MODERN RADIOLOGY eBook

Контрастні речовини

EUROPEAN SOCIETY OF RADIOLOGY

Передмова

Сучасна радіологія – це безкоштовний освітній онлайн-ресурс із радіології від Європейського товариства радіології (***European Society of Radiology***, ESR). Назва цієї другої, оновленої версії відображає нову дидактичну концепцію електронної книги ESR – лаконічне поєднання тексту, зображень і схем, доповнених клінічними випадками, тестуванням, висновками, списком літератури та посиланнями для швидкого переходу між різними розділами – органоспецифічними та технічними.

Розділи Сучасної радіології створені за участю понад 100 визнаних європейських експертів і охоплюють як загальнотехнічні, так і клінічні аспекти візуалізації. Новий графічний стиль з Асклепієм у модних окулярах символізує поєднання класичного навчання медицини із сучасністю.

Хоча початкова версія **електронної книги ESR** була створена для здобувачів додипломної освіти – з метою надання базових знань студентам-медикам та їхнім викладачам, – з часом її зміст розширився й включає поглиблені матеріали. Як результат, **Сучасна Радіологія** також охоплює теми післядипломної освіти згідно з **Європейською навчальною програмою з радіології** (*European Training Curriculum for Radiology*), покриваючи потреби інтернів. Окрім цього, книга враховує відгуки медичних фахівців з усього світу, які прагнуть оновити свої знання у конкретних галузях медичної візуалізації й уже оцінили глибину та чіткість викладу у цьому електронному посібнику як на базовому, так і на поглибленому рівнях.

Висловлюю щиру подяку всім авторам, які присвятили свій час і знання цьому некомерційному волонтерському проєкту, а також Карло Каталано, Андреа Лаґі та Андрашу Палько – ініціаторам створення електронної книги ESR, – та Офісу ESR за технічну й адміністративну підтримку.

Сучасна Радіологія втілює дух співпраці та непохитну відданість цій захопливій медичній дисципліні, яка є незамінною у сучасній медичній допомозі пацієнту.

Сподіваюся, цей **освітній** ресурс стимулюватиме цікавість і критичне мислення, сприяючи глибшому усвідомленню мистецтва та науки радіології в Європі та за її межами.

Мінерва Беккер, редактор
Професор радіології, Женевський університет,
Швейцарія

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Авторські права і умови використання

Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License

Ви маєте право:

ділитися, копіювати і перерозподіляти матеріал у будь-якому середовищі та форматі

За наступних умов:

- ***ДОСТОВІРНІСТЬ*** – Ви повинні надати відповідне посилання на автора, вказати посилання на ліцензію та повідомити, якщо були внесені зміни. Ви можете зробити це будь-яким правомірним способом, але не створити враження, що ліцензіар підтримує вас або ваш спосіб використання.
- ***НЕКОМЕРЦІЙНІСТЬ*** – Ви не можете використовувати цей матеріал з комерційною метою.
- ***БЕЗ ПОХІДНИХ РОБІТ*** – Якщо Ви змінюєте матеріал чи берете його за основу, Ви не маєте права розповсюджувати модифікований матеріал.

Як цитувати:

European Society of Radiology, Johannes Fröhlich, Gabriella Hänggi (2024/5), translated by: Veronika Yevtukh, Andrii Holyk, Andrii Filipskyi, Nataliya Zayets, edited by: Uliana Pidvalna (2025).

Контрастні речовини.
DOI 10.26044/esr-modern-radiology-07

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини
Рентгенконтрастні речовини (РКР)
Контрастні речовини для МРТ
Контрастні речовини для УЗД
Основні тези
Література
Тестування

Позначення

<▪> **КЛЮЧОВІ ДАНІ**

>▪< **ДОДАТКОВІ ДАНІ**

<!> **УВАГА**

>|< **ПОРІВНЯННЯ**

<?> **ЗАПИТАННЯ**

<↑> **ПОСИЛАННЯ**

<∞> **ЛІТЕРАТУРА**

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

MODERN RADIOLOGY eBook

На основі навчальної програми ESR для радіологічної освіти

Контрастні речовини

АВТОРИ

Johannes Fröhlich / Йоганнес Фреліх | Gabriella Hänggi / Габріелла Ханггі

ІНСТИТУЦІЯ

KlusLab, Консультант фармацевтичних компаній

john.froehlich@akroswiss.ch

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<↑> ПОСИЛАННЯ

Переклад виконали

Цей розділ є перекладом електронної книги Сучасна радіологія.

НАЗВА ОРИГІНАЛУ:
Contrast Agents

АВТОРИ ПЕРЕКЛАДУ:
Євтух Вероніка / Veronika Yevtukh | Голик Андрій / Andrii Holyk
Філіпський Андрій / Andrii Filipskyi | Заєць Наталія / Nataliya Zayets
Асоціація радіологів України / Association of Radiologists of Ukraine

КООРДИНАТОР ТА РЕДАКТОР:
проф. Уляна Підвальна | Prof. Uliana Pidvalna
Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького | Danylo Halytsky Lviv National Medical University
Україно-Польський центр серця Львів | Ukrainian-Polish Heart Center Lviv

ЗА ПІДТРИМКИ:
Асоціації радіологів України

СЛОВО ВІД КООРДИНАТОРА:
Цей проєкт – вияв поваги до рідної мови та прагнення послуговуватися нею у професійному зростанні.

<↑> ПОСИЛАННЯ

veroniqueua@gmail.com
pidvalna_uliana@meduniv.lviv.ua

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини
Рентгенконтрастні речовини (РКР)
Контрастні речовини для МРТ
Контрастні речовини для УЗД
Основні тези
Література
Тестування

План розділу

- Контрастні речовини
- Рентгеноконтрастні речовини (РКР)
  - Класифікація
    - Позитивні РКР
    - Негативні РКР
  - Йодовмісні РКР
    - Олійний ліпофільний йодовмісний РКР
    - Водорозчинні гідрофільні РКР
    - Специфічні для жовчного міхура РКР
  - Фізико-хімічні властивості йодовмісних РКР
    - Концентрація йоду
    - Осмоляльність
    - В'язкість
    - Гідрофільність
  - Фармакокінетика йодовмісних РКР
    - Двокамерна модель
    - Фармакокінетика та візуалізація
  - Режими затемнення РКР
    - Пряме заповнення просвіту
    - Функціональна візуалізація органів
    - Підсилене накопичення контрасту паренхімою
    - Ангіографія
  - Покази до застосування РКР
    - Внутрішньовенне введення РКР
    - Внутрішньоартеріальне введення РКР
    - Оральні та ректальні аплікації РКР
  - Побічні реакції на РКР
    - Гострі побічні реакції
    - Відтерміновані побічні реакції
    - Тиреотоксикоз
    - Побічні реакції: нирки
    - Екстравазація
- Контрастні речовини для МРТ
  - Парамагнітні контрастні речовини
  - Контрастні речовини на основі гадолінію (Gd)
    - Структура комплексів Gd
    - Стабільність комплексів Gd
    - Трансметалізація
    - Біорозподіл
  - Суперпарамагнітні КР
  - Покази
    - Неспецифічні позаклітинні КР
    - КР для кровоплину
    - Органоспецифічні КР на основі Gd
    - Тканиноспецифічні КР для ретикулоендотеліальної системи та лімфатичних вузлів
    - Пряма МР-артрографія
  - Побічні реакції
  - Нефрогенний системний фіброз (NSF)
  - Накопичення гадолінію в мозку
  - Рекомендація з техніки безпеки
- Контрастні речовини для УЗД
  - Мікропухирці
  - Посилення УЗ-сигналу мікропухирцями
  - Біорозподіл та елімінація
  - Методи введення контрастних речовин для УЗД
  - Покази
    - Візуалізація серцево-судинної системи
    - Візуалізація судин
    - Ураження печінки
    - Додаткові покази
  - Побічні реакції
- Основні тези
- Література
- Тестування

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Контрастні речовини

Контрастні речовини (Contrast agents) використовують для покращення візуалізації органу, тканини або патологічного стану в діагностичній візуалізації шляхом зміни ослаблення Х-променів або зміни відповіді на прикладену електромагнітну або ультразвукову енергію. Це речовини, які використовуються лише для діагностичних цілей, не мають фармакодинамічної активності та, як правило, швидко виводяться без метаболізму.

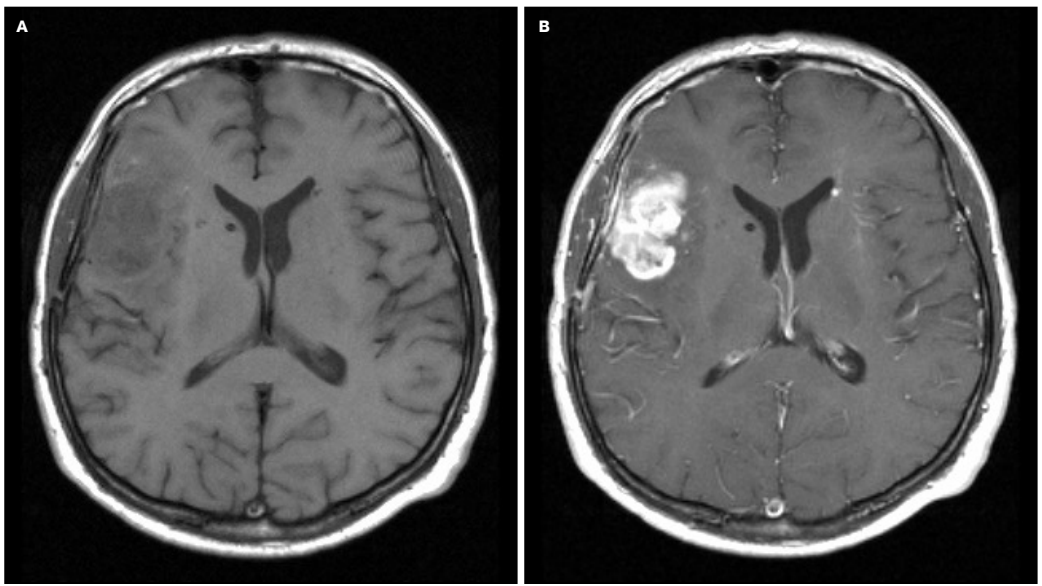


РИС. 1

МРТ-зображення головного мозку до контрастування (А) та після внутрішньовенного введення контрасту (В)

/ **Контрастні** речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Рентген-контрастні речовини (РКР)

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Класифікація

Рентгенконтрастні засоби, також відомі як радіографічні контрастні речовини (РКР | radiographic contrast media, RCM), покращують контрастність зображення, місцево викликаючи зміну абсорбції Х-променів (рентгенівських променів), яка може бути більшою (позитивні КР) або меншою (негативні КР) у порівнянні зі сусідніми нормальними тканинами.

Рентгенпозитивні КР

Речовини з високою радіоденсивністю, що містять атоми з високим атомним номером, такі як барій ($56Ba^{2+}$), йод ($53I^{-}$) або гадоліній ($64Gd^{3+}$) (поза офіційними показами), збільшують поглинання Х-променів.

РИС. 2

Позитивний контраст завдяки кісткам.

Рентгеннегативні КР

Речовини з низькою щільністю, такі як CO_2, Xe і повітря менше абсорбують (поглинають) Х-промені.

РИС. 3

Повітря в легенях виглядає темним через меншу абсорбцію Х-променів: негативний контраст.

/ Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Йодовмісні контрастні речовини

Йодовмісні контрастні речовини доступні як водорозчинні, гідрофільні або як олійні, ліпофільні.

Олійні, ліпофільні йодовмісні контрастні речовини

Ліпіодол – ліпофільний, йодовмісний препарат, що використовується як рентгенконтрастний діагностичний засіб при:

- прямій лімфографії (візуалізація лімфатичної системи)
- трансартеріальній хіміоемболізації гепатоцелюлярної карциноми (Рис. 4)
- або в деяких країнах для гістеросальпінгографії (визначення прохідність маткових труб)

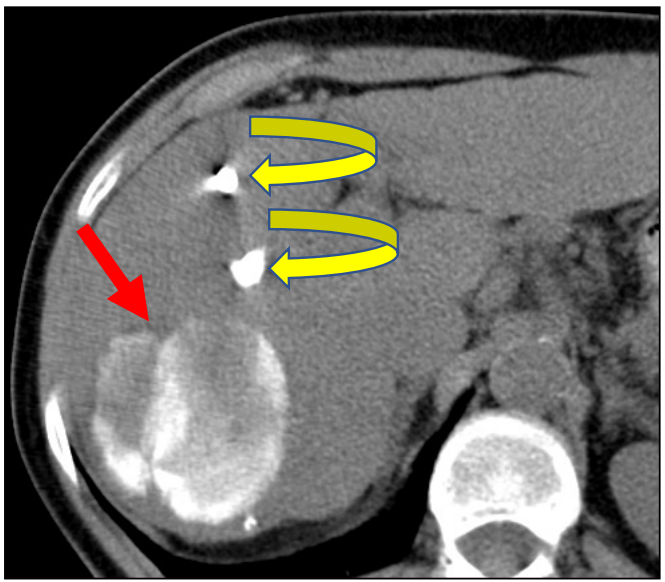


РИС. 4

Контрольне КТ, отримане після трансартеріальної хіміоемболізації гепатоцелюлярної карциноми (ГЦК) з використанням доксорубіцину/ліпіодолу та емболізації ворітної вени з ліпіодолом/букралатом (для стимуляції гіпертрофії лівої частки печінки). Залишковий ліпіодол у ГЦК (червона стрілка) та в емболізованих гілках ворітної вени (жовті стрілки). Рис. надано: Christoph Becker

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

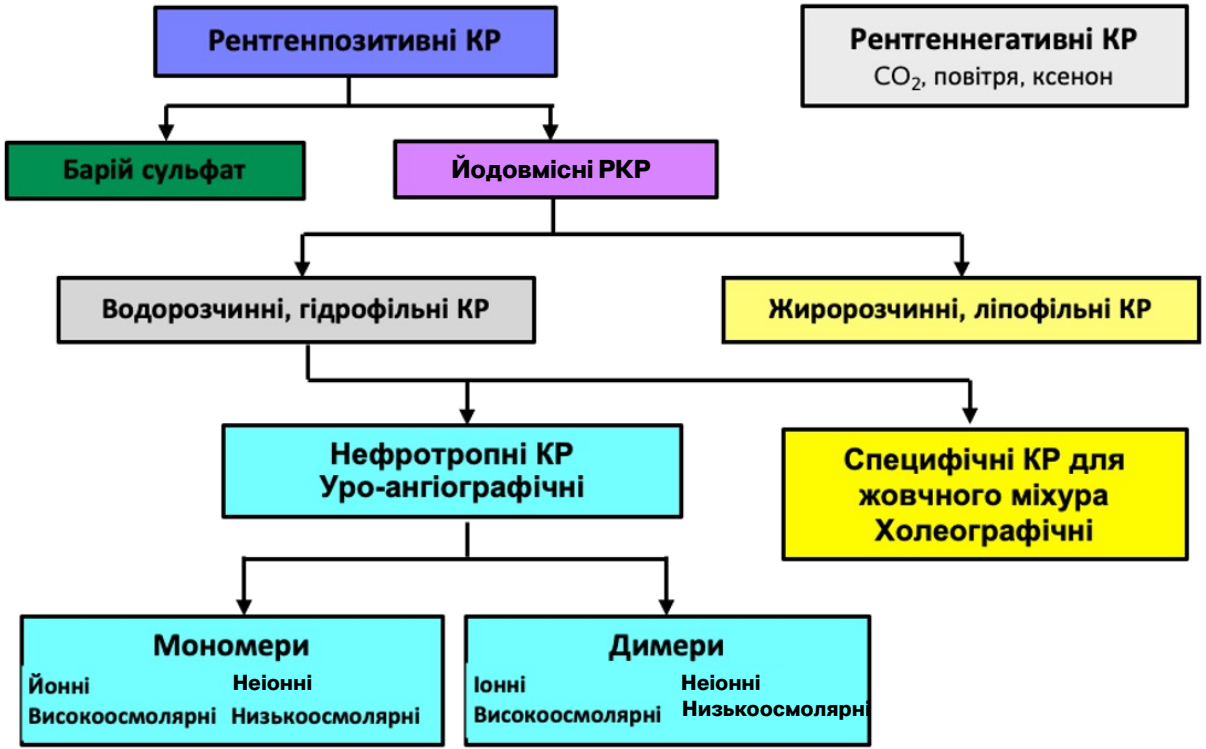


РИС. 5

Класифікація рентгеноконтрастних речовин

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Водорозчинні, гідрофільні йодовмісні контрастні речовини

Водорозчинні, гідрофільні контрастні речовини включають нефротропні контрастні засоби, які застосовуються для уро-ангіографії, та специфічні контрастні засоби для жовчного міхура, які використовувалися для внутрішньовенної холангіографії.

Структура водорозчинних, йодовмісних контрастних речовин

Основна структура водорозчинних йодовмісних контрастних речовин - це бензольне кільце, яке симетрично заміщене трьома ковалентно зв'язаними атомами йоду.

- Наявність трьох атомів йоду в одній молекулі забезпечує високу здатність поглинання Х-променів і відповідну високу контрастність.
- Ковалентний зв'язок забезпечує міцне хімічне з'єднання йоду, що зменшує ризик токсичних ефектів від вивільненого вільного йодиду
- Три залишкові атоми карбону бензольного кільця, які не містять йоду, заміщені хімічними бічними групами R_1, R_2 та R_3.

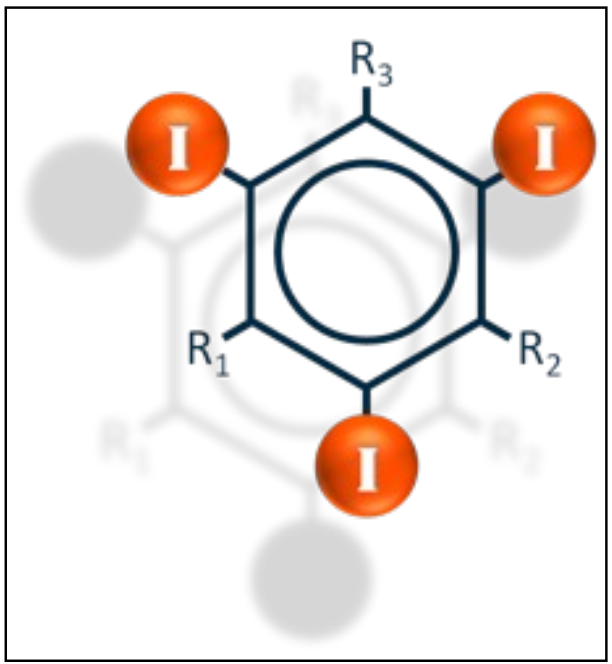


РИС. 6

Основна структура йодовмісних контрастних речовин

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Класифікація нефротропних контрастних речовин | nephrotropic RCM

Дві основні хімічні варіації, а саме: мономерні проти димерних та іонні проти неіонних, призводять до чотирьох класів RCM (рис. 7):

Іонні мономерні PKP (Ionic monomeric RCM): Один трийодований бензольний цикл з карбоксилатною функціональною групою (-COO-) у складі одного із замісників

Іонні димерні PKP (Ionic dimeric RCM): Два триойодовані бензольні цикли, пов'язані органічною мостиковою групою з принаймні однією карбоксилатнаою групою (-COO-) у складі одного із замісників (більше не випускаються).

Неіонні мономерні PKP (Non-ionic monomeric RCM): Один триойодований бензольний цикл без -COO- групи, H: аміди (-CO-NH-R) замість карбоксилатної групи

Неіонні димерні PKP (Non-ionic dimeric RCM): Два триойодовані бензольні цикли без -COO- групи, H: аміди (-CO-NH-R) замість карбоксилатної групи, пов'язані органічною мостиковою групою

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (PKP)

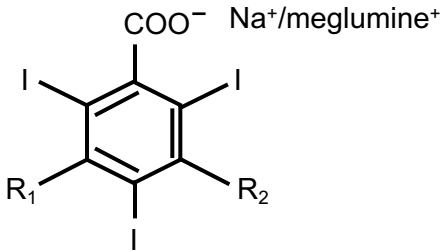
Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

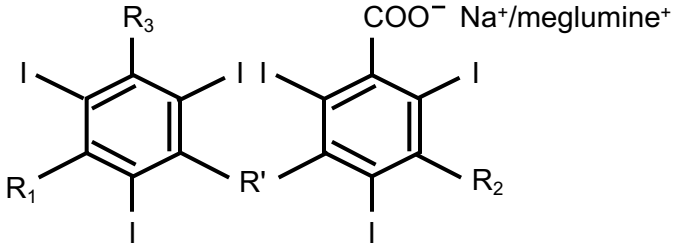
Основні тези

Література

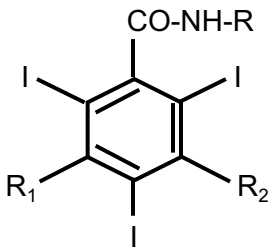
Тестування



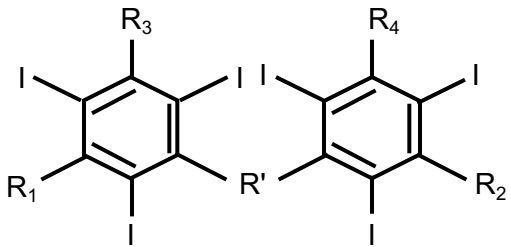
Іонні мономерні КР з високою осмолярністю



Іонні димерні КР з низькою осмолярністю



Неіонні мономерні РКР з низькою осмолярністю



Неіонні ізоосмотичні димерні КР

РИС. 7

Структура 4 класів нефротропних контрастних речовин.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Іонний контрастний агент – після розчинення відбувається дисоціація на аніон і катіон у водному розчині

В іонних КР (ionic RCM) наявність карбоксилатної групи сприяє загальному негативному заряду молекули, **що забезпечує її нейтральну форму,** зазвичай у вигляді солі натрію, кальцію або метилглюкамінових катіонів.

Дисоціація на негативні та позитивні іони в іонних КР забезпечує **водорозчинність**, тоді як у неіонних КР будь-які полярні групи бічних замісників R1, R2 та R3, зокрема гідроксильні групи, **визначають водорозчинність**.

Інші замісники можуть додатково покращувати **водорозчинність**, а також **інші фармакокінетичні та безпечні властивості,** такі як шлях виведення, зв'язування з білками та переносимість.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Специфічні КР для жовчного міхура

Внутрішньовенна специфічна контрастна речовина для жовчного міхура, що доступна у вигляді солі меглуміну, має димерну структуру з двома трийодованими бензольними кільцями, з'єднаними органічною містковою групою. Ця холеографічна КР містить карбоксилатну функціональну групу на кожному бензольному кільці без додаткових бічних ланцюгів. Незаміщене положення в кожному бензольному кільці сприяє зв'язуванню з білками плазми та уповільненій клубочковій фільтрації, що призводить до виведення з жовчю без хімічної модифікації молекули.

Однак холеографічні контрастні речовини показали вищу частоту побічних ефектів порівняно з нефротропними КР, що пояснює їхню недоступність для клінічного застосування.

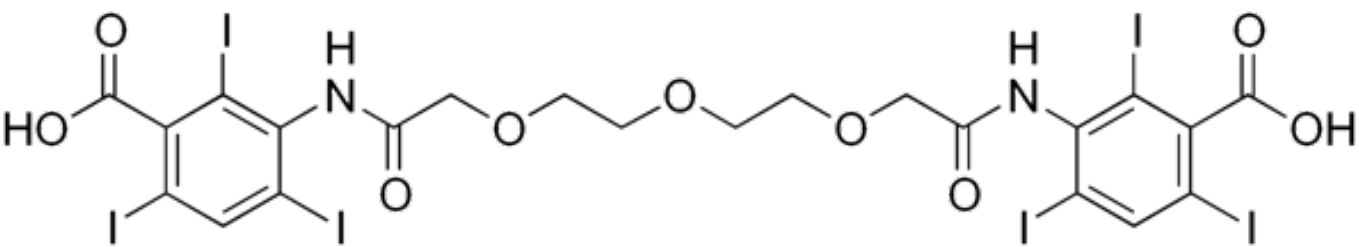


РИС. 8

Структура специфічної КР для жовчного міхура

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Фізико-хімічні властивості йодовмісних контрастних речовин

Найважливіші фізико-хімічні властивості йодовмісних контрастних речовин, які впливають на клінічну практику – це концентрація йоду, осмолярність, в'язкість та гідрофільність

Концентрація йоду

Підсилення контрасту безпосередньо пов'язане з локальною концентрацією йоду в тканині.

РИС. 9

Приклад йодовмісного контрастного агента: 300 мг/мл = 30% йоду

Внутрішньовенні йодовмісні контрастні речовини доступні в концентраціях від 200 до 400 мг йоду на мілілітр контрастного розчину, при цьому доза 300 мг/мл використовується у більшості клінічних випадків.

Вибір відповідної концентрації йоду залежить від типу дослідження, захворювання та діагностичного пристрою, що використовується.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Осмолярність

Осмолярність [Osmolarity] – це показник кількості розчинених активних часток на кілограм розчинника (solvent), тобто води, виражена в мОсм/кг H2O при 20°C.

Осмолярність крові становить 300 мОсм/кг H2O, а осмолярність больового порогу – 600 мОсм/кг H2O.

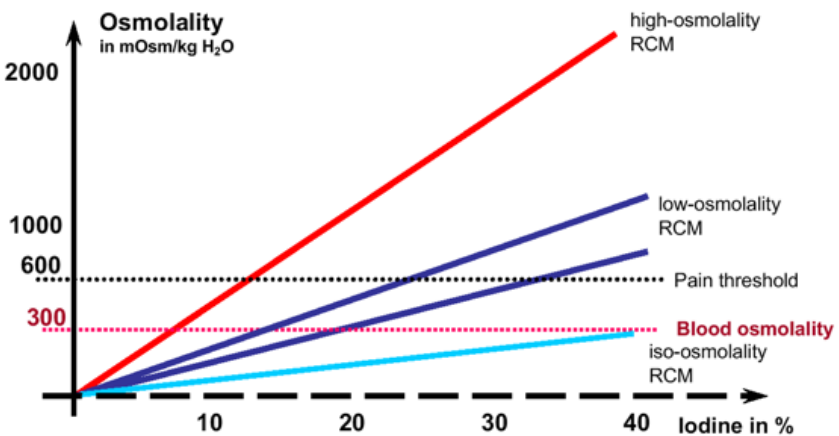


РИС. 10

Осмолярність як функція концентрації йоду. Осмолярність, Н: впливає на відчуття болю у пацієнта.

Для деяких йодовмісних рентгенконтрастних речовин осмолярність збільшується лінійно з концентрацією йоду.

>=< ДОДАТКОВІ ДАНІ

Агенти з високою осмолярністю включають іонні мономери, які на кожні 3 атоми йоду генерують 2 частинки розчиненої речовини (solute particles), при цьому осмолярність становить у 5-8 разів більше, ніж у крові.

Агенти з низькою осмолярністю включають іонні димери та неіонні мономери, які на кожні 3 атоми йоду генерують 1 частинку розчиненої речовини, а їхня осмолярність складає у 1-3 рази більше, ніж у крові.

Ізоосмолярні агенти включають неіонні димери, які на кожні 6 атомів йоду генерують 1 частинку розчиненої речовини, при цьому їхня осмолярність приблизно дорівнює осмолярності крові.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<=> УВАГА

СТРУКТУРА	ОСМОЛЯРНІСТЬ	В'ЯЗКІСТЬ [VISCOSITY]
Високоосмолярні іонні мономери	1500 - 2100 mOsm/kg H_2O	+
Низькоосмолярні неіонні мономери	500 - 900 mOsm/kg H_2O	++
Низькоосмолярні іонні димери	600 mOsm/kg H_2O	+
Ізоосмолярні неіонні димери	300 mOsm/kg H_2O	+++

TABLE 1

Осмолярність та в'язкість йодовмісних контрастних речовин

Введення рентгенконтрастної речовини з високою осмолярністю стимулює притік води з інтерстиційних просторів у судинне русло, що викликає гіперволемію, вазодилятацію, підвищене навантаження на серцево-судинну систему, брадикардію, рефлекторне зниження артеріального тиску, легеневу гіпертензію та, можливо, пошкодження ендотелію.

Небажані ефекти, пов'язані з високою осмолярністю: біль по ходу судин, приливи, дискомфорт, нудоту, блювання, збільшення діурезу та дегідратацію.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

В'язкість

В'язкість [Viscosity] характеризує реологічні властивості розчину контрастної речовини та виражається в мПа·с.

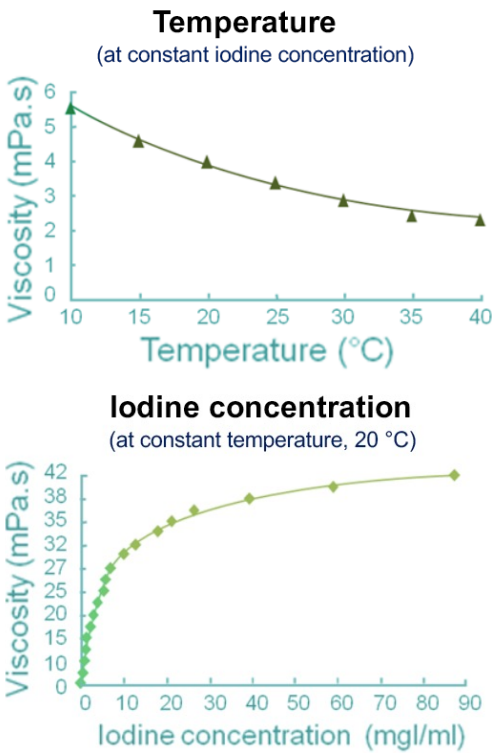


РИС. 11

В'язкість залежно від температури та концентрації йоду.

В'язкість зростає непропорційно з концентрацією йоду і значно зменшується з підвищенням температури.

<!> УВАГА

В'язкість контрастної речовини впливає на максимально можливу швидкість ін'єкції та змішування у кровоносних судинах.

Нагрівання контрастної речовини до температури 37-40°C зменшує її в'язкість і підвищує ефективність доставки високо-в'язких засобів у разі швидкої ін'єкції та/або проходження через маленькі катетери.

В'язкість відіграє важливу роль у нирковій переносимості рентгенконтрастних засобів, при цьому в'язкість, близька до в'язкості сироватки, знижує ризик нефротоксичності, пов'язаної з йодованими рентгенконтрастними речовинами.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Гідрофільність

Гідрофільність [Hydrophilicity] означає схильність до взаємодії з водою, зокрема здатність речовини розчинятися у воді. Вона може бути виражена через log P (октанол-водний коефіцієнт розподілу), який відображає рівень розчинності речовини у воді порівняно з октанолом.

У йодовмісних контрастних речовинах (КР) гідрофільність залежить від кількості гідрофільних груп, таких як OH та N, які містяться у замісникових ланцюгах спочатку гідрофобного трийодованого бензольного ядра

Підвищена водорозчинність високогідрофільних КР зменшує їхнє зв'язування з плазмовими білками, що уповільнює внутрішньоклітинний розподіл КР, пришвидшує виведення через нирки та знижує проникність через гематоенцефалічний бар'єр. Відповідно, висока гідрофільність зменшує нейротоксичність, імуногенність та нефротоксичність, а також знижує ризик алергічних реакцій.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Фармакокінетика йодовмісних РКР

Двокомпартментна модель [Two-compartment model]

Фармакокінетика йодовмісних РКР найкраще описується двокомпартментною моделлю:

Після **внутрішньосудинного введення** йодовмісна РКР швидко розподіляється у внутрішньосудинному просторі, досягаючи **пікової концентрації в плазмі** впродовж 2 хв, після чого **проникає у інтерстиційну рідину** через пори в стінках капілярів.

Йодовмісна РКР, яка перейшла в позаклітинний простір, не може проникати через інтактний гематоенцефалічний бар'єр і не розподіляється у клітинному відділі. Однак вона може в невеликих кількостях проходити через плацентарний бар'єр і виділятися у дуже малих кількостях з грудним молоком.

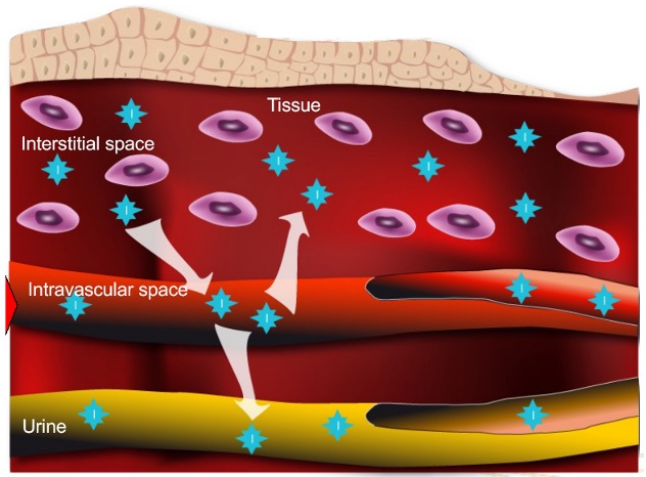


РИС. 12

Двокомпартментна модель з нирковим виведенням

Виведення йодовмісних РКР відбувається, майже виключно, шляхом **пасивної клубочкової (гломерулярної) фільтрації.** При нормальному функціонуванні нирок, період напіввиведення становить близько 90 хв, і практично вся введена доза виводиться упродовж 24 год. У разі порушення функції нирок - період напіввиведення значно подовжується.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Фармакокінетика та візуалізація

Щодо візуалізації з йодованими РКР, існують три постін'єкційні фази:

- **Судинна фаза** [Vascular phase] - дуже коротка, тривалістю менше 1 хв, використовується для візуалізації артерій.
- **Інтерстиційна фаза** [Interstitial phase] – коротка, від 1,5 до 10 хв, призначена для візуалізації органів.
- **Фаза виведення** [Elimination phase] – тривала, до 30 хв, використовується для візуалізації сечових шляхів.

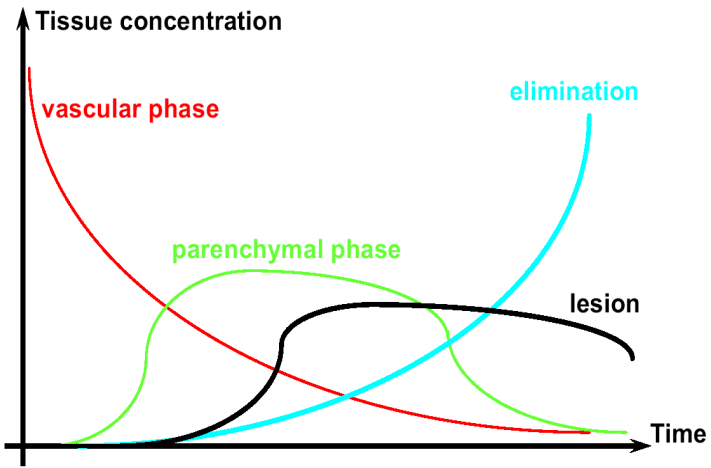


РИС. 13

Постін'єкційні фази з йодованими РКР. Зауважте тимчасові контрастні різниці між різними просторами.

<!> УВАГА

В загальному, розподіл з судинного русла до органів з високим кровопостачанням, таких як мозок, печінка та нирки, є швидким, тоді як розподіл до органів і тканин з меншим кровопостачанням, таких як кістки та жир, відбувається набагато повільніше.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Режими затемнення [опацифікації] КР | Opacification modes

РКР широко використовуються для візуалізації певних структур в організмі та отримання інформації про функцію органів, при застосуванні чотирьох різних видів контрастування:

Пряме заповнення просвіту | Direct luminal filling

Виявлення морфологічних структур є основною метою прямого заповнення просвіту, яке може відбуватися через природний доступ (Рис. 14) або через ятрогенний доступ. Цей варіант контрастування дозволяє диференціювати поверхневі зміни чи зміни в стінці; надає інформацію про функції, Н: зміна тонусу або перистальтики у порожнистих органах.

Функціональна візуалізація органів | Functional organ imaging

Функціональна опацифікація, яка застосовується в урографії (Рис. 15) та холеографії, базується на використанні щільності контрасту, що значно залежить від функціональності нирок і сечовивих шляхів/гепатобіліарної системи. Отже, рентгенографічна оцінка цих органів виявляє як морфологічні, так і функціональні зміни.

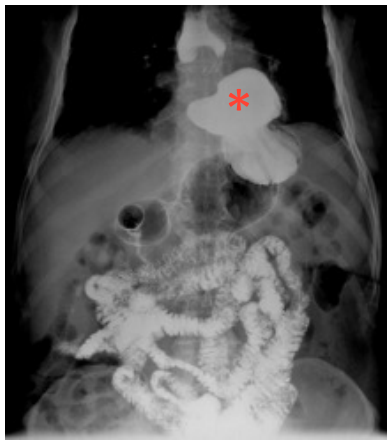


РИС. 14

Барієва рентгенографія (верхній відділ ШКТ) у пацієнта з грижою стравохідного отвору діафрагми (*). Зауважте нормальне затемнення (опацифікацію) петель тонкої кишки. Надано: Georgy Varnay

РИС. 15

Урографія в нормі. Radiopaedia.org, rID: 85286.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Паренхіматозне накопичення | Parenchymal enhancement

При паренхіматозному накопиченні посилення контрастності між тканинами відбувається внаслідок проходження та вибіркового накопичення РКР у різних органах або тканинах, що покращує диференціацію морфологічних структур, особливо між нормальними та патологічними тканинами. Це дозволяє/принаймні полегшує виявлення патологічних процесів та їхню етіології (Рис. 16).

Ангіографія |Angiography

При ангіографії (Рис. 17) вибіркова контрастність досягається через безпосереднє введення РКР в судину, яка досліджується. Опісля проводиться оцінка розподілу РКР та ознак (патернів) заповнення, зокрема прогалин в опацифікації анатомічних структур, що досліджуються. Ця оцінка дозволяє отримати детальну діагностичну інформацію про морфологію та функції в нормі та при патології.

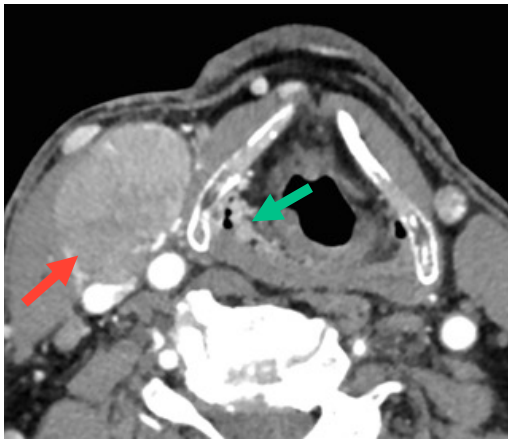


РИС. 16

КТ з контрастуванням (паренхіматозне накопичення): невелика пухлина з нижньої частини глотки (зелена стрілка), та метастаз лімфатичного вузла справа (червона стрілка). Надано: Minerva Becker

РИС. 17

Ангіографія сонних артерій в нормі (бічна проєкція)

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Покази до застосування РКР

Внутрішньовенне контрастування

Внутрішньовенне введення РКР під час комп'ютерної томографії є найпоширенішим використанням йодовмісних КР зі широким спектром показів. Внутрішньовенне введення спочатку призводить до артеріального контрастування, далі - підсилення паренхіми.

Для артеріального контрастування ключову роль відіграє швидкість доставки йоду.

Для оцінки солідних органів, таких як печінка чи підшлункова залоза, підсилення паренхіми залежить насамперед від загальної кількості введеного йоду, оскільки візуалізація ураження може вимагати введення більшого обсягу контрастної речовини.

Застосування внутрішньовенного введення РКР:

- ▪Комп'ютерна томографія
- ▪Цифрова субтракційна ангіографія
- ▪Внутрішньовенна урографія
- ▪Венографія (флебографія)
  - Нижня порожниста вена та її гілки
  - Верхня порожниста вена та її гілки
  - Кінцівки
- Інші венозні ділянки
  - Епідуральна венографія

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Час отримання зображення [timing of image acquisition], відносно часу введення РКР впливає на те, які анатомічні структури накопичили найбільшу концентрацію введеної РКР і можуть бути оптимально візуалізовані.

П'ять фаз контрастного підсилення [contrast enhancement] під час КТ:

Фаза без контрастування (нативна) [Non-enhanced phase]: зображення до введення КР; визначення анатомії та виявлення кальцифікованих структур (Н: каменів, васкулярних кальцифікацій та дистрофічних кальцифікацій у деяких пухлинах).

Рання артеріальна фаза [Early arterial phase]: отримання зображення через кілька секунд після болюсного введення КР внутрішньовенно; виявлення ураження артерій (Н: розшарування артерій).

Пізня артеріальна фаза [Late arterial phase]: отримання зображення через 15-20 сек після ранньої артеріальної фази; обстеження високо васкуляризованих анатомічних структур (Н: печінка, селезінка, нирки), особливо для ідентифікації утворів.

Портальна венозна фаза [Portal venous phase]: пізня фаза отримання зображення, коли КР максимально концентрується в брижлвих (мезентеріальних) венозних структурах; оцінка перфузії печінки, обстеження хворих на цироз для виявлення портальної гіпертензії.

Відтермінована фаза/фаза виведення/фаза рівноваги [Delayed phase or wash out phase or the equilibrium phase]: візуалізація уражень, що демонструють повільніше накопичення РКР, або для характеристики повільної кінетики вимивання (Н: пухлини)

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

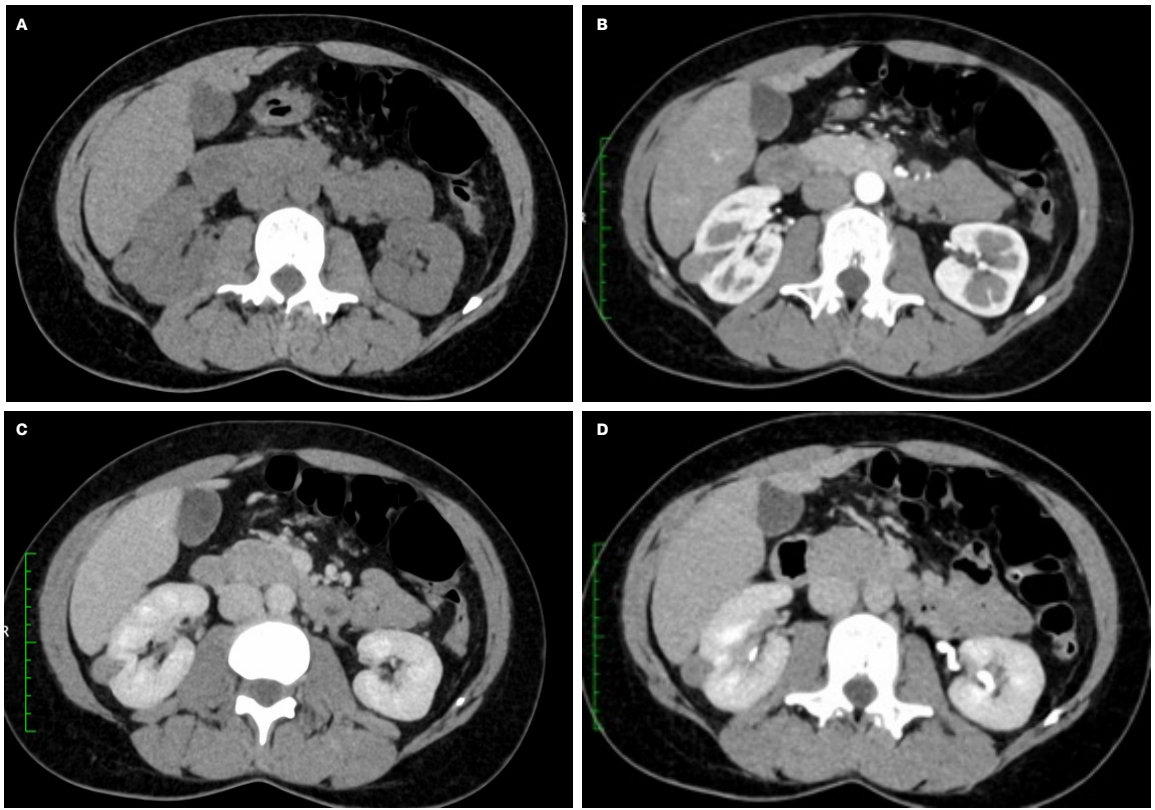


РИС. 18

КТ ОЧП з різними фазами контрастування. A. Фаза без контрастування. B. Артеріальна фаза. C. Венозна фаза. D. Пізня фаза. Надано: Thomas de Perrot

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Внутрішньоартеріальне введення РКР

Внутрішньоартеріальне введення РКР є основним методом доставки йодовмісної РКР, що використовується в діагностичній катетерній ангіографії та катетерно-направленій артеріальній інтервенції, такій як перкутанна ангіопластика та імплантація стентів.

Для контрастування досліджуваних судин потрібна висока швидкість введення РКР, враховуючи високий артеріальний потік..

Застосування внутрішньоартеріального введення РКР:

- Ангіокардіографія
- КТ-ангіографія
- Коронарографія
- Пульмонографія
- Аортографія
- Артеріографія вісцеральгних та периферичних судин
- Цифрова субтракційна ангіографія
- Судинні патології ЦНС
- Ангіографія головного та спинного мозку

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Пероральне та ректальне застосування РКР

Пероральні або ректальні РКР використовуються різними способами для візуалізації шлунково-кишкового тракту. Зазвичай з використанням суспензій сульфату барію, в окремих випадках – йодовмісних КР.

Барій сульфат

Для рентгенографічної візуалізації ШКТ барій сульфат вводиться перорально, ректально або через ентеростомічну трубку/катетер. Використовується для заповнення просвіту травної системи/покриття слизової оболонки.

Краще заповнення просвіту травного тракту та візуалізації слизової оболонки досягають за допомогою подвійного контрастування, коли просвіт заповнюється газом, а стінка покривається барій сульфатом (Рис. 19, див. далі). Для цього після введення сульфату барію застосовують гель, вуглекислий газ або газоутворювальний агент, або повітря може вдуватися через клізму.

Барій сульфат не всмоктується і не метаболізується у осіб без патології ШКТ (варіант норми) і виводиться незмінним з калом.

Покази до застосування барій сульфату: диференціація морфологічних структур, особливо «норма-патологія» та функціональні зміни травної системи.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Побічні реакції | Adverse reactions

Найпоширенішими побічними реакціями на сульфат барію є нудота, блювання та спазми живота, дискомфорт під час і після обстеження, легкі алергічні реакції. Гіпоосмолярність суспензії викликає виведення води з ШКТ, що може призвести до обструкції товстої кишки.

Найсерйозніше ускладненням від використання сульфату барію в ШКТ - витікання в середостіння або порожнину очеревини, що призводить до тривалого перитоніту або медіастиніту.

<!> УВАГА

Протипокази | Contraindications

Протипоказами до застосування сульфату барію є підозра на перфорацію та післяопераційне нетримання швів, а також попередні алергічні реакції на продукти барію.

Сульфат барію не слід використовувати у осіб із підозрюваним або відомим некротичним колітом, кишковою непрохідністю (ілеус) або порушенням ковтання через ризик аспірації. Особлива обережність з новонародженими, літніми та тяжко хворими пацієнтами.

РИС. 19

Товста кишка з сульфатом барію, за яким проходить гель: подвійне контрастне зображення.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Оральні йодовмісні КР

Сучасні застосування пероральних йодовмісних РКР (Рис. 20) в основному обмежуються візуалізацією шлунково-кишкового тракту, коли сульфат барію є протипоказаний.

Для перорального застосування надають перевагу розведеним водорозчинним іонним РКР високої осмолярності, але також можна використовувати розведені неіонні контрастні засоби.

Водорозчинні КР швидко всмоктуються з інтерстицію та порожнини очеревини, що важливо під час обстеження пацієнтів із підозрою на перфорацію порожнистого органа. Відомостей про стійкі негативні ефекти, спричинені наявністю водорозчинних КР у среедостінні, плевральній порожнині або порожнині очеревини, не зареєстровано.

Виведення перорально введених йодовмісних КР відбувається переважно фекальним шляхом і залежить від часу транзиту через ШКТ, тоді як лише невеликий обсяг йодовмісних КР всмоктується з шлунково-кишкового тракту і надалі виводиться через сечові шляхи.

РИС. 20

КТ з пероральною йодовмісною РКР. Зауважте гетерогенний контраст у тонкій кишці з вищим рівнем абсорбції в дистальному відділі (червоні стрілки).

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Протипокази

Гіперосмолярні РКР можуть призвести до утрудненого ковтання, що є протипоказом для перорального введення у пацієнтів з ризиком аспірації. У цих пацієнтів використовують неіонні низькоосмолярні або ізоосмолярні йодовмісні КР для перорального введення, оскільки навіть у разі аспірації вони пов'язані лише з незначною бронхогенною токсичністю.

Внутрішньокишкові гіперосмолярні КР також слід уникати у пацієнтів з порушеннями балансу рідин та електролітів, особливо у дуже молодих або літніх пацієнтів з гіповолемією або зневодненням.

Через невелике системне всмоктування перорально введених КР слід обережно використовувати їх у випадках вагітності, ниркової недостатності та захворювань щитоподібної залози.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Побічні реакції на РКР

<!> УВАГА

Частота побічних реакцій, пов'язаних із внутрішньовенним введенням йодовмісних РКР, **значно знизилася** після переходу на використання неіонних низькоосмолярних або ізо-осмолярних КР замість іонних високосмолярних. Зараз - частота **загалом низька.**

Гострі побічні реакції | Acute adverse reactions

Гострі побічні реакції на РКР виникають **впродовж 1 год.** після введення. Можуть бути від легких до тяжких та загрозливих для життя станів. Гострі реакції класифікуються на реакції гіперчутливості, алергічно-подібні, хемотоксичні реакції.

Реакції гіперчутливості [Hypersensitivity] та алергічно-подібні [allergic-like reactions] ймовірно, не залежать від дози та концентрації КР і мають непередбачуваний характер.

Симптоми гіперчутливості та алергічнно-подібних реакцій: кропив'янка, свербіж, набряк шкіри, дифузна еритема. Тяжкі гострі реакції зазвичай проявляються набряком обличчя і гортані, гіпотонією, бронхоспазмом, задишкою до гіпотонічного шоку та зупинки дихання або серця.

РИС. 21

Ілюстрація макулопапульозної реакції гіперчутливості, спричиненої контрастною речовиною.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Хемотоксичні побічні реакції [Chemotoxic adverse reactions] пов'язані з **специфічними молекулярними характеристиками** РКР: осмолярність, в'язкість, іонність; зазвичай залежать від дози та концентрації.

Загальні хемотоксичні побічні реакції: нудота та блювання, почервоніння, відчуття тепла, озноб, біль голови, запаморочення, тривога, зміна смаку та гіпертензія. Можуть виникати вазовагальні реакції, які проявляються як брадикардія з гіпотонією.

Важкі хемотоксичні побічні реакції можуть проявлятися аритмією, зниженням скоротливості міокарда, кардіогенним набряком легень, судомами і епілептичними нападами. Частіше і вираженіше виникають у пацієнтів з **наявними серцевими захворюваннями.**

Фактори ризику, пов'язані з пацієнтом, для гострої реакції на РКР включають історію попередніх алергічних реакцій на йодовмісні КР, астму та атопію в анамнезі. Натомість фактори ризику, пов'язані з КР, – це РКР з високою осмолярністю.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Віддалені побічні реакції | Delayed adverse reactions

Віддалені побічніні реакції можуть розвиватися від 60 хв до одного тижня після введення РКР і найчастіше проявляються у вигляді шкірних реакцій.

Типові віддалені шкірні реакції: висип, свербіж, еритема, набряк. Інші симптоми: нудота, блювання, біль голови, біль у м'язах та суглобах, діарея, іноді гіпотензія.

Фактори ризику для віддаленої реакції на КР: попередня пізня реакція на КР, лікування інтерлейкіном-2, використання неіонних димерів.

Вагітність і лактація

У вагітних жінок, якщо Х-променеве обстеження є необхідним, можна застосовувати йодовмісні КР. Після введення необхідно перевірити функцію щитоподібної залози у новонародженого впродовж першого тижня та контролювати її протягом перших трьох років.

Грудне вигодовування можна продовжувати в звичайному режимі, якщо матері вводять йодовмісні КР.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Тиреотоксикоз

Фактор, що сприяє виникненню побічних реакцій – це процес дейодування та наявність домішок йодиду в розчинах, що призводить до слідів вільного йодиду в організмі з концентраціями, які перевищують рекомендовану добову дозу.

У осіб з нормальною функцією щитоподібної залози вплив надлишку йодиду може компенсуватися тимчасовим зниженням синтезу тиреоїдних гормонів, так званим ефектом Вольфа-Чайкова (Wolff-Chaikoff-Effect).

Цей внутрішній регуляторний механізм порушений у осіб із хворобою/порушенням щитоподібної залози, тому введення йодовмісних КР може призвести до тиреотоксикозу.

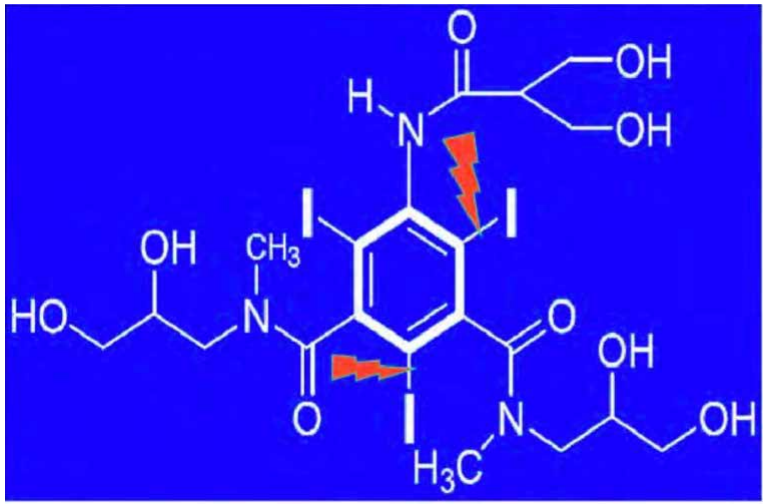


РИС. 22

Випромінювання може призвести до дейодування з вивільненням йодиду.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Факторами ризику розвитку **тиреотоксикозу** є хвороба Грейвса (Graves' disease) та багатовузловий зоб (multinodular goiter) із автономією щитоподібної залози (прим.: стан, коли чачтина або вся ЩЗ продукує ТГ, незаолежно від стимуляції ТТГ), особливо у літніх людей та/або в регіонах з дефіцитом йоду в харчуванні.

Для осіб із ризиком тиреотоксикозу важливо оцінити функції щитоподібної залози до введення йодовмісних РКР, а також провести ретельний моніторинг після введення РКР. Пацієнтам із високим ризиком можливо рекомендована профілактична тиреостатична терапія.

У пацієнтів із підтвердженим **гіпертиреозом** введення йодовмісних КР - протипоказане.

Після введення йодовмісних КР **вагітній жінці** необхідно перевірити функцію щитовидної залози у **новонародженого** впродовж першого тижня життя.

Недоношені діти та новонароджені можуть бути особливо вразливими до клінічно значущого гіпотиреозу, оскільки незріла залоза може не повністю компенсувати гострий ефект Вольфа-Чайкова (Wolff-Chaikoff effect). Функцію щитовидної залози слід контролювати до трирічного віку.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Побічні реакції: нирка | Renal adverse reactions

Внутрішньосудинне введення КР може призвести до порушення функції нирок і навіть до гострої ниркової недостатності.

Стандартним діагностичним критерієм гострої ниркової недостатності після введення контрастної речовини (Post-Contrast Acute Kidney Injury, PC-AKI) є збільшення рівня сироваткового креатиніну на > 0,3 мг/дл (або > 26,5 мкмоль/л) або до > 1,5 рази вищим за базовий рівень впродовж 48-72 год. після внутрішньосудинного введення КР.

Наявність попередньої ниркової дисфункції є найбільшим фактором ризику розвитку PC-AKI. Ризик збільшується зі збільшенням початкового порушення функції нирок.

Оцінка швидкості клубочкової фільтрації (ШКФ | estimated glomerular filtration rate, eGFR), розрахована на основі креатиніну сироватки, є рекомендованим параметром оцінки функції нирок перед введенням КР. Рекомендації Європейського товариства урогенітальної радіології (ESUR) визначають наступні порогові значення для оцінки ризику розвитку PC-AKI у пацієнтів:

ШКФ < 45 мл/хв/1.73 м²

перед введенням інтраартеріально КР з першим проходженням через нирки або у пацієнтів, які перебувають у відділенні інтенсивної терапії.

ШКФ < 30 мл/хв/1.73 м²

перед введенням внутрішньовенної КР або інтраартеріальної КР з другим проходженням через нирки.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

У Посібнику з контрастних речовин 2024р. Комітет з лікарських засобів та контрастних речовин Американського коледжу радіології вказує порогове значення для оцінки ризику розвитку PC-AKI у пацієнтів:

ШКФ < 30 мл/хв/1.73 м²

<=> КЛЮЧОВІ ДАНІ

Додатковими факторами ризику розвитку PC-AKI є цукровий діабет, серцево-судинні захворювання, гіпертонія, гіперурикемія, протеїнурія, використання діуретиків, зневоднення, похилий вік та багаторазове введення йодовмісних КР впродовж короткого часу.

Стратегія попередження: 1-12 год. передгідратації з використанням внутрішньовенного розчину натрію хлориду або бікарбонату натрію, далі 4-12 год. післягідратації, а також використання низько- або ізоосмолярних РКР у мінімальних дозах.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Екстравазація

Ненавмисне екстраваскулярне введення йодовмісної КР відбувається дуже рідко і зазвичай викликає локальні симптоми: біль, еритема та набряк. Проте в тяжких випадках можуть виникати виразки шкіри та некроз. Найсерйознішим наслідком екстравазації є розвиток компартмент синдрому (compartment syndrome).

Тяжка ушкодження через екстравазацію частіше виникають у пацієнтів з ураженням артерій або з порушеним венозним чи лімфатичним дренажем в ураженій кінцівці.

Екстравазації, що супроводжуються більшими обсягами контрастної речовини, особливо високосмолярними та високов'язкими; при використанні потужного інжектора; у проблемних місцях ін'єкції (тил кисті/стопи або ділянка кісточки) мають більшу ймовірність призвести до тяжкого пошкодження тканин.

Постійне спостереження і коректне консервативне лікування допомагають уникнути наслідків. Лікування полягає у піднятті ураженої кінцівки, охолодженні льодом, місцевому застосуванні сульфадіазину срібла та, у крайніх випадках, хірургічному втручанні.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини для МРТ

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для магнітно-резонансної томографії (МРТ) – це діагностичні фармацевтичні сполуки, які впливають **на сигнал ядерного магнітного резонансу ядер 1H-водню (протонів) молекул води**, що містяться в навколишніх тканинах.

Контрастність МР-зображення є результатом складної взаємодії різних факторів, таких як щільність протонів, час поздовжньої (спін-ґраткової) релаксації T1 і поперечної (спін-спінової) релаксації T2, а також застосованих послідовностей МРТ.

КР, які використовуються у МРТ, складаються або з **парамагнітних іонів металів, або з суперпарамагнітних частинок.** Вони діють, щоб модифікувати T1 і T2 протонів води, присутніх у тканині.

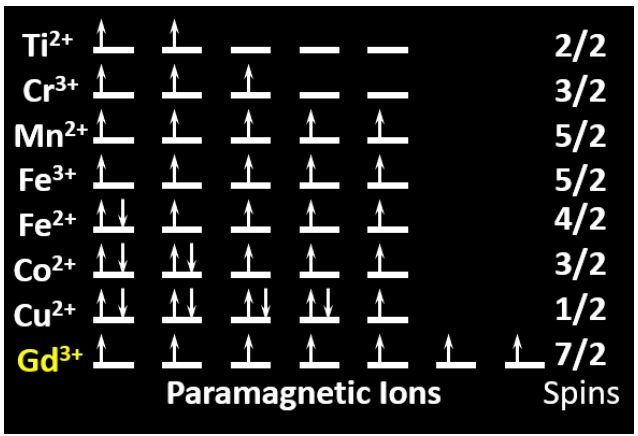


РИС. 23

Поодинокі спіни (тут електрони) намагнічуються в МР і взаємодіють з протонами, таким чином змінюючи сигнал тканини.

/ **Контрастні** речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Парамагнітіні контрастні речовини

Парамагнітні КР містять іони металів, які мають неспарені електрони у своїй зовнішній оболонці, що передбачає результуючий електронний спін і постійний магнітний момент.

Магнітний момент рухомої парамагнітної молекули КР індукує додаткове, змінне в часі магнітне поле в ядрах водню, які оточують молекул води, що, у свою чергу, може збільшити швидкість r1 поздовжньої спін-ґраткової релаксації та швидкість r2 поперечної спін-спін релаксації.

Збільшення швидкості релаксації, спричинене КР, призводить до відповідного скорочення T1 і T2 в ділянці дослідження, створюючи гіперінтенсивні сигнали на T1-зважених зображеннях і гіпоінтенсивні сигнали на T2-зважених зображеннях.

Вплив на T1 вже очевидний при низьких концентраціях КР, тоді як вплив на T2 стає все більш значущим при вищих концентраціях.

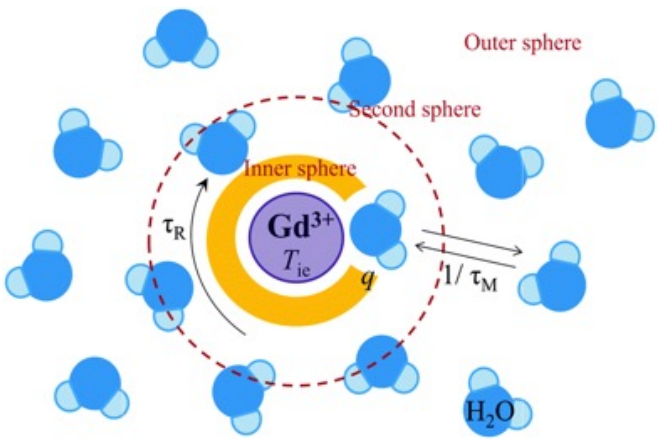


РИС. 24

Гадоліній взаємодіє з навколишніми протонами води на різних рівнях. Зазвичай 1-2 протони води наближаються до центрального атома, оточеного лігандом (взаємодія у внутрішній сфері). З новішими агентами кількість протонів, що взаємодіють, може подвоюватися, що дозволяє пряму взаємодію 2 молекул води (коефіцієнт a = 2 замість 1)

/ Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Релаксація | Relaxivity

Ефективність МР-контрастної речовини виражається через релаксацію R, яка відноситься до здатності КР підвищувати швидкість релаксації протонів. Зазвичай вимірюється експериментально у воді і визначається як збільшення часу релаксації розчинника (води), індукованого 1 ммоль/л активного іона контрастної речовини:

$$R_1 = 1 / T_1 \text{ (1 Mol, 20°C)}$$

Ефективність контрастування (contrast efficiency) виражається через співвідношення r2/r1: чим вище співвідношення, тим сильніший вплив на T2 і навпаки на T1.

Контрастні речовини на основі марганцю

КР на основі марганцю [Manganese-based CAs] містять двовалентний марганець, перехідний метал із п'ятьма неспареними електронами, який також природним чином присутній в організмі.

Парамагнітний марганець доступний або у формі малих молекул або у вигляді наноматеріалів, які були нещодавно розроблені.

Мангафодипір тринатрію (Mn-DPDP) є специфічним для печінки КР, в якому іон марганцю Mn2+ комплексований (хелатований) дипіридоксилдифосфатним лігандом.

	GADOPICLENOL	GADOTERATE	GADOBUTROL	GADOTERIDOL	GADOBENATE	GADODIAMIDE	GADOPENTETATE
Relaxivity $mM^{-1}s^{-1}$ in water 37°C, 1.5T	12.2/15.0	2.9 / 3.2	3.3 / 3.9	2.9 / 3.2	4.0 / 4.3	3.3 / 3.6	3.3 / 3.9
Dosing in mmol Gd per kg BW	0.05	0.1	0.075 (CNS) and 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

ТАБЛИЦЯ 2

Дози: Вища релаксація певних агентів дає змогу адаптувати дозування в ммоль на кг маси тіла в клінічній практиці. Це дозволяє зменшити експозицію пацієнта гадолінієм.

Robic C et al. Invest Radiol. 2019

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Контрастні речовини на основі гадолінію

КР на основі гадолінію [Gadolinium-based CAs], які містять тривалентний гадоліній – метал з ряду лантаноїдів із сімома неспареними електронами – найчастіше використовується під час МРТ з контрастуванням через їхній високий магнітний момент і тривалий час релаксації електронного спіну.

Однак цитотоксичність гадолінію у його вільній іонній формі Gd3+ вимагає маскування гадолінію за допомогою хелатуючих лігандів, які утворюють хімічно стабільні комплекси.

Введення гадолінію як інертного та стабільного координаційного комплексу запобігає поглинанню клітинами вільного Gd3+ і підтримує біорозподіл у позаклітинному просторі, таким чином посилюючи ниркову фільтрацію та екскрецію із сечею.

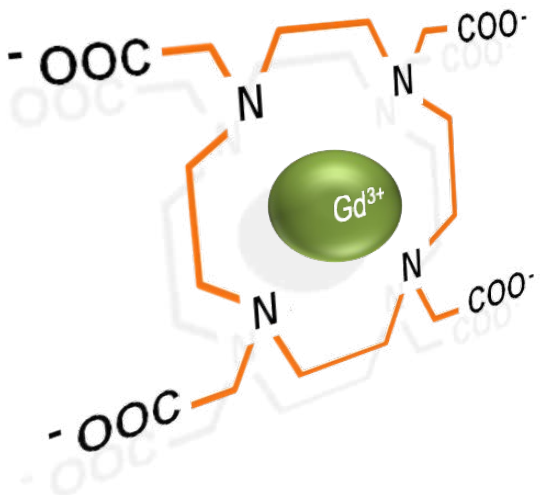


РИС. 25

Макроциклічний комплекс гадолінію з Gd3+ як центральним атомом, міцно зв'язаним із лігном, що представляє кільцеподібну структуру.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Структура комплексів гадолінію

На сьогодні КР на основі Gd можна класифікувати на чотири основні категорії відповідно до їхньої структури, зокрема природи хелатної частини та їх іонності.

У лінійних комплексах іон гадолінію лише частково оточений ланцюгоподібною структурою ліганду, тоді як у макроциклічних комплексах іон гадолінію укладено в кліткоподібну структуру, утворену лігандом.

Як лінійні, так і макроциклічні комплекси гадолінію можуть бути неіонними або іонними. В іонних гадолінієвих комплексах решта аніонних груп утворені солями меглюміну або катіонів натрію.

Молекулярні характеристики чотирьох класів комплексів гадолінію мають значний вплив на деякі ключові властивості, такі як осмоляльність і в'язкість, а також на їхню релаксивність і біорозподіл.

Молекулярні характеристики також відповідають за відмінності між різними комплексами гадолінію щодо їхніх констант термодинамічної стабільності та констант кінетичної швидкості.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Стабільність комплексів гадолінію

У розчинах Gd-вмісних КР завжди існує рівновага між комплексними іонами гадолінію (Gd-ліганд) і вільними іонами гадолінію (Gd^{3+}):

$$Gd^{3+} + Ligand \leftrightarrow Gd\text{-}Ligand$$

Рівноважний стан можна охарактеризувати константою термодинамічної стійкості,

$$K_{TD} = \frac{[Gd\text{-}Ligand]}{[Gd^{3+}] \cdot [Ligand]}$$

який часто виражається в логарифмічній формі log KTD. Для комплексів Gd, що використовуються як КР, ця рівновага значною мірою надає перевагу комплексу гадолінію, з логарифмом KTD у діапазоні від 16,9 до 25,6.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

КОМПЛЕКСИ	СТРУКТУРА	ТЕРМОДИНАМІЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ -LOG K	КІНЕТИЧНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПРИ PH 7.4	ПЕРІОД НАПІВРОЗПАДУ ПРИ 25°C, PH 1.0
Gadopiclenol	макроциклічно-неіонний	18.7	висока	20 days+/-3d
Gd-DOTA	макроциклічно-іонний	25.6	висока	338 год
Gd-HP-DO3A	макроциклічно-неіонний	23.8	висока	3.9 год
Gd-BT-DO3A	макроциклічно-неіонний	21.8	висока	43 год
Gd-BOPTA	лінійно-іонний	22.6	середня	< 5 с
Gd-DTPA	лінійно-іонний	22.1	низька	< 5 с
Gd-DTPA-BMA	лінійно-неіонний	16.9	низька	< 5 с

ТАБЛИЦЯ 3

Стабільність комплексів гадолінію

Robic C et al. Invest Radiol. 2019

Термодинамічна стабільність комплексів Gd зменшується зі зниженням pH, так що в кислому середовищі комплекси більш схильні до декомплексування.

Макроциклічні комплекси, як правило, мають вищу термодинамічну та кінетичну стабільність, ніж лінійні комплекси.

Іонні сполуки, як правило, мають дещо вищу термодинамічну та кінетичну стабільність, ніж неіонні сполуки.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Трансметалізація | Transmetallation

Декомплексування комплексів Gd може бути результатом реакцій з іншими іонами металів, які присутні в рідинах організму людини.

Зокрема, іон Gd3+ у хелатному комплексі може бути замінений на Zn2+, що призводить до вивільнення токсичних іонів Gd3+ та утворення комплексів цинку, що призводить до небажаного вимивання цинку через виведення нирками.

Важливою причиною токсичності вільних іонів Gd3+ є подібність розмірів і, як результат, конкуренція з іонами Ca2+ у клітинних і біохімічних процесах, що призводить до інгібування кальцієвих каналів і блокування Ca2+-залежних ферментів.

Іншим фактором, що сприяє токсичності іонів Gd3+, є їхня схильність зв'язуватися з ендогенними аніонами, зокрема фосфатами та карбонатами, створюючи нерозчинні солі, які поглинаються ретикулоендотеліальною системою (RES) шляхом фагоцитозу та накопичуються в тканинах людини. Цей процес супроводжується стимуляцією локальних макрофагів для ініціювання запальної відповіді з вивільненням цитокінів і факторів транскрипції, спричинених цитокінами.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Біорозподіл

Після внутрішньовенного введення комплекси гадолінію швидко розподіляються у внутрішньосудинному просторі, а потім через капіляри проникають в інтерстиційний простір, при цьому внутрішньосудинний період напіврозпаду залежить від молекулярної маси та ступеню зв'язування з білками плазми.

Залежно від своєї структури гадолінієвий комплекс може також частково розподілятися в печінці шляхом пасивної дифузії або шляхом селективного поглинання гепатоцитами за допомогою опосередкованого трансмембранного транспорту.

КР на основі гадолінію не проникають через інтактний гематоенцефалічний бар'єр.

Низькомолекулярні комплекси гадолінію, як правило, не метаболізуються.

РИС. 26

Ранній розподіл судиним руслом КР на основі Gd, введеної внутрішньовенно

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Комплекси гадолінію виводяться або майже виключно через нирки, або вони мають подвійний шлях виведення через нирки та через гепатобіліарну систему у випадку специфічних для печінки агентів (Гадобенат, Гадоксетат).

Пацієнти з нормальною функцією нирок виводять понад 90% низькомолекулярних КР на основі гадолінію впродовж перших 12 год. після ін'єкції.

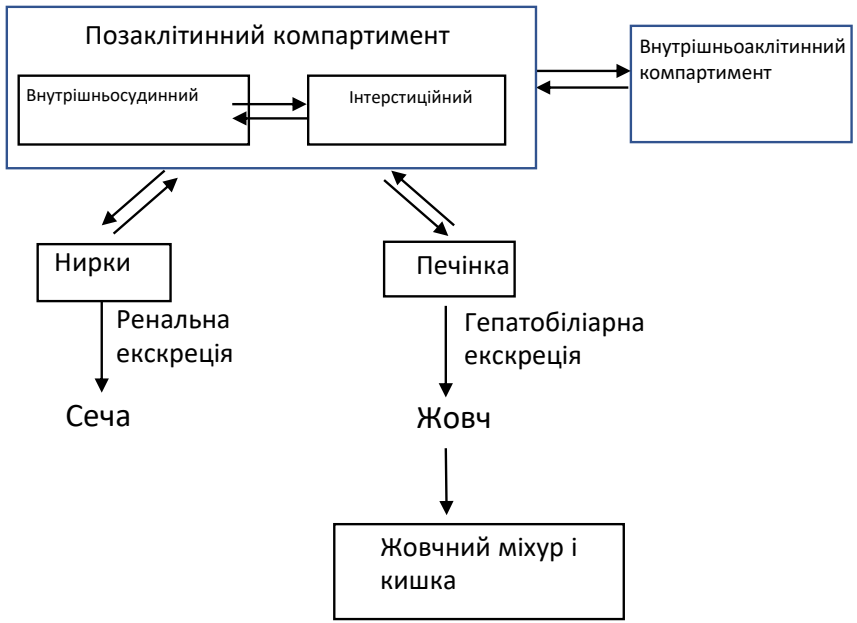


РИС. 27

Місця розподілу та шляхи елімінації комплексів гадолінію, що вводяться внутрішньовенно

/ Суперпарамагнітні контрастні речовини

Суперпарамагнітні контрастні речовини складаються з ядер наночастинок оксиду заліза, покритих захисним шаром біосумісного матеріалу (поліетиленгліколь, декстран, гепарин або альбумін).

Магнітний момент суперпарамагнітних ядер має тенденцію вирівнюватися із зовнішнім магнітним полем, індукуючи локальні градієнти магнітного поля, які дефазують поперечну намагніченість протонів води, що переважно призводить до вкороченого T2 та супутнього негативного посилення контрасту в патологічно релевантних T2-зважених зображеннях. Зі зменшенням розміру суперпарамагнітних частинок укорочення T1 стає більш вираженим, тому малі суперпарамагнітні частинки з діаметром ядра менше 10 нм можуть створювати позитивний контраст на анатомічно релевантних T1-зважених зображеннях.

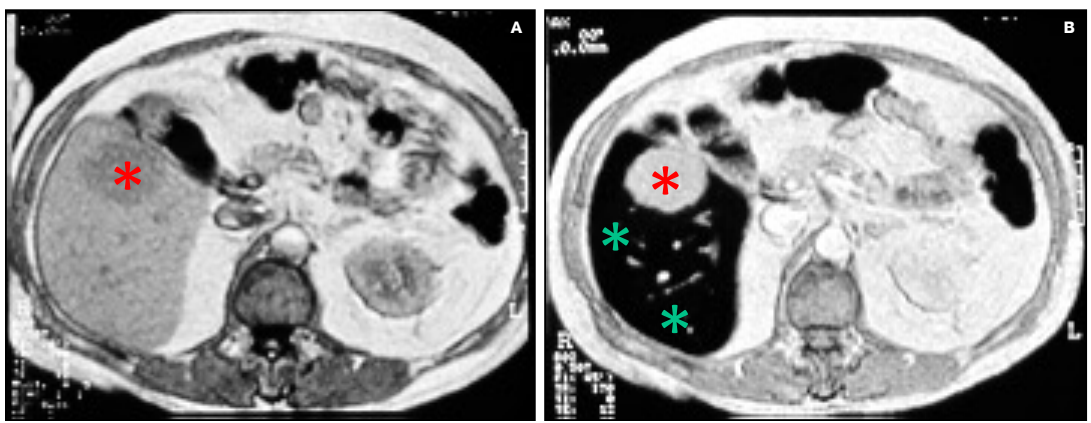


РИС. 28

МРТ печінки до (A) і після (B) внутрішньовенного введення наночастинок оксиду заліза: відсутнє поглинання в гепатоцелюлярній карциномі (червона *) та поглинання нормальною тканиною печінки (зелені *).

/ Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Покази

КР для МРТ можна класифікувати відповідно до їхньої моделі біорозподілу та застосування в практиці морфологічної та функціональної діагностики.

Неспецифічні позаклітинні контрастні речовини | Non-specific extracellular contrast agents

Позаклітинні МР-контрастні речовини – це низькомолекулярні комплекси гадолінію, які після ін'єкції швидко дифундують із внутрішньосудинного простору в позаклітинний простір, звідки потім поступово виводяться нирками.

Ці КР вільно циркулюють у позаклітинному просторі, але не проникають у тканини зі спеціалізованими судинними бар'єрами. Відповідно, вони мають тенденцію накопичуватися в тканинах з аномальною перфузією або капілярною проникністю та в ділянках, де проникність гематоенцефалічного бар'єру змінена.

Позаклітинні МР-контрастні речовини в основному застосовуються для досліджень ЦНС, спрямованих на виявлення різноманітних новоутворів, оцінку демієлінізуючих захворювань, інфекційних і запальних процесів, характеристику аномалій судин, діагностику ішемії/інфаркту мозку. Ці речовини також широко використовуються у візуалізації тіла для оцінки певних патологічних процесів, таких як гепатоцелюлярна карцинома або карцинома нирки, а також при певних патологіях опорно-рухового апарата (див. далі).

Деякі позаклітинні МР-контрастні речовини використовують для МР-ангіографії, але через короткий час перебування у внутрішньосудинному просторі часове вікно отримання зображення дуже обмежене.

Для використання як позаклітинних неспецифічних КР більшість гадолінієвих комплексів однаково ефективні через їхню подібну релаксивність і біорозподіл. З нещодавньою появою Гадопіклелнолу, що має вищу молярну релаксивність на ммоль гадолінію, дозування потребує адаптації (0,05 ммоль/кг замість 0,1 ммоль/кг маси тіла або 0,075 ммоль/кг у випадку обстежень ЦНС з гадобутролом).

РИС. 29

МРТ сонних артерій з контрастуванням на основі гадолінію

<!> УВАГА

Покази до застосування неспецифічних позаклітинних КР

Центральна нервова система

Виявлення первинних новоутворів та метастазів у головний мозок, оцінка демієлінізуючих захворювань, виявлення інфекційних та запальних процесів, характеристика аномалій судин та діагностика ішемії/інфаркту мозку.

Черевна порожнина і таз

Виявлення та характеристика уражень, а також визначення ступеня дисемінації злоякісної пухлини

МР-ангіографія

Оцінка анатомії судин та патології

Грудні залози

Диференціація злоякісних і доброякісних утворів, виявлення мультицентричних злоякісних новоутворів, рецидиву місцевого раку грудної залози або доброякісного посттерапевтичного фіброзу

Опорно-руховий апарат

Виявлення та характеристика утворів (мас), запальних процесів та оцінка ступеня хвороби

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Інтраваскулярні контрастні речовини | Blood pool agents

Інтраваскулярні контрастні речовини – це високомолекулярні сполуки гадолінію, які мають низьку швидкість дифузії з внутрішньосудинного простору в позаклітинний через їхнє зв'язування з альбуміном.

Для їх виведення через нирки спочатку необхідно метаболізувати макромолекулярну частину, тому концентрація у плазмі залишається стабільною понад одну годину.

Ці агенти * значно скорочують час релаксації T_1 у циркулюючій крові, що робить їх ефективними для МР-ангіографії, зокрема візуалізації коронарних артерій, а також для оцінки ангіогенезу пухлин.

.

*) Ці інтраваскулярні КР більше не доступні.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Органоспецифічні контрастні речовини на основі гадолінію

Два лінійних іонних комплекси Gd-BOPTA та Gd-EOB-DTPA специфічні для печінки через їхнє вибіркове поглинання гепатоцитами та їхню часткову гепатобіліарну екскрецію.

Після внутрішньовенного введення ці КР мають початкову позаклітинну фазу, яка дозволяє отримати зображення судинної мережі печінки, з наступною фазою сповільненого захоплення гепатоцитами та фазою елімінації з жовчю, що дозволяє оцінити печінкову тканину при зміні функції.

<!> УВАГА

Вибіркове поглинання гепатоцитами збільшує інтенсивність сигналу нормальної паренхіми печінки, тоді як вогнищеві ураження, що містять мутовані клітини або змінену структуру, не поглинають КР і виглядатимуть гіпоінтенсивними, покращуючи візуалізацію ураження та допомагаючи охарактеризувати його природу.

Також використовують для кращого виявлення метастазів і гепатоцелюлярної карциноми.

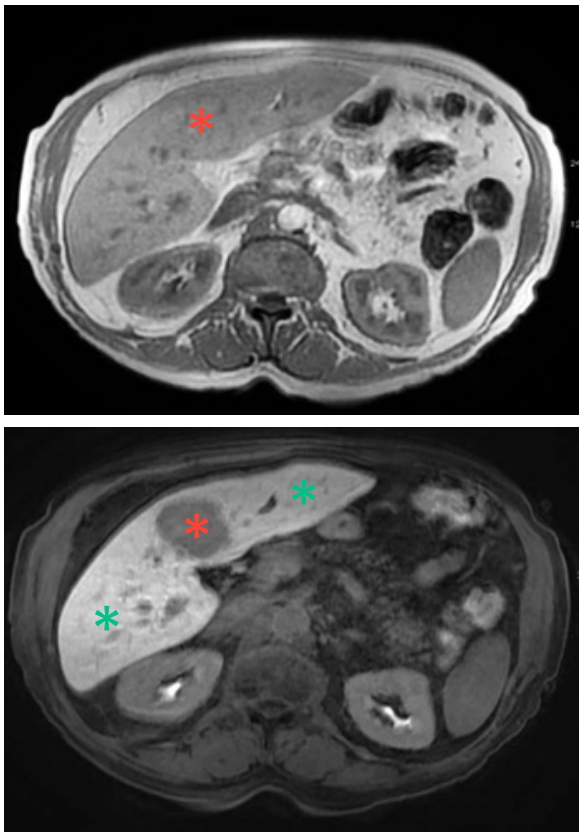


РИС. 30

МРТ печінки до та через 20 хв. після внутрішньовенного введення Gd-EOB-DTPA без поглинання в аденомі (червона *) та поглинання КР нормальною тканиною печінки (зелена *).

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Тканиноспецифічні ретикулоендотеліальні та лімфатичні речовини

Суперпарамагнітні частинки оксиду заліза (Superparamagnetic iron oxide particles, SPIO) вибірково поглинаються ретикулоендотеліальною системою (reticuloendothelial system, RES) шляхом фагоцитозу, причому розмір частинок визначає тканинну специфічність.

Великі SPIO швидко метаболізуються фагоцитуючими клітинами, зокрема клітинами Купфера в печінці та селезінці, створюючи негативний контраст на Т2-зважених зображеннях. Оскільки більшість уражень печінки, включаючи метастази та переважну більшість гепатоцелюлярних карцином, не мають інтактної RES, інтенсивність їхнього сигналу не змінюється при введенні SPIO, тому контраст між нормальною та зміненою тканиною печінки збільшується, оскільки ураження виглядає гіперінтенсивним відносно нормальної тканини

Великі частинки SPIO можна використовувати для візуалізації печінки та селезінки.

Малі SPIO з розміром ядра менше 10 нм потрапляють в лімфатичну систему і метаболізуються фагоцитами в нормальних лімфатичних вузлах, тоді як метастатичні лімфатичні вузли зберігають певну кількість КР, що дозволяє диференціювати нормальну тканину, яка має негативне посилення контрасту в Т2 зваженому зображення та метастатичні тканини, які зберігають високу інтенсивність сигналу.

Малі частинки SPIO використовуються для дослідження лімфатичних вузлів і кісткового мозку (обмежена доступність).

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Пряма МР артрографія

Пряма МРТ-артрографія передбачає введення контрастної речовини в суглоб під флюороскопічним або ультразвуковим контролем, з проведенням МРТ надалі. МРТ-артрографія забезпечує чіткіші зображення сухожиль, зв'язок і хрящів в ураженій ділянці.

Низькоконцентровані розчини відповідають 1:200-250-кратним розведенням (2-2,5 мМ) дозволених для внутрішньовенного введення (500-1000 мМ).

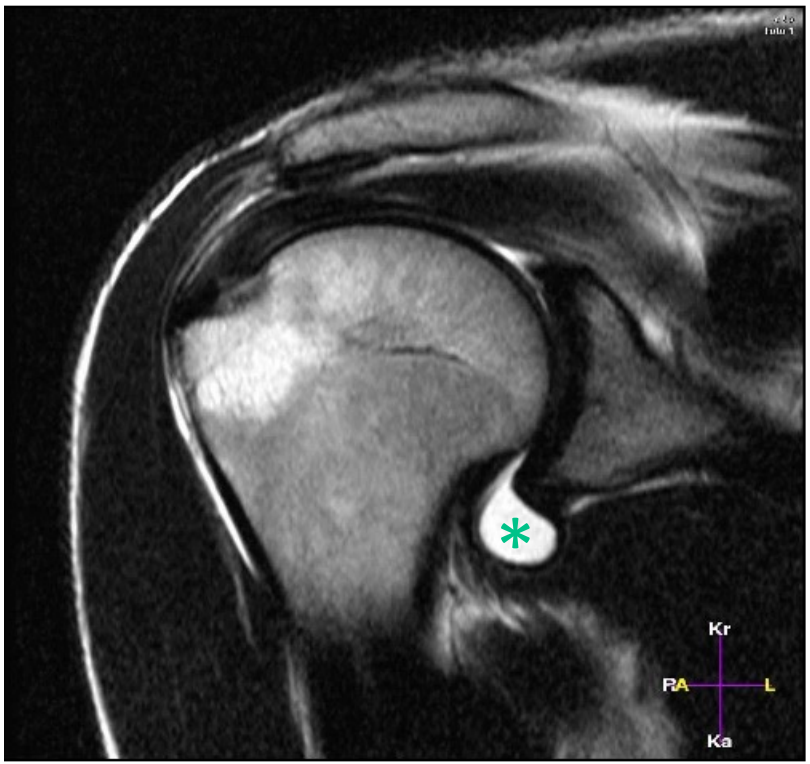


РИС. 31

Пряма МРТ-артрографія плечового суглоба з використанням 2,5 мМ GBCA (Artirem®). GBCA в суглобовій щілині позначена *

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини

Дозування контрастних речовин на основі гадолінію

Для клінічного використання рекомендована доза позаклітинної МР-контрастної речовини становить 0,1 ммоль/кг маси тіла для більшості візуалізаційних досліджень тіла. З нещодавньою появою Гадопікленолу, цей агент можна використовувати в дозі 0,05 ммоль/кг маси тіла завдяки його вищій молярній релаксивності. При використанні в МР-ангіографії та візуалізації ЦНС позаклітинні МРТ-контрастні речовини можна використовувати з більшою дозою до 0,3 ммоль/кг маси тіла (будь ласка, зверніться до інструкції для медичного застосування у вашій країні).

Контрастні речовини, специфічні для печінки, ефективні в менших дозах від 0,05 до 0,1 ммоль/кг для гадобенату (Gd-BOPTA) і 0,025 ммоль/кг для гадоксетату (Gd-EOB-DTPA).

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Побічні реакції

Найчастіші побічні ефекти КР на основі гадолінію оцінюються як **незначні**. Це - холод, тепло або біль у місці ін'єкції, нудота, блювання та біль голови, парестезії та запаморочення.

Алергічно-подібні реакції на комплекси гадолінію, які виникають **дуже рідко,** складаються з пітливості, висипу, кропив'янки, свербіжу та набряку обличчя.

Факторами ризику розвитку алергічної реакції є попередня помірна або важка гостра реакція на КР на основі гадолінію або йоду, астма та різні інші алергічні хвороби.

<!> УВАГА

Вагітність і лактація

Вагітним жінкам, якщо є дуже серйозні покази для МРТ з контрастуванням, можна вводити макроциклічну гадолінієву КР з використанням найменшої можливої дози.

Грудне вигодовування може продовжуватись у звичайному режимі, після введення макроциклічних контрастних речовин на основі гадолінію матері.

Гіперчутливість є основним ризиком!

<!> УВАГА

Нефрогенний системний фіброз (Nephrogenic systemic fibrosis (NSF)

Нефрогенний системний фіброз (NSF) є рідкісним, але важко інвалідизуючим порушенням, який може виникнути у пацієнтів із порушенням функції нирок, які піддаються впливу менш стабільних КР на основі гадолінію.

Клінічними проявами NSF є значне потовщення та затвердіння шкіри та підшкірної клітковини, пов'язане з еритематозними папулами, а також м'язова слабкість, біль у кістках та контрактури суглобів.

Прогресуюча NSF може також включати інші органи, такі як печінка, легені, стравохід, серце та скелетні м'язи.

Симптоми розвиваються та прогресують швидко, є незворотними та можуть призвести до інвалідності та смерті через рубцеві зміни органів із втратою функцій надалі.

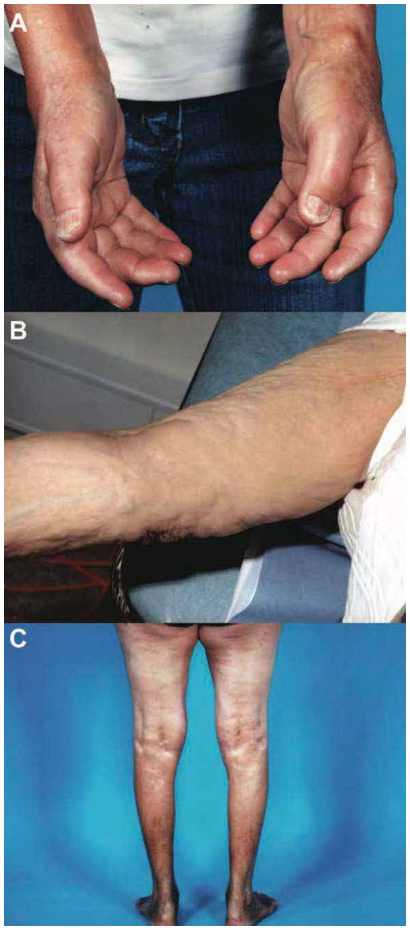


РИС. 32

Ознаки нефрогенного системного фіброзу:
A: Стягнутість і затвердіння кистей у поєднанні з контрактурами суглобів.
B: Щільні вузлики, у формі бруківки.
C: Стягнута й щільна шкіра на гомілках.

Відтворено з: Elmholdt TR et al., Nephrogenic Systemic Fibrosis in Denmark– A Nationwide Investigation. PLOS ONE 2013; 8(12): e82037. doi:10.1371/journal.pone.0082037.0001

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<!> УВАГА

Патофізіологічним механізмом передбачено, що знижена функція нирок, яка пов'язана зі значно тривалим впливом на тканини гадолінієвого комплексу, підвищує ймовірність утворення нерозчинних токсичних солей гадолінію. Вважається, що цей процес стимулює надалі прозапальний каскад подій, що призводить до фіброзу.

Фактори ризику розвитку NSF

Найбільшими факторами ризику розвитку NSF є знижена функція нирок, особливо зі швидкістю клубочкової фільтрації ШКФ < 15 мл/хв/1,73 м2 та у пацієнтів на діалізі.

Ризик розвитку NSF є значно вираженішим після введення неіонних та іонних лінійних комплексів гадолінію. Ризик зростає із дозуванням КР та багаторазовим використанням.

Інші фактори ризику: метаболічний ацидоз, підвищений рівень заліза, кальцію або фосфату в крові, терапія високими дозами еритропоетину, імуносупресія, васкулопатія та інфекція або інші гострі прозапальні явища.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Затримка гадолінію у головному мозку

<!> УВАГА

Повторне введення КР на основі гадолінію пов'язане з накопиченням гадолінію в ділянках головного мозку зубчастого ядра та блідої кулі навіть у осіб із нормальною функцією нирок.

Хоча відкладення гадолінію були зафіксовані для всіх гадолінієвмісних КР, рівень накопичення після введення **лінійних агентів** був значно вищим порівняно з макроциклічними агентами.

Існує значна позитивна кореляція між кількістю накопиченого гадолінію та кумулятивною дозою попередніх введень гадолінієвмісних КР.

На сьогодні **не було зафіксовано неврологічних симптомів, пов'язаних із відкладенням** (ретенцією) **гадолінію в головному мозку.**

Відкладення гадолінію можуть також відбуватися в кістках, печінці та шкірі, незалежно від функції нирок. Накопичення в кістках і печінці не викликає клінічних симптомів. Натомість відкладення у шкірі можуть проявлятися у вигляді червоних шкірних бляшок.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Рекомендація з безпеки

Європейське агентство з лікарських засобів (European Medicines Agency, EMA) класифікувало лінійні комплекси Gd-DTPA-BMA, Gd-DTPA та Gd-DTPA-BMEA як агенти високого ризику та призупинило їхнє внутрішньовенне використання, за винятком того, що Gd-DTPA все ще може використовуватися для прямої МР-артрографія.

Лінійні комплекси Gd-BOPTA та Gd-EOB-DTPA, які класифікуються як агенти середнього ризику, залишаються схваленими EMA лише для візуалізації гепатобіліарної системи.

Макроциклічні агенти вважаються такими, що мають низький ризик, і EMA підтримує їх як неспецифічні Gd-контрастні речовини. Однак їх слід застосовувати з обережністю пацієнтам із ШКФ < 30 мл/хв, дотримуючись принаймні 7 днів між двома введеннями.

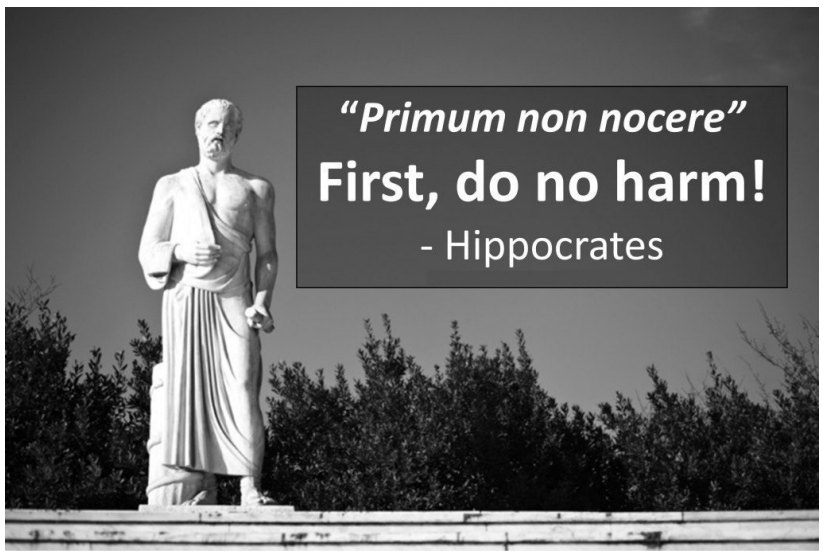


РИС. 33

Зображення з Wikimedia Commons.

https://commons.wikimedia.org/wikiFile:Primum_Non_Nocere.jpg#filelinks

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

ТИП	ІОННІСТЬ	ПРОДУКТ	КОМПЛЕКС	EMA РЕКОМЕНДАЦІЇ
Лінійний	іонний	Gd-DTPA	gadopentetate dimeglumine	обмежене використання для прямої МР-артрографії
		Gd-BOPTA	gadobenate dimeglumine	обмежене використання для гепатобіліарної візуалізації
		Gd-EOB-DTPA	gadoxetate	обмежене використання для гепатобіліарної візуалізації
	неіонний	Gd-DTPA-BMA	gadodiamide	призупинено
		Gd-DTPA-BMEA	gadoversetamide	призупинено
Макроциклічний	іонний	Gd-DOTA	gadoterate meglumine	підтримується як неспецифічний Gd-CA
	неіонний	Gd-HP-DO3A	gadoteridol	підтримується як неспецифічний Gd-CA
		Gd-HP-DO3A	gadoteridol	підтримується як неспецифічний Gd-CA
		Gadopiclenol	gadopiclenol	схвалено 2023, неспецифічний

ТАБЛИЦЯ 4

Рекомендації щодо застосування КР на основі гадолінію згідно з Європейським агентством з лікарських засобів (EMA). З 2023 року Гадопікленол було схвалено EMA з наступними характеристиками: макроциклічний, неіонний, неспецифічний Gd-CA.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини для УЗД

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Контрастні речовини для УЗД

Контрастні речовини для УЗД використовуються для посилення відображення ультразвукових хвиль від крові, що призводить до посилення контрасту між кров'ю та навколишнім тканинами.

/ Мікропухирці | Microbubbles

КР для УЗД – це суспензії, що містять мікроскопічні газові пухирці, інкапсульовані у тонку стабілізуючу оболонку.

Основні характеристики: газове ядро мікропухирців складається з інертного газу з високою молекулярною масою та низькою розчинністю (перфторвуглець або гексафторид сірки). Ці гази не дифундують через оболонку, зберігаючи підвищену концентрацію парів у пухирці. Стабілізуюча оболонка виготовлена з біодеградованого матеріалу (Н: фосфоліпідів або альбуміну), що знижує ризик злиття пухирців та дозволяє їм залишатися у кровоносному руслі для діагностичної оцінки впродовж кількох хвилин.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Комерційно доступні КР для УЗД містять суміш мікропухирців різних розмірів у діапазоні 1-10 мкм, що приблизно відповідає розмірам еритроцитів.

Після внутрішньовенного введення мікропухирці пасивно рухаються разом із кровоплином та виконують роль маркерів, забезпечуючи підсилений ультразвуковий сигнал.

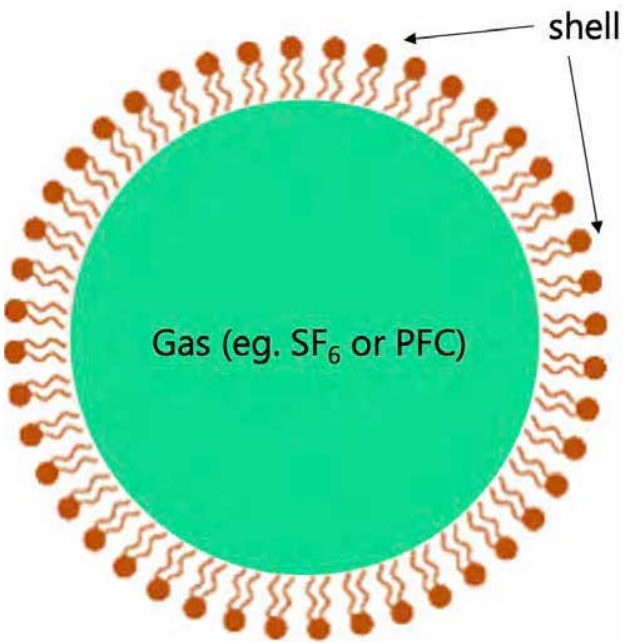


РИС. 34

Структура мікропухирців, що складається з ядра з газоподібного гексафториду сірки та одношарової фосфоліпідної оболонки.

>=< ДОДАТКОВІ ДАНІ

Склад КР для УЗД, що використовуються зараз:

- Мікропухирці повітря, інкапсульовані в оболонку з галактози, стабілізовану пальмітиновою кислотою
- Мікропухирці гексафториду сірки (SF6), інкапсульовані в оболонку з фосфоліпідів і пальмітинової кислоти
- Мікропухирці перфторпропану (перфлутрен, C3F8), інкапсульовані в альбумінову оболонку
- Мікропухирці перфторпропану (перфлутрен, C3F8), інкапсульовані в оболонку з фосфоліпідів

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Посилення ультразвукової хвилі мікропухирцями

Контрастне підсилення, досягнуте завдяки мікропухирцям, пояснюється значною різницею акустичного опору [імпедансу | acoustic impedance] на межі між структурою мікропухирця та навколишньою плазмою крові, що призводить до зворотного розсіювання [backscattering] звукової хвилі на поверхні мікропухирця.

Акустична відповідь КР для УЗД є специфічною для використаних мікропухирців і залежить від акустичної потужності опромінюваної УЗ-хвилі:

- При низьких акустичних потужностях мікропухирці діють як прості відбивачі [рефлектори | simple reflectors], тому приймається лише зворотно розсіяний лінійний сигнал.
- При середніх акустичних потужностях мікропухирці коливаються (осцилюють) і випромінюють інтенсивний нелінійний резонансний сигнал, який містить фундаментальну частоту коливань та гармонічні вищі частоти.
- При ще вищих акустичних потужностях вібрація мікропухирців стає настільки інтенсивною, що вони руйнуються через розрив мембран. Цей процес супроводжується випромінюванням ультразвукового імпульсу, який можна зафіксувати.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

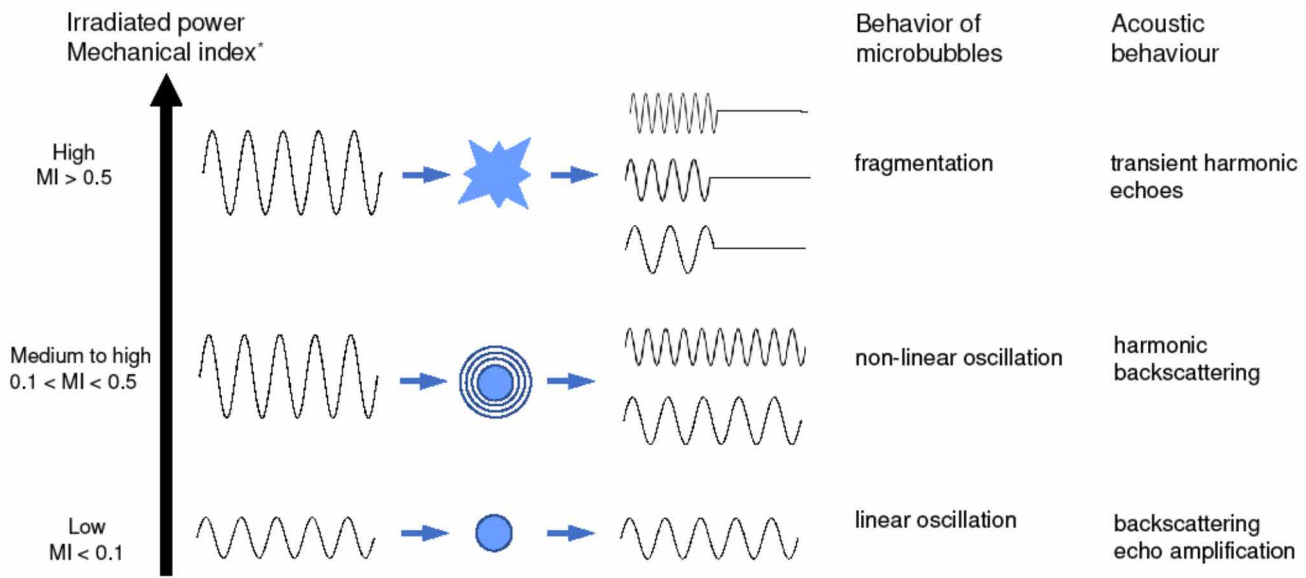
Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування



* Механічний індекс (MI) – це безрозмірна величина, що використовується для оцінки біологічного впливу УЗ-пучка. Пропорційний піковому розріджувальному тиску та обернено пропорційний частоті УЗ-хвилі.

РИС. 35

Вплив потужності УЗ на акустичні коливання мікропухирців

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Контрастні речовини

Впровадження контраст-специфічних УЗ-методик, таких як гармонійна та кодована візуалізація [harmonic and coded imaging], а також модуляція фази та амплітуди, дозволяє відокремити специфічний сигнал, що генерується мікропухирцями КР, від інших акустичних сигналів, таких як дзеркальне відбиття та розсіювання в тканинах.

Покращений контрастний ефект забезпечує сканування в реальному часі з можливістю тривалого відображення органу, що дозволяє динамічну візуалізацію кровоплину та високочутливе вимірювання перфузії органів.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Біорозподіл і виведення (елімінація) | Biodistribution and elimination

Мікропухирці, введені внутрішньосудинно, мають достатньо малий розмір, щоб проходити через легеневі капіляри та досягати системного капілярного русла, проте **вони зазвичай залишаються в кров'яному руслі і** не екстравазують у інтерстиційний простір.

Деякі КР для УЗД мають поствaскулярну гепато- та/або сплено-специфічну фазу через 2–5 хвилин після внутрішньовенного введення. Це явище, ймовірно, пояснюється прилипанням (адгезією) мікропухирців до печінкових синусоїдів або селективним поглинанням фагоцитарними клітинами Купфера ретикулоендотеліальної системи.

Після спонтанного розчинення мікропухирців їхній інертний газовий вміст вивільняється та виводиться (елімінується) через вентиляцію легень впродовж 10–20 хв, тоді як матеріал оболонки метаболізується та виводиться через печінку.

КР для УЗД **не екскретуються** через нирки, тому не мають встановленої нефротоксичності.

Ніяких доказів біологічних ефектів інерційної кавітації, тобто швидкого утворення, зростання та колапсу газової порожнини в рідині через інтенсивну УЗ-дію, у людей не було виявлено.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Введення КР для УЗД

Контрастні речовини для УЗД вводять внутрішньовенно у вигляді болюсної ін'єкції або у вигляді безперервної інфузії, або їх вводять у порожнисті структури, такі як сечовий міхур.

Болюсна ін'єкція викликає швидке підвищення посилення [enhancement] з наступним повільним вимиванням [washout], і це форма введення, яка найчастіше використовується для візуалізації з низькою та середньою акустичною потужністю.

Безперервна інфузія призводить до плато-подібного посилення і, отже, до подовження діагностичного часового вікна, що важливо для кількісної оцінки тканинної перфузії.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ ПОКАЗИ

КР для УЗД в основному використовуються для візуалізації серцево-судинної системи, зокрема в ехокардіографії, а також для УЗД печінки і рідше інших паренхіматозних органів

Візуалізація серцево-судинної системи

В ехокардіографії КР використовуються для візуалізації камери лівого шлуночка та ендокардіальних поверхонь, що дозволяє клінічно оцінити систолічну функцію, структуру та стан наповнення лівого шлуночка. КР для УЗД також застосовуються для дослідження структурних аномалій лівого шлуночка, таких як внутрішньопорожнинні тромби, аневризми та псевдоаневризми лівого шлуночка, дослідження кардіоміопатії Такоцубо та перфузії міокарда.

Візуалізація судин

Застосування КР для УЗД при візуалізації судин: контрастне підсилення аорти, сонних артерій і периферичної венозної системи. Зокрема, КР для УЗД застосовуються для дослідження просвіту сонної артерії та неоваскуляризації атеросклеротичної бляшки, а також для оцінки товщини інтима-медіа як маркера системного атеросклерозу.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Ураження печінки

Начастіше УЗ-візуалізації з контрастним підсиленням використовується для **виявлення та характеристики вогнищевих уражень печінки**, зокрема **диференціації доброякісних і злоякісних вузликів.** Диференційна діагностика пухлин печінки спрощується завдяки високочутливій візуалізації капілярної сітки, досягнутій за допомогою КР, а також надійній оцінці тканинної перфузії, яку можна визначити за процесом надходження та вимивання контрастної речовини.

Після внутрішньовенного введення КР для УЗЛ можна виділити три фази посилення в печінці:

- артеріальна фаза, під час якої КР досягає печінки спочатку через печінкову артерію (до 25 с. після ін'єкції)
- портальна фаза, коли КР проходить циркуляцію та поширюється через печінку у портальних гілках (між 25 та 45 с. після ін'єкції);
- і пізня або паренхіматозна фаза, в якій КР повільно розподіляється по всій паренхімі печінки (>2 хв. після ін'єкції)

Характерні особливості цих трьох фаз дозволяють виявити гепатоцелюлярну карциному з високою чутливістю та специфічністю, а також дозволяють диференціювати метастази в печінці.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Інші покази

Інші використання КР для УЗД: виявлення та характеристика пухлин грудної залози, підшлункової залози, нирок та ендокринних пухлин. Окрім цього, ці КР також використовуються для оцінки прохідності маткових труб [fallopian tube patency] міхурово-сечовідного рефлюксу, а також для виявлення травматичних ушкоджень солідних органів (Рис. 36).

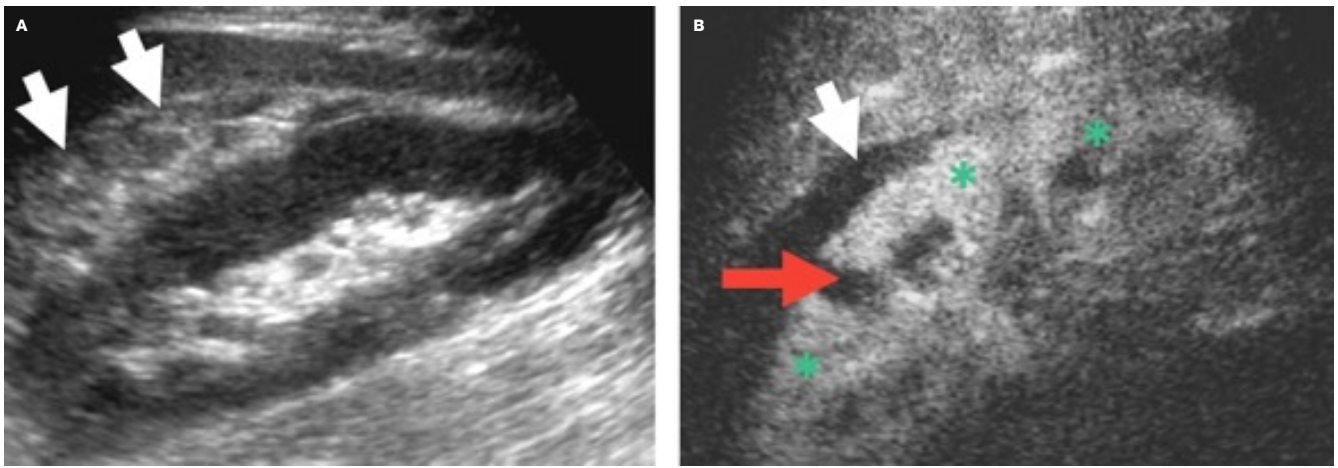


РИС. 36

УЗД правої нирки у пацієнта з травмою до (A) і після (B) внутрішньовенної ін'єкції КР для УЗД. На рис. до введення КР (A) видно гетерогенну навколониркову гематому (білі стрілки), однак ушкодження нирок немає. На рис. після введення КР (B) окрім навколониркової гематоми (білі стрілки) також видно розрив паренхіми (червона стрілка). Зауважте, що після введення КР нормальна паренхіма нирки сильно гіперехогенна (*). Зображення надано: Alexandra Platon, MD

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Побічні реакції

Побічні реакції, пов'язані з введенням КР для УЗД, трапляються рідко, зазвичай мають тимчасовий характер і помірну інтенсивність.

Найпоширеніші побічні ефекти: подразнення тканин у місці ін'єкції, біль голови, нудоту та блювання, зміни смаку, задишку, біль у грудях, гіпо- або гіпертензію, запаморочення, відчуття тепла або почервоніння, шкірні висипання та безсимптомні передчасні скорочення шлуночків.

Симптоми гіперчутливості зумовлені анафілактичними реакціями на газ або оболонку та включають артеріальну гіпотензію, бронхоспазм, кропив'янку та свербіж.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Протипокази

Протипоказими до внутрішньовенного введення КР з мікропухирцями є наявність в анамнезі реакцій гіперчутливості до газу або оболонки, що входять до складу КР.

Через можливий ризик серйозної серцево-легеневої реакції КР з мікропухирцями для внутрішньовенного введення не слід застосовувати особам **із нестабільним серцево-легеневим станом**, таким як тяжка легенева гіпертензія, гострий коронарний синдром, нестабільна стенокардія, нещодавно перенесений інфаркт міокарда, клінічно нестабільна застійна серцева недостатність, порушення серцевого ритму.

За 24 год. до екстракорпоральної ударно-хвильової терапії слід уникати використання мікропухирцевих КР.

Мікропухирцеві КР можна використовувати під час вагітності, **тільки якщо користь перевищує ризик.** Жінки, які годують грудьми, можуть розглянути питання про зціджування молока.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Основні тези

- Контрастні речовини, розроблені для рентгенографічних досліджень, МРТ та УЗД суттєво змінили сферу діагностичної візуалізації у клінічній практиці.
- Сучасні КР добре переносяться та мають високий рівень безпеки, однак повинен враховувати можливі побічні ефекти та конкретні клінічні ситуації, коли пацієнт може мати підвищений ризик.
- Рентгенконтрастні речовини (РКР) переважно містять йодовмісні сполуки, які покращують контрастність зображення завдяки місцевій зміні поглинання Х-променів.
- Рентгенографічні дослідження з використанням КР забезпечують достовірну діагностичну інформацію щодо морфології норми та патології, функції органів та рутинно застосовуються в клінічній практиці для широкого спектру показів.
- Частота побічних реакцій, пов'язаних із внутрішньосудинним введенням йодовмісних РКР, різко зменшилась із переходом від іонних РКР з високою осмоляльністю до неіонних РКР із низькою осмоляльністю або ізоосмоляльних, і зараз є загалом низькою.
- У пацієнтів із встановленим гіпертиреозом введення йодовмісних РКР протипоказаний через ризик розвитку тиреотоксикозу.
- Наявна ниркова недостатність є значним фактором ризику розвитку нефропатії, індукованої КР.
- КР для МРТ переважно містять парамагнітні комплекси гадолінію, які впливають на час релаксації протонів водню у навколишній тканині, викликаючи збільшення або зменшення інтенсивності сигналу.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

- Позаклітинні неспецифічні КР для МРТ використовуються для візуалізації центральної нервової системи та всього тіла, щоб оцінити патологічні процеси і порушення функції, тоді як органо- та тканинно-специфічні КР застосовуються для виявлення та характеристики пухлин у печінці, селезінці, лімфатичних вузлах і кістковому мозку.
- КР на основі гадолінію добре переносяться більшістю пацієнтів, проте частота побічних ефектів зазвичай вища при застосуванні специфічних для печінки КР, порівняно з позаклітинними КР на основі гадолінію.
- Пацієнти з порушеною функцією нирок можуть розвинути нефрогенний системний фіброз після введення лінійних комплексів гадолінію, через що Європейське агентство з лікарських засобів (ЕМА) припинило або обмежило внутрішньовенне застосування всіх високоризикових лінійних контрастних речовин на основі гадолінію.
- Повторне введення лінійних КР на основі гадолінію пов'язане з дозозалежним накопиченням гадолінію в певних ділянках головного мозку, навіть у осіб із нормальною функцією нирок.
- КР для УЗД складаються з мікропухирців, що містять газ із високою молекулярною масою та низькою розчинністю, інкапсульований у стабілізуючу оболонку. Завдяки локальній зміні акустичного опору, мікропухирці розсіюють падаючі УЗ-хвилі на своїй мембрані.
- Основні покази для застосування КР для УЗД: візуалізація серцево-судинної системи, зокрема ехокардіографія, а також виявлення та характеристика вогнищевих уражень печінки, особливо для розмежування доброякісних та злоякісних утворів.
- КР для УЗД мають добрий профіль безпеки. Єдина побічна реакція, яка трапляється вкрай рідко, є гіперчутливість.

Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Література

- ACR Manual On Contrast Media. 2024, ACR Committee on Drugs and Contrast Media. American College of Radiology. ISBN: 978-1-55903-012-0.
- ESUR Guidelines on Contrast Agents. The Contrast Media Safety Committee of the European Society of Urogenital Radiology. 2018; 10.0.
- Luca Caschera, Angelo Lazzara, Lorenzo Piergallini, Domenico Ricci, Bruno Tuscano, Angelo Vanzulli. Contrast agents in diagnostic imaging: Present and future. Pharmacological Research. 2016; 110: 65-75.
- Jeffrey J. Pasternak, Eric E. Williamson. Clinical Pharmacology, Uses, and Adverse Reactions of Iodinated Contrast Agents: A Primer for the Non-radiologist. Mayo Clin Proc. 2012; 87(4): 390-402.
- Ulrich Speck. X-Ray Contrast Media – Overview, Use and Pharmaceutical Aspects. 5. Auflage, Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-662-56465-3.
- Cathrine Christiansen. X-ray contrast media – an overview. Toxicology. 2005; 209: 85–187.
- H.S. Thomsen, S.K. Morcos. Radiographic contrast media. BJU International. 2000; 86(Suppl. 1): 1-10.
- Robic C et al., Invest. Radiology 2019
- Shao-Pow Lin, Jeffrey J. Brown. MR Contrast Agents: Physical and Pharmacologic Basics. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2007; 25: 884-899.
- Marie-France Bellin. MR contrast agents, the old and the new. European Journal of Radiology. 2006; 60: 314-323.
- Igor V. Kuriashkin, John M . Losonsky. Contrast Enhancement iIn Magnetic Resonance Imaging Using Intravenous Paramagnetic Contrast Media: A Review. Veterinary Rudiology & Ultrasound. 2000; 41(1): 4-7.
- M. F. Bellin, M. Vasile, S. Morel-Precetti. Currently used non-specific extracellular MR contrast media. Eur Radiol. 2003; 13: 2688-2698.
- Jean-Marc Idée, Marc Port, Caroline Robic, Christelle Medina, Monique Sabatou, Claire Corot. Role of Thermodynamic and Kinetic Parameters in Gadolinium Chelate Stability. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2009; 30: 1249-1258.
- Marc Port, Jean-Marc Idee, Christelle Medina, Caroline Robic, Monique Sabatou and Claire Corot. Efficiency, thermodynamic and kinetic stability of marketed gadolinium chelates and their possible clinical consequences: a critical review. Biometals. 2008 21: 469-490Wui K. Chong, Virginie Papadopoulou, Paul A. Dayton. Imaging with ultrasound contrast agents: current status and future. Abdom Radiol. 2018; 43: 762-772.

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Yu-Dong Xiao, Ramchandra Paudel, Jun Liu, Cong Ma, Zi-Shu Zhang And Shun-Ke Zhou. MRI contrast agents: Classification and application (Review). International Journal of Molecular Medicine 2016; 38: 1319-1326.

/ Carlos F. G. C. Geraldesa and Sophie Laurent. Classification and basic properties of contrast agents for magnetic resonance imaging. Contrast Media Mol. Imaging 2009; 4: 1-23.

/ Adrian Săftoiu, Peter Vilmann, Michiel Postema, Odd Helge Gilja. Contrast-enhanced and targeted ultrasound. World J Gastroenterol. 2011; 17(1): 28-41.

/ Steven B. Feinstein, Blai Coll, Daniel Staub, Dan Adam, Arend F. L. Schinkel, Folkert J. ten Cate, Kai Thomenius. Contrast enhanced ultrasound imaging. J Nucl Cardiol. 2010; 17: 106-115.

/ Reshani H. Perera, Christopher Hernandez, Haoyan Zhou, Pavan Kota, Alan Burke, Agata A. Exner. Ultrasound Imaging Beyond the Vasculature with New Generation Contrast Agents. Wiley Interdiscip Rev Nanomed Nanobiotechnol. 2015; 7(4): 593-608.

/ Emilio Quaia. Microbubble ultrasound contrast agents: an update. Eur Radiol. 2007; 17: 1995-2008.

/ Контрастні речовини

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

1

Які елементи включені до рутинно використовуваних рентгенконтрастних речовин (РКР)?

- ☐ Марганець у вигляді суперпарамагнітних частинок
- ☐ Йод у вигляді органічних молекул
- ☐ Барій у вигляді суспензії сульфату барію
- ☐ Гадоліній у вигляді хелатних комплексів
- ☐ Ксенон у вигляді газу

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

1

Які елементи включені до рутинно використовуваних рентгенконтрастних речовин (РКР)?

- ☐ Марганець у вигляді суперпарамагнітних частинок
- ■ Йод у вигляді органічних молекул
- ■ Барій у вигляді суспензії сульфату барію
- ☐ Гадоліній у вигляді хелатних комплексів
- ☐ Ксенон у вигляді газу

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

2 Які з тверджень щодо йодовмісних РКР є правильними?

- ☐ РКР з карбоксилатним замісником дисоціюють у розчині з утворенням іонних сполук
- ☐ Високогідрофільні РКР мають посилене зв'язування з білками плазми крові
- ☐ йодовмісні РКР у розчині піддаються процесу дейодування з вивільненням вільного йодиду
- ☐ Холеграфічний РКР має збільшену швидкість клубочкової фільтрації
- ☐ Осмолярність в іонних РКР вища, ніж у неіонних РКР, причому мономерні агенти мають вищу осмоляльність.

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

2 Які з тверджень щодо йодовмісних РКР є правильними?

- ■ РКР з карбоксилатним замісником дисоціюють у розчині з утворенням іонних сполук
- ☐ Високогідрофільні РКР мають посилене зв'язування з білками плазми крові
- ■ йодовмісні РКР у розчині піддаються процесу дейодування з вивільненням вільного йодиду
- ☐ Холеграфічний РКР має збільшену швидкість клубочкової фільтрації
- ■ Осмолярність в іонних РКР вища, ніж у неіонних РКР, причому мономерні агенти мають вищу осмоляльність.

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

3 Які фактори пов'язані з підвищеним ризиком виникнення побічних ефектів при застосуванні РКР?

- ☐ Рентгенографічна візуалізація шлунково-кишкового тракту з використанням суспензії сульфату барію
- ☐ Внутрішньовенне введення високоосмолярних РКР
- ☐ Внутрішньовенне введення холангіографічних КР пацієнтам із супутньою патологією щитоподібної залози
- ☐ Внутрішньовенне введення РКР з високою в'язкістю
- ☐ Візуалізація шлунково-кишкового тракту за допомогою перорального йодованого РКР

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

3 Які фактори пов'язані з підвищеним ризиком виникнення побічних ефектів при застосуванні РКР?

- ☐ Рентгенографічна візуалізація шлунково-кишкового тракту з використанням суспензії сульфату барію
- ■ Внутрішньовенне введення високоосмолярних РКР
- ■ Внутрішньовенне введення холангіографічних КР пацієнтам із супутньою патологією щитоподібної залози
- ■ Внутрішньовенне введення РКР з високою в'язкістю
- ☐ Візуалізація шлунково-кишкового тракту за допомогою перорального йодованого РКР

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

4 Які пацієнти мають ризик розвитку постконтрастного гострого пошкодження нирок після введення йодованого РКР?

- ☐ Пацієнти з порушенням функції нирок з ШКФ < 45 мл/хв/1,73 м^2
- ☐ Пацієнти, які страждають на множинну мієлому
- ☐ Пацієнти з цукровим діабетом
- ☐ Пацієнти з серцево-судинними хворобами

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

4 Які пацієнти мають ризик розвитку постконтрастного гострого пошкодження нирок після введення йодованого РКР?

- ■ Пацієнти з порушенням функції нирок з ШКФ < 45 мл/хв/1,73 м^2
- ☐ Пацієнти, які страждають на множинну мієлому
- ■ Пацієнти з цукровим діабетом
- ■ Пацієнти з серцево-судинними хворобами

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

5 Які сполуки рутинно використовуються як контрастні речовини для МРТ?

- ☐ $Gd^{3}+$ у вигляді комплексів з хелатуючими лігандами
- ☐ Наночастинки перфторвуглецю для візуалізації ^{19}F
- ☐ Наночастинки Fe_2O_3
- ☐ $Mn^{2}+$ у вигляді комплексів з хелатуючими лігандами

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

5 Які сполуки рутинно використовуються як контрастні речовини для МРТ?

- [x] $Gd3+$ у вигляді комплексів з хелатуючими лігандами
- [ ] Наночастинки перфторвуглецю для візуалізації ^{19}F
- [x] Наночастинки Fe_2O_3
- [x] $Mn^{2}+$ у вигляді комплексів з хелатуючими лігандами

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

6 Які твердження про неспецифічні позаклітинні контрастні речовини є правильними?

- ☐ Вони вільно циркулюють у позаклітинному просторі, але не проникають через неушкоджений гематоенцефалічний бар'єр
- ☐ Потребують метаболізму своєї макромолекулярної частини перед виведенням нирками
- ☐ Застосовуються для обстежень ЦНС
- ☐ Різні позаклітинні КР на основі гадолінію мають дуже різну ефективність щодо їхньої релаксаційної здатності

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

6 Які твердження про неспецифічні позаклітинні контрастні речовини є правильними?

- [x] Вони вільно циркулюють у позаклітинному просторі, але не проникають через неушкоджений гематоенцефалічний бар'єр
- [ ] Потребують метаболізму своєї макромолекулярної частини перед виведенням нирками
- [ ] Застосовуються для обстежень ЦНС
- [ ] Різні позаклітинні КР на основі гадолінію мають дуже різну ефективність щодо їхньої релаксаційної здатності

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

7

Які контрастні речовини для МРТ рекомендовані для виявлення та детального аналізу пухлин печінки?

- ☐ Лінійні іонні комплекси Gd^{3+}
- ☐ Лінійні неіонні комплекси Gd^{3+}
- ☐ Макроциклічні комплекси Gd^{3+}
- ☐ Великі суперпарамагнітні частинки оксиду заліза
- ☐ Малі суперпарамагнітні частинки оксиду заліза

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

7 Які контрастні речовини для МРТ рекомендовані для виявлення та детального аналізу пухлин печінки?

- ■ Лінійні неіонні комплекси Gd^{3+}
- ☐ Лінійні неіонні комплекси Gd^{3+}
- ☐ Макроциклічні комплекси Gd^{3+}
- ■ Великі суперпарамагнітні частинки оксиду заліза
- ☐ Малі суперпарамагнітні частинки оксиду заліза

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

8 Що з переліченого є факторами ризику розвитку нефрогенного системного фіброзу при введенні контрастної речовини на основі гадолінію?

- ☐ Порушення функції нирок зі швидкістю клубочкової фільтрації ШКФ ' 15 мл/хв/1,73 м²
- ☐ Пацієнти з хворобою печінки
- ☐ Введення лінійної контрастної речовини на основі гадолінію
- ☐ Пацієнти з підвищеним рівнем заліза в крові
- ☐ Застосування суперпарамагнітних частинок оксиду заліза

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

8 Що з переліченого є факторами ризику розвитку нефрогенного системного фіброзу при введенні контрастної речовини на основі гадолінію?

- ■ ІПорушення функції нирок зі швидкістю клубочкової фільтрації ШКФ ' 15 мл/хв/1,73 м²
- ☐ Пацієнти з хворобою печінки
- ■ Введення лінійної контрастної речовини на основі гадолінію
- ■ Пацієнти з підвищеним рівнем заліза в крові
- ☐ Застосування суперпарамагнітних частинок оксиду заліза

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

9

Які рекомендації European Medicines Agency (EMA) щодо використання контрастних речовин на основі гадолінію щодо ризику розвитку нефрогенного системного фіброзу?

- ☐ Застосування всіх лінійних комплексів на основі гадолінію призупинено
- ☐ Використання макроциклічних іонних комплексів на основі гадолінію обмежено до гепато-біліарної візуалізації
- ☐ Призупинено використання лінійних неіонних комплексів на основі гадолінію
- ☐ Використання лінійних іонних комплексів на основі гадолінію обмежується гепато-біліарною візуалізацією та артрографією відповідно

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

9 Які рекомендації European Medicines Agency (EMA) щодо використання контрастних речовин на основі гадолінію щодо ризику розвитку нефрогенного системного фіброзу?

- ☐ Застосування всіх лінійних комплексів на основі гадолінію призупинено
- ☐ Використання макроциклічних іонних комплексів на основі гадолінію обмежено до гепато-біліарної візуалізації
- ■ Призупинено використання лінійних неіонних комплексів на основі гадолінію
- ■ Використання лінійних іонних комплексів на основі гадолінію обмежується гепато-біліарною візуалізацією та артрографією відповідно

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

10 Які твердження щодо використання мікропухирців як контрастних речовин для УЗД є правильними?

- ☐ Виводяться через нирки
- ☐ Виводяться переважно через легені
- ☐ Не використовують для вимірювання перфузії тканин печінки
- ☐ Швидко проникають через неушкоджений гематоенцефалічний бар'єр
- ☐ Вони зазвичай залишаються в межах кров’яного русла

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

10 Які твердження щодо використання мікропухирців як контрастних речовин для УЗД є правильними?

- ☐ Виводяться через нирки
- ■ Виводяться переважно через легені
- ☐ Не використовують для вимірювання перфузії тканин печінки
- ☐ Швидко проникають через неушкоджений гематоенцефалічний бар'єр
- ■ Вони зазвичай залишаються в межах кров'яного русла

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

11 Які переваги ультразвукової діагностики з використанням контрастних речовин на основі мікропухирців?

- ☐ Вони дозволяють візуалізувати кровоплин та перфузію органів у реальному часі з високою чутливістю
- ☐ Мікропухирці можна використати з терапевтичною метою для цільової доставки ліків
- ☐ Мають чудовий профіль безпеки
- ☐ Мікропухирці нового покоління з покращеною стабільністю можуть зберігатися під впливом ультразвуку з високої акустичною потужністю.

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

11 Які переваги ультразвукової діагностики з використанням контрастних речовин на основі мікропухирців?

- ■ Вони дозволяють візуалізувати кровоплин та перфузію органів у реальному часі з високою чутливістю
- ☐ Мікропухирці можна використати з терапевтичною метою для цільової доставки лікі
- ■ Мають чудовий профіль безпеки
- ☐ Мікропухирці нового покоління з покращеною стабільністю можуть зберігатися під впливом ультразвуку з високої акустичною потужністю.

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

12 Який метод візуалізації показаний для виявлення гепатоцелюлярної карциноми у пацієнта з нирковою недостатністю?

- ☐ Рентгенографія з використанням йодовмісної РКР
- ☐ Ультразвукове дослідження з використанням КР з мікропухирцями
- ☐ МРТ-візуалізація з використанням гепатоспецифічних лінійних гадолінієвих комплексів

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

12 Який метод візуалізації показаний для виявлення гепатоцелюлярної карциноми у пацієнта з нирковою недостатністю?

- ☐ Рентгенографія з використанням йодовмісної РКР
- ■ Ультразвукове дослідження з використанням КР з мікропухирцями
- ☐ МРТ-візуалізація з використанням гепатоспецифічних лінійних гадолінієвих комплексів

/ Тестування

ПЛАН РОЗДІЛУ:

Контрастні речовини

Рентгенконтрастні речовини (РКР)

Контрастні речовини для МРТ

Контрастні речовини для УЗД

Основні тези

Література

Тестування

<?> ПИТАННЯ

13 Які функціональні принципи визначають специфічність печінки в різних методах візуалізації?

- ☐ Частковий розподіл контрастної речовини в печінці шляхом пасивної дифузії, що використовується при рентгенологічних дослідженнях
- ☐ Селективне поглинання контрастної речовини фагоцитуючими клітинами печінки, що використовується при МРТ
- ☐ Часткова гепатобіліарна екскреція та поглинання контрастної речовини гепатоцитами, що використовується в МРТ
- ☐ Накопичення контрастної речовини в залежності від функціональності гепатобіліарної системи, використовується при УЗД

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

13 Які функціональні принципи визначають специфічність печінки в різних методах візуалізації?

- ☐ Частковий розподіл контрастної речовини в печінці шляхом пасивної дифузії, що використовується при рентгенологічних дослідженнях
- ■ Селективне поглинання контрастної речовини фагоцитуючими клітинами печінки, що використовується при МРТ
- ■ Часткова гепатобіліарна екскреція та поглинання контрастної речовини гепатоцитами, що використовується в МРТ
- ☐ Накопичення контрастної речовини в залежності від функціональності гепатобіліарної системи, використовується при УЗД

/ Тестування

<?> ПИТАННЯ

14 Які твердження щодо побічних реакцій у різних методах візуалізації є правильними?

- ☐ Частота побічних реакцій, пов'язаних із йодовмісними РКР, зменшилася у рутинній клінічній практиці завдяки обмеженню використання іонних РКР з високою осмолярністю
- ☐ Йодовмісні контрастні засоби для рентгенографічної візуалізації шлунково-кишкового тракту, що вводяться перорально, протипоказані пацієнтам із підозрою на перфорацію
- ☐ Повторне введення лінійних контрастних речовин на основі гадолінію пов'язане з дозозалежним накопиченням гадолінію в певних ділянках мозку навіть у осіб із нормальною функцією нирок
- ☐ Контрастні речовини для УЗД на основі мікропухирців підвищують ризик розвитку тромбоемболії легеневих артерій
- ☐ У пацієнтів із підтвердженим гіпертиреозом введення йодовмісних контрастних речовни протипоказане

/ Тестування

<?> ВІДПОВІДЬ

14 Які твердження щодо побічних реакцій у різних методах візуалізації є правильними?

- ■ Частота побічних реакцій, пов'язаних із йодовмісними РКР, зменшилася у рутинній клінічній практиці завдяки обмеженню використання іонних РКР з високою осмолярністю
- ☐ Йодовмісні контрастні засоби для рентгенографічної візуалізації шлунково-кишкового тракту, що вводяться перорально, протипоказані пацієнтам із підозрою на перфорацію
- ■ Повторне введення лінійних контрастних речовин на основі гадолінію пов'язане з дозозалежним накопиченням гадолінію в певних ділянках мозку навіть у осіб із нормальною функцією нирок
- ☐ Контрастні речовини для УЗД на основі мікропухирців підвищують ризик розвитку тромбоемболії легеневих артерій
- ■ У пацієнтів із підтвердженим гіпертиреозом введення йодовмісних контрастних речовни протипоказане

EUROPEAN SOCIETY OF RADIOLOGY

Association of Radiologists of Ukraine

Весь використаний матеріал (включаючи інтелектуальну власність та елементи ілюстрацій) або походить від авторів, або автори мали право використовувати матеріал, відповідно до чинного законодавства або отримали ліцензію від власника авторських прав