраста и веса ребенка.

Максимальная скорость введения	Наружный диаметр катетера
5,0 мл/с	1,7–1,2 мм
4,0 мл/с	1,0 мм
2,5 мл/с	0,8 мм
1,0 мл/с	0,7 мм

При использовании КТ-перфузии требуется стандартное введение контрастного препарата из расчета не более 40 мл.

Инфузия со скоростью 1,0 мл/с обычно используется для рутинного исследования брюшной полости у новорожденных, а у детей 5–6 лет скорость введения может быть 3 мл/с (у взрослых пациентов скорость введения обычно 3–4,53 мл/с).

Время начала или отсрочки сканирования является решающим фактором для оптимального контрастного усиления. Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ) позволяет сканировать брюшную полость в течение нескольких секунд. В результате время сканирования в детской практике становится гораздо более важным и сложным показателем, чем у взрослых. Использование тестового среза и автоматическое отслеживание болюса — оптимальная методика контрастирования у детей. В последнее время некоторые исследователи рекомендуют выполнять эмпирическую задержку в 20 секунд после завершения автоматического введения КВ при МСКТ брюшной полости у детей в возрасте от 18 месяцев до 12 лет.

Применение 20-секундных постинъекционных задержек кажется более разумным подходом, особенно у маленьких детей, которым необходимо меньше КВ, при этом период порто-венозной циркуляции вводимого контрастного средства более короткий и, следовательно, короче время задержки сканирования. Для получения изображений (МСКТ) печени очень раннее сканирование, вероятно, приводит к неадекватному контрастному усилению паренхимы печени.

Таким образом, скорость введения РКС, объем введения, время задержки сканирования могут варьировать в зависимости от типа компьютерных томографов, параметров сканирования и протоколов введения КВ.

Чтобы добиться последовательного контрастирования аорты, сосудов и паренхимы печени у детей, при 64-МСКТ брюшной полости важно ввести адекватное количество КВ (должно быть скорректировано по весу пациента для всех возрастов) с адекватной скоростью введения, выбором правильного протокола сканирования.

#### *Снижение лучевой нагрузки при КТ у детей*

После внедрения спиральной компьютерной томографии в 1989 году и мультиспиральной КТ незадолго до конца прошлого века эти виды исследования получили широкое распространение в клинической практике. Это было вызвано множеством преимуществ: сверхбыстрое сканирование (близкое к реальному масштабу времени); отсутствие артефактов от дыхания и движений пациента; автоматическое изменение протокола проведения исследования в зависимости от частоты сердечных сокращений и дыхания пациента; наиболее полная реализация возможности изучения динамических процессов (перфузия миокарда, выявление очагов ишемии, перфузия головного мозга); объемное (спиральное) сканирование с толщиной среза 0,5 мм; большое число срезов для создания высококачественных трехмерных реконструкций (МСКТ-ангиография, исследование костной системы); высокая пропускная способность системы (исследование выполняется на одной задержке дыхания); оптимальное использование контрастных препаратов — снижение объема КВ, вводимого внутривенно, с одновременным значительным улучшением качества получаемого изображения. Оба метода позволяют потенциально получать изображения быстрее, обрабатывать изображения большего объема или получать тот же объем сканирования с еще большим геометрическим разрешением.

В современных машинах используются следующие программы снижения лучевой нагрузки:

- MCKT Phillips-O-MAR;
- MCKT GE-ASIR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction);
- MCKT Toshiba-AIDR 3D (Adaptive Iterative Dose Reconstruction).

Сама возможность использования КТ без анестезии при минимальной седации по сравнению с длительным МР-исследованием под наркозом открыли компьютерные томографы для педиатрической практики. Возможность обследовать большие объемы в течение нескольких минут особенно приветствуется

в педиатрии, например, для оценки стадирования злокачественных лимфом. Еще более важным фактором для детей является наличие сниженной коллимации среза для лучшего геометрического разрешения в Z-оси на новых сканерах без уменьшения в объеме покрытия. У детей, по сравнению со взрослыми, органы меньших размеров и, как правило, меньше жиров, которые являются естественным контрастным слоем между органами с одинаковой плотностью. Поэтому так важно получить хорошее изображение и достаточное контрастное усиление во время артериальной, венозной, паренхиматозной фазы, а также добиться контрастирования чашечно-лоханочной системы и мочеточников во время экскреторной фазы. В настоящее время с внедрением новых томографов мы имеем достаточные мощность генератора или компьютерные мощности для многофазных изображений; доза облучения, однако, растет линейно с числом фаз сканирования. В связи с этим так важно иметь четкие показания к исследованию от врачей-специалистов, выполнить исследование сразу, с достаточным контрастированием, с использованием программ с уменьшением лучевой нагрузки. Кроме того, 3D-пост-обработка и использование VRT стали важным инструментом для лучшего понимания результатов КТ для радиологов и прежде всего врачей-клиницистов. Это устранило один из основных недостатков КТ по сравнению с МРТ — сканирование только в одной плоскости.

Таким образом, новые технические разработки и появление новых контрастных препаратов в значительной степени повысили медицинскую значимость КТ, а многофазные исследования позволили с большей вероятностью предположить гистологическое происхождение образований. Это привело к увеличению количества контрастных КТ-исследований, выполняемых у взрослых и детей. Все большее количество людей выполняют КТ, лучевая нагрузка на население растет еще больше, чем отдельная нагрузка на пациента. Сегодня под впечатлением от возможностей технологии большинство врачей-радиологов не учитывают, какое количество миллизивертов получает пациент за очень короткое время КТ-сканирования. Практически не осталось сомнений, что КТ стала крупнейшим источником медицинского облучения, приводящим в 40–67% к медицинскому облучению населения [2].

Биологический эффект ионизирующего излучения у детей требует особого рассмотрения в связи с их повышенной чувствительностью к рентгеновскому облучению. По сути, при одинаковой эффективной дозе биологический эффект и риск для жизни ребенка будет выше, чем для взрослого. Это в первую очередь связано с анатомическими осо-

бенностями у детей. Например, КТ нижних конечностей: у взрослых низкая эффективная доза, в связи с тем что костный мозг представлен жировой тканью, в отличие от маленьких пациентов, у которых значительная часть красного костного мозга подвергнется воздействию. На клеточном и субклеточном уровнях пролиферация в период роста является одним из очевидных факторов повышенной восприимчивости.

Так как большинство злокачественных опухолей, индуцированных облучением, проявляются лишь через несколько лет или десятилетий после облучения, взрослые пациенты могут умереть естественной смертью до того, как проявится индуцированный рак; у детей есть больше шансов дожить до клинических проявлений опухоли. Щитовидная и молочная железы характеризуются более высокой радиочувствительностью в детском возрасте.

До недавнего времени было привычным, что радиологи применяют правила взрослого протокола для детей. Абсолютная сообщаемая энергия у детей меньше в соответствии с меньшим объемом подвергающихся облучению тканей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, использование метода искусственного контрастирования при проведении лучевых исследований играет важную роль в получении информации, которая в ряде случаев является основной для решения диагностических задач и выбора метода лечения пациента, в частности в онкологической практике.

Существуют особенности введения контрастных препаратов у детей. Использование небольших объемов КВ (1,5–2 мл/кг), применение катетеров малого диаметра и особенности сосудистого доступа осложняют введение КВ у новорожденных и детей младшего возраста. Если используемый кровеносный сосуд тонкий, то необходимо введение КВ вручную, с визуальным контролем для уменьшения риска траматизации сосуда.

Доза КВ рассчитывается с учетом массы тела и концентрации контрастного препарата.

Скорость введения КВ зависит от количества и его концентрации, диаметра катетера.

Важно придерживаться температурного режима при введении контрастного препарата.

Как любой инвазивный метод, контрастное исследование сопряжено с рядом осложнений. У детей наиболее частыми осложнениями являются аллергические реакции и нарушение функции почек. Следует помнить, что оценка функции почек у детей должна производиться с использованием формулы Шварца. Общие принципы предупреждения

аллергических реакций у детей аналогичны таковым у взрослых и включают в себя премедикацию с антигистаминными препаратами и глюкокортикоидами.

Для уменьшения лучевой нагрузки необходимо использовать современные МСКТ и специальные программы уменьшения лучевой нагрузки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ростовцев М.В., ред. Атлас рентгеноанатомии и укладок: руководство для врачей. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2015. – С. 17–30. [Rostovcev MV. Atlas of radiological anatomy and styling. M.: GEOTAR-Media; 2015:17–30. (In Russ).]
2. Abada HT, Chen X, Hennequin R, et al. Low-kilovoltage multi-detector row chest CT in adults: feasibility and effect on image quality and iodine dose. *Radiology*. 2004;231:169–74. doi: 10.1148/radiol.2311030191.
3. ACR Committee on Drugs and Contrast Media. ACR Manual on Contrast Media. 2013;9:47–53.
4. Adusumilli S, Cohan RH, Dunnick NR, et al. Frequency, management, and outcome of extravasation of nonionic iodinated contrast medium in 69,657 intravenous injections. *Radiology*. 2007;243:80–7. doi: 10.1148/radiol.2431060554.
5. Amaral JG, BenDavid G, Daneman A, et al. Safety of power injector use in children as measured by incidence of extravasation. *Am J Roentgenol*. 2006;187:580–3. doi: 10.2214/AJR.05.0667.
6. Auran A, Shao L, Warady BA. Nephrogenic fibrosing dermopathy in children. *Pediatr Nephrol*. 2006;21:1307–11. doi: 10.1007/s00467-006-0174-7.
7. Benador N, Breisch E, Chadwick AE, Krous HF, et al. Nephrogenic systemic fibrosis with multiorgan involvement in a teenage male after lymphoma, Ewing's sarcoma, end-stage renal disease, and hemodialysis. *Pediatr Dev Pathol*. 2007;10:395–402. doi: 10.2350/06-05-0093.1.
8. Blumberg M, Colome-Grimmer MI, Huttenbach Y, et al. Nephrogenic fibrosing dermopathy in a patient with systemic lupus erythematosus and acute lupus nephritis. *Pediatr Dermatol*. 2007;24:E36–9. doi: 10.1111/j.1525-1470.2007.00437.x.
9. Callahan MJ, Poznauskis L, Taylor GA, Zurakowski D. Non-ionic iodinated intravenous contrast material-related reactions: incidence in large urban children's hospital – retrospective analysis of data in 12,494 patients. *Radiology*. 2009;250:674–61. doi: 10.1148/radiol.2503071577.
10. Caoili EM, Cohan RH, Ellis JH, et al. Frequency, outcome, and appropriateness of treatment of nonionic iodinated contrast media reactions. *Am J Roentgenol*. 2008;191:409–15. doi: 10.2214/AJR.07.3421.
11. Cohan RH, Dillman JR, Ellis JH, et al. Incidence and severity of acute allergic-like reactions to i.v. nonionic iodinated contrast material in children. *Am J Roentgenol*. 2007;188:1643–7. doi: 10.2214/AJR.06.1328.

12. Cohen MD. Choosing contrast media for the evaluation of the gastrointestinal tract of neonates and infants. *Radiology*. 1987;162:447-56. doi: 10.1148/radiology.162.2.3541032.
13. Cohen MD, Herman E, Herron D, et al. Comparison of intravenous contrast agents for CT studies in children. *Acta Radiol*. 1992;33:592-5. doi: 10.1177/028418519203300620.
14. Cohan RH, Dillman JR, Ellis JH, et al. Frequency and severity of acute allergic-like reactions to gadolinium-containing i.v. contrast media in children and adults. *Am J Roentgenol*. 2007;189:1533-8. doi: 10.2214/AJR.07.2554.
15. Dharnidharka VR, Fennell RS, Wesson SK. Gadolinium and nephrogenic fibrosing dermopathy in pediatric patients. *Pediatr Nephrol*. 2007;22:1395. doi: 10.1007/s00467-006-0384-z.
16. Di Carlo JB, Gupta EA, Solomon AR. A pediatric case of nephrogenic fibrosing dermopathy: improvement after combination therapy. *J Am Acad Dermatol*. 2006;54:914-6. doi: 10.1016/j.jaad.2006.01.023.
17. Dyer J, Frieden IJ, Jan F, et al. Nephrogenic fibrosing dermopathy: two pediatric cases. *J Pediatr*. 2003; 143:678-681. doi: 10.1067/S0022-3476(03)00538-9.
18. Edelmann CM, Haycock GB J, Schwartz GJ, Spitzer A. A simple estimate of glomerular filtration rate in children derived from body length and plasma creatinine. *Pediatrics*. 1976;58:259-63.
19. Eriksson J, Fjellidal A, Nordshus T. Experiences with iohexol (Omnipaque) at urography. *Pediatr Radiol*. 1987;17:491-4. doi: 10.1007/BF02388286.
20. Friedman BI, Hartenberg MA, Mickell JJ, et al. Gastrografin aspiration in a 3 3/4-year-old girl. *Pediatr Radiol*. 1986;16:506-7. doi: 10.1007/BF02387968.
21. Gunn VL, Nechyba C. The Harriet Lane handbook: a manual for pediatric house officers. 16th ed. Philadelphia. Pa: Mosby; 2002.
22. Hassanein A, Jain SM, Wesson S, et al. Nephrogenic fibrosing dermopathy in pediatric patients. *Pediatr Nephrol*. 2004;19:467-70. doi: 10.1007/s00467-003-1380-1.
23. Katayama H, Kozuka T, Matsuura K, Seez P, Tet al. Adverse reactions to ionic and nonionic contrast media. A report from the Japanese Committee on the Safety of Contrast Media. *Radiology*. 1990;175:621-8. doi: 10.1148/radiology.175.3.2343107.
24. McAlister WH, Siegel MJ. Fatal aspirations in infancy during gastrointestinal series. *Pediatr Radiol*. 1984; 14:81-3. doi: 10.1007/BF01625811.
25. Munoz A, Schneider MF, Schwartz GJ, et al. New equations to estimate GFR in children with CKD. *J Am Soc Nephrol*. 2009;20:629-37. doi: 10.1681/ASN.2008030287.
26. Penfield JG. Nephrogenic systemic fibrosis and the use of gadolinium-based contrast agents. *Pediatr Nephrol*. 2008;23:2121-9. doi: 10.1007/s00467-008-0862-6.
27. Seguel S, Vergara M. Adverse reactions to contrast media in CT: effects of temperature and ionic property. *Radiology*. 1996; 199:363-6. doi: 10.1148/radiology.199.2.8668779.
28. [http://www.rlsnet.ru/fg\\_index\\_id\\_285.htm](http://www.rlsnet.ru/fg_index_id_285.htm).

#### ◆ Информация об авторах

Анна Игоревна Крылова — канд. мед. наук, доцент, кафедра онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. E-mail: vanya-krylov@mail.ru.

Елена Анатольевна Сотникова — канд. мед. наук, доцент, кафедра онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. E-mail: elena\_sotnikova@mail.ru.

Александра Борисовна Гольбиц — ординатор, кафедра онкологии с курсом лучевой диагностики и лучевой терапии. ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. E-mail: a\_golbits@mail.ru.

Anna I. Krylova — MD, PhD, Associate Professor, Dep. of With a Course of Radiation Oncology Diagnostics and Radiotherapy. St. Petersburg State Pediatric Medical University. E-mail: vanya-krylov@mail.ru.

Elena A. Sotnikova — MD, PhD, Associate Professor, Dep. of With a Course of Radiation Oncology Diagnostics and Radiotherapy. St. Petersburg State Pediatric Medical University. E-mail: elena\_sotnikova@mail.ru.

Aleksandra B. Golbits — Resident doctor, Dep. of With a Course of Radiation Oncology Diagnostics and Radiotherapy. St. Petersburg State Pediatric Medical University. E-mail: a\_golbits@mail.ru.