

## Вебинар 10. Программа по стандартизации диагностики. Протоколы исследований процедур с контрастированием

---

### Перфузионная КТ головного мозга (Амелин М.Е.)

---

- С точки зрения перфузионной КТ головной мозг (ГМ) можно представить в виде гемодинамической системы, которая имеет постоянный объем, поддерживаемый постоянным притоком и оттоком крови, находящимися в динамическом равновесии.
- Сдвиг объема в системе (как недостаток крови, так и ее переизбыток) → гемодинамическая катастрофа.
- В данном случае справедливо интегральное уравнение:  
*Объем крови = Среднее время транзита крови × Скорость кровотока*
- Это дает возможность измерить временную зависимость изменения концентрации контраста после его инъекции.

Опыт специалистов ФГБУ «Федеральный центр нейрохирургии» Минздрава России

#### Укладка и подготовка пациента

- Укладка пациента должна быть произведена таким образом, чтобы плоскость сканирования соответствовала орбито-меатальной линии.
- Рекомендуются до выполнения перфузионного исследования выполнить бесконтрастное сканирование ГМ для определения уровня интереса и исключения кровоизлияния.

#### Протокол исследования:

- 20-50 мл контрастного вещества (КВ);
- концентрация - 300-400 мг/мл;
- скорость - 4-7 мл/сек;
- катетер в кубитальной вене калибром 18-20 G.

Рекомендуется ставить точку интереса на наиболее рано контрастируемый сосуд.

- Выбор артериального сосуда - передняя или средняя мозговая артерия.
- Выбор венозного сосуда - как правило, сагиттальный синус.

#### Показатели перфузии

- При вычислении показателей перфузии происходит сравнение прироста плотности в пикселях мозговой ткани с приростом плотности контрастирования в избранной артерии. При решении алгоритма обратной свертки для кривых время-прирост плотности в тканях и артериальном сосуде получают данные МТТ (mean transit time, среднее время прохождения).
- CBV (cerebral blood volume, объем кровенаполнения) - параметр, определяемый как доля кровеносных сосудов в определенном объеме мозговой ткани; вычисляется исходя из коэффициентов плотности каждого вокселя паренхимы при сравнении с плотностью в выбранном сосуде.
- CBF (cerebral blood flow, мозговой кровоток) - вычисляется из уравнения  $CBF = CBV/MTT$ .
- ТТР (time to peak, время пика) - время до пика контрастирования в каждом данном пикселе.
- Delay - время от введения КВ до начала контрастирования в каждом данном пикселе.
- Permeability - показатель проницаемости ГЭБ, количество внесосудистой контрастированной

крови.

*ГЭБ - гематоэнцефалический барьер*

Механизмы, приводящие к изменению перфузионных параметров вещества ГМ

Небольшое ↓ центрального перфузионного давления (ЦПД) приводит к компенсаторному расширению артериол ГМ и ↓ сосудистого сопротивления.

↓

Скорость кровотока замедляется, ↑ среднее время транзита КВ и объем мозгового кровенаполнения в то время, как показатель кровотока будет в пределах нормы.

В случае умеренного ↓ ЦПД вазодилатация обеспечивает поддержание кровотока на пределе компенсаторных возможностей. Признаком этого – еще большее ↑ среднего времени транзита КВ и ↑ объема мозгового кровенаполнения.

При дальнейшем ↓ ЦПД механизмы ауторегуляции перестают функционировать, расширение церебральных сосудов уже не в состоянии обеспечить достаточный уровень кровотока, что приводит к ↓ и CBF, и CBV.

Симпатическая функция нейронов ухудшается при кровотоке <20 мл на 100 г/мин, а необратимое нарушение метаболизма наступает при значениях CBF <10-15 мл на 100 г/мин, причем нарушение функционирования мембраны нейрона и ионных насосов не всегда является необратимым.

При критическом уровне кровотока (<10 мл на 100 г/мин) нарушается электрическая активность и водный гомеостаз нейронов, синтез АТФ не соответствует потребностям клетки → прекращение функционирования ионных насосов → развитие цитотоксического отека.

Развитие инфаркта мозга зависит не только от количественных значений перфузии, но и от длительности олигемии. Чем более выражено ↓ кровотока, тем <времени требуется для развития необратимых изменений.

### **Задачи перфузионной КТ при инсульте:**

- оценка локализации и объема поражения;
- дифференцировка ядра инсульта от пенумбры;
- оценка результата лечения.

Оптимальная фаза проведения исследования – острейшая фаза (4 часа от момента развития симптомов).

Пенумбра – участок ткани, в котором отмечается различие между площадью зон с измененными CBV и CBF. CBF-CBV mismatch – окружающий ядро инфаркта участок ткани со сниженной перфузией и нарушенным функционированием, но еще сохраняющий жизнеспособность.

По данным литературы, в целом чувствительность перфузионной КТ для выявления очагов острого ишемического повреждения составляет >90%. Наиболее чувствительные к изменению кровотока параметры – МТТ и ТТР.

Перфузионная КТ для выявления острейшей ишемии ГМ была рекомендована в руководстве АНА.

Перфузионная КТ позволяет проводить оценку проницаемости ГЭБ и вероятности геморагической трансформации\*.

\*Данный термин часто соотносят к 2-м разным процессам, имеющим разное происхождение и проявление, а также прогноз: петехиальным кровоизлияниям и внутримозговой гематоме

**Болезнь Мойя-Мойя** – идиопатическое, невоспалительное, неатерогенное прогрессирующее окклюзирующее заболевание, поражающее Виллизиев круг и супраклиноидную часть внутренней сонной артерии (ВСА).

Радиологическая симптоматика:

- пролиферативный рост коллатералей образуют маленькую абнормальную характерную сосудистую сеть в виде «клубков дымка», особенно хорошо заметных на ангиографии;
- классически вовлекается ВСА и ее ветви, но в половине случаев могут быть изменения и в задней части Виллизиева круга;
- типичная находка – тотальная атрофия всех мозговых артерий;
- огромное количество коллатералей;
- множественные очаги микрокровоизлияний.

С помощью перфузионной КТ также можно проводить оценку:

- аневризм;
- внемозговых объемных образований;
- соотношений объемных образований с сосудами;
- внутримозговых образований глиального ряда;
- объема остаточной опухолевой ткани (в некоторых случаях);
- радикальности удаления образований глиального ряда.

В некоторых случаях перфузионная КТ может помочь в определении псевдопрогрессии опухоли или лучевого некроза, а также в оценке рецидива после лучевой- и химиотерапии (однако это не может быть заменой ПЭТ-КТ).

Лучевая безопасность процедуры

Эффективная эквивалентная доза при динамической КТ-перфузии – 2,0-3,4 мЗв, что незначительно превышает дозу, необходимую для рутинного исследования ГМ (1,5-2,5 мЗв).

**Перфузионная КТ:**

- относительно простое и доступное средство визуализации мозгового кровотока и количественной оценки его параметров;
- высокочувствительный метод оценки мозгового кровотока;
- способ оценки объемных образований головного мозга;
- применима во многих клинических ситуациях.

## Сосудистые заболевания ЦНС (Амелин М.Е.)

---

Ишемия мозга

Глобальная

Локальная

- остановка сердца;
- грубые нарушения сердечного ритма;
- системная артериальная гипотония
- нарушение мозгового кровотока в отдельном сосудистом бассейне

Шкала Fazekas используется для упрощения и стандартизации количественной оценки объема белого вещества, вовлеченного в процесс ишемии.

Синдром обратимой задней энцефалопатии (posterior reversible encephalopathy syndrome – PRES) – нейротоксическое состояние, возникающее в бассейнах задних мозговых артерий при нарушениях циркуляции или ауторегуляции, которые происходят при острых изменениях АД.

Перепад АД → гиперперфузия с нарушением ГЭБ → развитие вазогенного отека без образования зоны инфаркта, чаще всего в теменно-затылочных областях.

Гипертензивная микроангиопатия – следствие регулярного воздействия повышенного АД на орган-мишень (ГМ). Наблюдаются выраженный лейкоареоз, следы микрокровоизлияний в подкорковом белом веществе и базальных ганглиях (особенно в режиме SWI).

Церебральная амилоидная ангиопатия – нарушение, вызываемое накоплением церебрального амилоида-β в средней и адвентициальной оболочках лептоменингеальных и кортикальных сосудов ГМ. Наблюдаются выраженные изменения в белом веществе на T2, накопления черных пятен в базальных ганглиях.

Подкорковая артериосклеротическая энцефалопатия – болезнь Бинсвангера (также деменция мелких сосудов):

- медленно прогрессирующая патология, поражающая только белое вещество с наличием множества мелких инфарктов;
- изменения в белом веществе обычно небольшие, группируются вокруг передних и задних рогов боковых желудочков и полуовальных центров;
- обычно типично наличие умеренных атрофических изменений, а также наличие лакунарных инфарктов в базальных ганглиях и таламусах.

CADASIL (cerebral autosomal dominant arteriopathy with subcortical infarcts and leukoencephalopathy):

- аутомно-доминантная микроваскулопатия, характеризующаяся повторяющимися лакунарными и субкортикальными инсультами и сосудистой деменцией у людей молодого и среднего возрастов без известных факторов риска;
- типичны явления кортикальной гипотрофии;
- отмечается большое количество сливных очаговых изменений в белом веществе;
- типично вовлечение моста, таламуса и базальных ганглиев;
- классические симптомы – вовлечение белого вещества височных долей и наружной капсулы, субкортикальных U-волокон и коры.

### **КТ-диагностика ишемического инсульта (ИИ):**

- нативное сканирование;
- перфузионное сканирование;
- КТ-ангиография.

Ранние признаки ИИ на КТ:

- незначительный масс-эффект со сглаженностью борозд мозга как проявление цитотоксического отека;
- ↓ дифференцировки серого и белого вещества вследствие ↓ плотности серого вещества

(подкорковые ядра);

- гипертензивность средней мозговой артерии вследствие ее тромбоза.

Нативное сканирование в острой фазе ИИ может быть неинформативно.

Острая стадия ИИ:

- ↓ плотности;
- сдавление субарахноидальных пространств;
- компрессия желудочков;
- четкие границы.

### **МРТ-исследование**

- Диффузионно-взвешенные изображения (DWI) – данный режим чувствителен к самым малым и ранним очагам инфаркта.
- ↑ сигнала на DWI отмечается в первые минуты ишемии, при этом прогрессирует ↓ измеряемого коэффициента диффузии (ADC или ИКД).
- Чувствительность – 88-100%, специфичность – 86-100 %.

Проявления DWI/ADC зависят от времени процесса ИИ.

#### **Острейшая и острая стадии (0-7 дни)**

- ADC ↓ прогрессивно, достигая нижней точки в период 1-4 сут.
- К концу этого периода выход воспалительных медиаторов в окружающую ткань приводит к вазогенному отеку с экстравазацией воды в межклеточное пространство

Ранняя реверсия диффузии – обычно следствие реперфузии, чаще всего может наблюдаться в подострой стадии **(1-3 нед.)**

Псевдонормализация (7-15 сут)

- ИКД возвращается к околонормальным значениям даже в зонах необратимого некроза.
- Диффузия остается высокой благодаря T2-shine-through.
- После 2-х недель ИКД поднимается выше нормального.

Хроническая стадия **(>3 нед.)**

- ИКД имеет высокий сигнал.
- DWI имеет пониженный сигнал.

Фибромускулярная дисплазия (ФМД)

- Гетерогенная группа невоспалительных, идиопатических, неатерогенных ангиопатий мелких и средних по калибру артерий.
- Наиболее часто диагностируется в возрасте 30-50 лет, более типична для женщин.
- Причина до конца неизвестна, происходит утолщение артериальной стенки за счет разрастания фиброзной ткани, причем разрастание может происходить в любом из слоев сосудистой стенки
- В 70% случаев встречается форма медиальной дисплазии.
- Наблюдается четкообразное сужение сосуда, как правило, поражаются сосуды малого и среднего калибра.

Диссекция интимы не всегда хорошо визуализируется при КТ-исследовании из-за малого

калибра сосудов (в отличие от МРТ).

### Васкулиты

- Гигантоклеточный артериит чаще вовлекает ветви наружной сонной артерии, описаны случаи вовлечения ветвей средней мозговой артерии.
- Узелковый полиартериит (polyarteritis nodosa – PAN) вовлекает сосуды малого и среднего калибра (больше артериол), характерны множественные микроаневризмы и множественные участки инфарктов мозга, возможны окклюзии мелких сосудов и мелкие кровоизлияния.
- Гранулематоз с полиангиитом – церебральные или менингеальные гранулемы, инфаркты в бассейнах мелких сосудов и окклюзии мелких артериальных ветвей, кровоизлияния.
- Волчаночный васкулит связан с наличием множества мелких очаговых поражений, расположенных, как правило, субкортикально, также типичны лакунарные инсульты.

Риск разрыва аневризмы сильно зависит от локализации аневризмы.

### ***The UCAS Japan Investigators. The Natural Course of Unruptured Cerebral Aneurysms in a Japanese Cohort. N Engl J Med 2012; 366:2474-2482***

Результаты проспективного когортного исследования неразорвавшихся церебральных аневризм у населения Японии (исследовано 6697 аневризм у 5720 пациентов в возрасте 20 лет и старше, 68% женщин, средний возраст 62,5 года):

- Разрыв аневризмы зафиксирован у 111 наблюдаемых пациентов за 40 мес. наблюдения.
- Средняя ежегодная частота разрыва – 0,95%.
- Риск разрыва ↑ с ростом аневризмы.
- Аневризмы с дочерним мешком имели в 1,6 раза более высокий риск разрыва.
- Риск разрыва аневризм ПСА и ЗСА почти в 2 раза (на 90%) ↑, чем аневризм СМА.

ПСА – передняя соединительная артерия, ЗСА – задняя соединительная артерия, СМА – средняя мозговая артерия

Изучение гемодинамики аневризм позволяет прогнозировать вероятность разрыва аневризмы; возможно использование данных многосрезового КТ, МРТ, 3D-ротационной ангиографии.

С помощью компьютерного моделирования гидродинамики проанализированы 330 аневризм, из которых 116 оказались SW типа; изучались взаимоотношения между несущим сосудом и аневризмой, в частности угол между осью несущего сосуда и осью аневризмы. Определено 2 фактора разрыва:

- эндотелиальная дисфункция в местах с низким WSS (дочерние выпячивания аневризм);
- места стенки аневризмы с высоким WSS.

Department of Neurosurgery at Tufts Medical Center and Tufts University school of Medicine

### Артериовенозные мальформации (АВМ)

- Манифестация АВМ ГМ в 38-70% случаев начинается с кровоизлияния.
- В 5-10% АВМ – причина нетравматического субарахноидального кровоизлияния.
- Наибольшая частота кровоизлияний из АВМ ГМ приходится на возраст 20-40 лет.
- Сосудистые мальформации спинного мозга – редкая и на современном этапе малоизученная патология, диагностика представляет большие трудности; на конечном этапе диагностики потребуются ангиография.

### Каротидно-кавернозное соустье

Типичная симптоматика – контрастирование глазничной вены.

# МСКТ с контрастированием в диагностике заболеваний головного мозга (Гвазава В.Р.)

---

Место КТ головного мозга в диагностическом алгоритме:

- 1-я линия диагностики при появлении неврологической симптоматики (нативная КТ);
- базовое экстренное исследование в «приемном покое» для исключения/подтверждения интракраниальной травмы и/или геморрагии и диагностики ишемического поражения ГМ (нативная КТ + КТ-перфузия + КТА БЦА и интракраниальных артерий);
- экспертная нейрордиагностика при отсутствии возможности использования МРТ (КТ с в/в усилением).

*БЦА - брахиоцефальные артерии*

Чувствительность и специфичность КТ ГМ с динамическим контрастным усилением (ДКУ):

- > 90% для ишемических и геморрагических событий;
- существенно ниже для опухолевой патологии (~ 60% для церебральных метастазов), воспалительной и инфекционной патологии интракраниальных структур;
- не имеет диагностической ценности в отношении диффузного поражения белого вещества (лейкоэнцефалопатий), демиелинизирующих процессов.

(+) КТ ГМ с ДКУ

- Скорость
- Доступность
- Min противопоказаний

(-) КТ ГМ с ДКУ

- Низкий тканевой контраст
- Меньшая чувствительность к КС
- Ионизирующее излучение
- Введение значительного количества йодсодержащего КС

*КС - контрастное средство*

Противопоказания к КТ с ДКУ:

- СКФ <30 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup>\*;
- беременность;
- общее двигательное возбуждение пациента.

*\* ESUR Contrast Media Safety Guidelines 10.0*

*Специалисты Клинико-диагностического центра ГУЗ ТО «Тульская областная клиническая больница» не проводят КТ с контрастированием пациентам с СКФ <40 мл/мин/1,73 м<sup>2</sup> при наличии какой-либо возможности заменить исследование другой диагностической модальностью.*

Стратегия КУ:

- Тайминг
- Скорость введения КС
- Количество КС

***Bae KT. Peak contrast enhancement in CT and MR angiography: when does it occur and why? Pharmacokinetic study in a porcine model. Radiology. 2003 Jun;227(3):809-16***

Факторы, влияющие на время достижения целевого внутрисосудистого контрастирования: вес пациента, сердечный выброс, концентрация йода в вводимом КС, скорость введения КС, длительность введения КС.

На базе Клинико-диагностического центра ГУЗ ТО «Тульская областная клиническая больница» установлено 5 аппаратов КТ: 64-срезовые (n=2), 160-, 256- и 320-срезовый КТ.

- Важное значение имеет оптимальный выбор окна визуализации согласно диагностической цели.
- Одной из самых частых настроек окна для КТ ГМ являются параметры ширины 70 HU и центра 30 HU → позволяет хорошо дифференцировать серое и белое вещество, отделить его от ликвора и т.д.
- Для визуализации крови в субдуральном или эпидуральном пространствах следует установить параметры ширины 180-200 HU и центра 80 HU.
- Для мягких тканей рекомендованы параметры ширины 400 HU и центра 50 HU, для костных тканей - 2000 HU, центр 600 HU.

Параметры сканирования, используемые в практике специалистов Клинико-диагностического центра ГУЗ ТО «Тульская областная клиническая больница»:

- 60-80 мл КС (350-370 мг/мл йода);
- скорость введения 4 мл/сек + солевой «чейсер» 30-40 мл;
- болюс-трекер на средний отдел шеи на равном расстоянии от зубов и тканей плечевого пояса;
- ручной старт сканирования артериальной фазы с задержкой 6 сек от появления КС во внутренних сонных артериях;
- отсроченная фаза (3-5 мин).

### Нейроонкология

Паттерны распределения опухолей внутри головного мозга и вдоль оболочек имеет большое значение → позволяет начать суживать дифференциальный диагностический ряд до нескольких нозологических единиц.

- Глиобластомы чаще вовлекают лобные и теменные доли, анапластические астроцитомы - фронтальные поля и срединные структуры.
- Диффузные глиомы вовлекают лобные, височные доли, центральные отделы в области межталамического сращения, пластинку четверохолмия.
- Для плеоморфной ксантоастроцитомы с кистозными компонентами чаще характерно вовлечение базальных отделов лобных долей.
- Опухоли эпендимарного ряда располагаются вдоль стенок желудочков, в области отверстий, вдоль спинного мозга (как правило, на стыке продолговатого отдела ГМ и шейного отдела спинного мозга), в самом шейном отделе спинного мозга и в конусе спинного мозга на уровне поясничного отдела. Эпендимомы могут располагаться и экстравентрикулярно на удалении от стенок боковых желудочков.

### Паттерны контрастирования

Отсутствие контрастирования

Пятнистый паттерн

Диффузный паттерн

Кольцевидный паттерн

- Глиомы низкой градации
- Кистозные неопухолевые процессы: дермоидные, эпидермоидные, арахноидальные кисты
- Субэпендимома
- Метастазы
- Глиобластома
- Радиационный некроз
- Олигодендроглиома
- Эпендимома
- Лимфома
- Метастазы
- Менингиомы, шванномы
- Пинеальные опухоли и макроаденомы гипофиза
- Эпендимома
- Метастазы
- Глиобластомы и астроцитомы grade 4
- Абсцессы
- Очаги демиелинизации

Тип накопления КС приблизительно одинаковое при использовании КТ и МРТ.

Периферическое кольцевидное контрастирование может быть «спутником» разрешающейся подострой стадии паренхиматозной гематомы ГМ.

Паттерн контрастирования схож у метастазов и у глиобластом с обширной зоной некроза, поэтому крайне важно всегда учитывать клиническую картину пациента.

МРТ – более преимущественный метод для дифференциальной диагностики абсцессов и некротических опухолей ГМ.

Нативное КТ может быть полезно для дифференциальной диагностики опухолей sellarной области.

КТ с использованием артериальной фазы позволяет хорошо оценить сосудистое русло, расположенное вблизи или внутри опухолей.

### Нейроинфекция

Патогномичный симптом токсоплазмозного абсцесса – симптом «мишени» (когда происходит как периферическое контрастирование, так и контрастирование центрально расположенного узелка).

Кроме грибковых, бактериальных и паразитарных поражений КТ может принести определенную пользу в диагностике вирусных поражений ГМ.

При вторичном распространении инфекции в ГМ КТ может быть полезна для точной визуализации патологического процесса в придаточных пазухах носа или височных костях.

### Нейротравма

В нейротравме КТ с КУ имеет ограниченное значение. Кроме исследований при подозрении на сосудистую травму, в редких случаях может помочь при оценке острых или прекращенных интракраниальных кровотечений.

КТ вполне может заменить МРТ в диагностике заболеваний головного мозга при отсутствии возможности проведения МРТ или при наличии противопоказаний к данному методу.