

Оригинальная статья

@ Суханов В.А., Чернова О.Н., Шубный М.О., Штенцель Р.Э., 2021

УДК: 616-073.756.8:616.831

DOI: 10.52420/2071-5943-2021-20-2-43-48

СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ МРТ T2* И КТ ПЕРФУЗИИ ГОЛОВНОГО МОЗГА. КАК ИЗБЕЖАТЬ «НЕУДАЧ»

В.А. Суханов¹, О.Н. Чернова¹, М.О. Шубный¹, Р.Э. Штенцель²

¹ ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины», г. Челябинск, Российская Федерация

² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Введение. Для снижения количества перфузионных исследований головного мозга, интерпретация которых невозможна или может быть выполнена с ошибками, мы ретроспективно проанализировали перфузионные исследования головного мозга за три года, провели анализ выявленных ошибок на этапе сбора данных и на этапе интерпретации исследований. **Цели и задачи** — проанализировать и разделить на группы причины, которые приводили к ограничениям или невозможности оценки перфузии при интерпретации полученных данных, разработать алгоритм действий для снижения количества неинтерпретируемых исследований. **Материалы и методы.** В ходе исследования ретроспективной оценке подверглись 275 КТ и МРТ-исследований с перфузией головного мозга, выполненных в период с 2017 по 2019 г. на 1,5 Т магнитно-резонансном томографе и 32-срезовом компьютерном томографе. **Результаты.** Результатом данного исследования стало лучшее понимание причин наиболее распространенных ошибок при выполнении перфузионных исследований. Анализ причин позволил выделить факторы, влияющие на выполнение исследования и интерпретацию полученных данных. **Обсуждение.** Для качественного проведения перфузионного исследования, учитывая многочисленные факторы, влияющие на интерпретацию получаемых данных, необходимо соблюдать ряд условий по планированию и проведению исследования, а также по оценке полученных данных. **Выводы.** Понимание причин, приводящих к ограничениям или невозможности оценки МРТ и КТ перфузионных исследований, соблюдение рекомендаций по планированию и оценке исследований позволяет получать корректные данные и избегать получения неинформативных исследований или исследований, интерпретация которых ограничена.

Ключевые слова: перфузия головного мозга, опухоли, МРТ-перфузия, КТ-перфузия, головной мозг, ошибки.

Цитирование: Собственный опыт проведения МРТ T2* и КТ перфузии головного мозга. Как избежать «неудач» / В. А. Суханов, О. Н. Чернова, М. О. Шубный, Р. Э. Штенцель // Уральский медицинский журнал. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 43-48. – Doi: 10.52420/2071-5943-2021-20-2-43-48.

Cite as: Own experience of MRI T2 and CT perfusion of the brain, how to avoid «failures» / V. A. Sukhanov, O. N. Chernova, M. O. Shubnij, R. E. Shtentsel // Ural medical journal. – 2021. – Vol. 20 (2). – P. 43-48. – Doi: 10.52420/2071-5943-2021-20-2-43-48.

Рукопись поступила: 28.04.2021. Принята в печать: 04.05.2021

OWN EXPERIENCE OF MRI T2 AND CT PERFUSION OF THE BRAIN, HOW TO AVOID «FAILURES»

V.A. Sukhanov¹, O.N. Chernova¹, M.O. Shubnij¹, R.E. Shtentsel²

¹ Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, Chelyabinsk, Russian Federation

² Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russian Federation

Introduction. To reduce the number of cerebral perfusion studies, the interpretation of which is not possible or can be performed with errors, we retrospectively analyzed cerebral perfusion studies for three years, analyzed the identified errors at the stage of data collection and the stage of study interpretation. **Aims and objectives:** to analyze and divide into groups the reasons that led to limitations or impossibility to assess perfusion during interpretation of the obtained data, to develop an algorithm of actions to reduce the number of uninterpreted studies. **Materials and Methods.** The study retrospectively evaluated 275 CT and MRI brain perfusion studies performed between 2017 and 2019 on 1.5 T MR and 32-slice CT scans. **Results.** The result of this study was a better understanding of the causes of the most common errors in perfusion studies. Analysis of the causes allowed us to identify factors that affect the performance of the study and the interpretation of the data obtained. **Discussion.** In order to perform a quality perfusion study, given the many factors affecting the interpretation of the data obtained, a number of conditions on the planning and execution of the study, as well as on the evaluation of the data obtained, must be followed. **Conclusions.** Understanding the reasons that lead to limitations or inability to evaluate MRI and CT perfusion studies, adhering to guidelines for planning and evaluating studies allows for correct data and avoids obtaining uninformative studies or studies whose interpretation is limited.

Keywords: brain perfusion, MR-perfusion, brain, tumor, CT-perfusion, pitfalls.

ВВЕДЕНИЕ

Современные методики, компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяют выполнять исследования головного мозга и получать большой спектр данных не только о структурах головного мозга, которые мы получаем при выполнении рутинного сканирования, но и об особенностях диффузии клеточных структур при выполнении МР-диффузии, особенностях кровоснабжения при выполнении МРТ и КТ-ангиографии и/или перфузии, содержании и концентрации ряда метаболитов в ткани при применении МР-спектроскопии. Использование дополнительных последовательностей на МРТ, применение различных методик контрастирования на МРТ и КТ значительно улучшают возможности методов в дифференциальном диагнозе между различными патологическими процессами в головном мозге, где рутинных последовательностей недостаточно ввиду схожей семиотики разных патологических процессов, требующих в ряде случаев значительно отличающихся тактик ведения пациентов.

По данным литературы, при оценке опухолей головного мозга диагностическая ценность МРТ или КТ-исследований с выполнением перфузии головного мозга превосходит диагностическую точность рутинных исследований с контрастным усилением за счет значительного повышения специфичности методов без существенного изменения чувствительности [1, 2, 3]. Выполнение МРТ, КТ-исследования с перфузией позволяет оценить не только структурные изменения головного мозга, но и измерить параметры кровотока, а также сосудистой проницаемости в тканях головного мозга, что расширяет диагностические и прогностические возможности методов.

Цель и задачи исследования — проанализировать и разделить на группы причины, которые приводили к ограничениям или невозможности

оценки перфузии при интерпретации полученных данных, разработать алгоритм действий для снижения количества неинтерпретируемых исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполняли в отделении рентгеновской компьютерной и магнитно-резонансной томографии ГБУЗ «Челябинский областной клинический центр онкологии и ядерной медицины», ретроспективной оценке подвергли 275 КТ и МРТ-исследований с перфузией головного мозга, выполненных на протяжении трех лет с 2017 по 2019 гг.

МРТ-исследования головного мозга с перфузией выполняли на томографе HDe Signa производства GE с напряженностью поля 1.5 T, с фазированной 8-канальной головной катушкой. На первом этапе проводили рутинное сканирование с набором стандартных последовательностей, в том числе выполнением T1 3D SPGR с толщиной среза 1,2 мм, на втором — T2* перфузию с болюсным контрастным усилением, протяженность области сканирования составляла 66 мм. Завершали сбор данных получением постконтрастной серии T1 3D SPGR с толщиной среза 1,2 мм. Оценка перфузии базировалась на методе динамической восприимчивости, основанном на T2* взвешенных изображениях, с последующей деконволюцией кривой первого прохождения болюса.

Перфузионные КТ-исследования головного мозга мы выполняли на томографе Toshiba Aquilion LB. Сначала проводили нативное сканирование головного мозга, далее выполняли перфузию с динамическим контрастированием по специальному предустановленному протоколу динамического сканирования, протяженность области сканирования при этом составляла 32 мм. Оценка данных перфузии осуществлялась в специальной программе обработки данных. После выполнения

перфузии проводили повторное сканирование головного мозга для получения срезов с контрастным усилением. КТ-перфузия проводилась пациентам, имеющим абсолютные противопоказания к МРТ, аллергические реакции на парамагнитный контрастный препарат, а также всем пациентам, у которых оценка выполненной МРТ-перфузии вызвала трудности ввиду наличия артефактов или недостаточного пространственного разрешения.

Введение контрастного вещества (КВ) при обеих модальностях осуществлялось автоматическим двухколбовым инжектором: при МРТ внутривенно болюсно вводили 1.0 молярный парамагнитный контрастный препарат в дозе 0.1 мл/кг, при КТ — неионный йодосодержащий рентгеноконтрастный препарат с концентрацией 300 мг/мл в дозе 50 мл. Скорость введения контрастного вещества всегда составляла 4,5 мл/с и не зависела от используемой модальности. Во всех случаях завершали контрастирование инъекцией 30 мл физиологического раствора с той же скоростью введения. С целью исключения яремного заброса для венозного доступа использовали периферические вены правой руки Jackson A. [4], Mehndiratta A. [5].

Применение автоматического инжектора позволяло достичь максимальной воспроизводимости параметров введения КВ, высокой и постоянной скорости введения, одинакового объема введения контрастного вещества, вводить КВ непосредственно во время динамического сканирования для получения до- и постконтрастных изображений в одной серии для возможности дальнейшей обработки перфузионного исследования [6, 7].

Оценку перфузионных показателей мы выполняли на рабочих станциях с использованием специализированного программного обеспечения, важным этапом обработки данных было построение карт перфузии. Ввиду большого количества факторов, влияющих на абсолютные значения показателей перфузии в ткани (различия в алгоритмах получения и обработки данных у разных производителей, в самих предустановленных программах для обработки полученных данных), их воспроизводимость даже при выполнении исследований у одного пациента в разные периоды наблюдения могли значительно отличаться [8]. По этой причине применение абсолютных показателей перфузии ограничено. Для оценки показателей перфузии мы использовали отношение значений перфузии в структуре измененной паренхимы головного мозга к показателям в участке неизменного белого вещества. Отношение значений CBV и CBF в области интереса к аналогичным показателям в неизменном белом веществе может оцениваться в динамике у одного пациента, а также между пациентами для выявления закономерностей в перфузионных показателях различных патологий, что, согласно данным литературы, допустимо [8, 9]. При выполнении измерений мы выбирали области интереса (или ROI — region of interest) тканой структуры, имеющие признаки структурных изменений. При выполнении перфузионных исследований возможно оценивать целый ряд показателей гемодинамики и проницаемости сосудистой стенки.

Мы в своих исследованиях определяли относительные значения параметров:

– rCBV (relative cerebral blood volume) — относительный объем крови в данной области ткани

головного мозга (мл/100 г ткани головного мозга); по данным литературы, этот параметр коррелирует временем до рецидива глиальной опухоли и течением заболевания [9, 10], а также позволяет с высокой точностью дифференцировать продолженный рост или рецидив заболевания и псевдопрогрессию или лучевой некроз [11, 12, 13]

– rCBF (relative cerebral blood flow) — относительный объем крови, проходящей через заданную область ткани головного мозга за единицу времени (мл в мин./100 г ткани головного мозга);

– МТТ — среднее время прохождения крови через заданную область ткани головного мозга (измеряется в секундах);

– ТТР — время до достижения максимальной концентрации контрастного препарата в участке ткани.

Анализируя перфузионные исследования ретроспективно, мы отметили, что на этапе освоения методики выбор референсной области проводился нами методом «отзеркаливания» ROI относительно осевой линии, проведенной через серп большого мозга или его проекцию. Такой выбор референсного ROI значительно влиял на полученные данные. В последствии выбор референсной области осуществлялся с соблюдением ряда требований, пренебрежение которыми могло в значительной степени повлиять на полученные результаты как в сторону ложноположительных результатов, так и в сторону получения ложноотрицательных результатов, согласно данным Т.Н. Трофимовой, Essig M. et al [14, 15].

Требования, предъявляемые к референсному ROI:

– в область референсного ROI должно входить неизменное белое вещество головного мозга; в исследованиях, выполненных нами, выбор области для измерений референсных значений выполнялся с использованием последовательностей T2 и T2 FLAIR, исключались все, T2 и T2 FLAIR позитивные зоны, а также области с наличием «масс-эффекта» вследствие объемного воздействия;

– из референсного ROI и области интереса мы исключали крупные сосудистые структуры, для визуализации которых использовали T1 с контрастным усилением;

– выбранные нами референсные ROI находились в любой области, где есть неизменное белое вещество, но предпочтение отдавалось области лучистого венца; при этом допускалось несимметричное расположение ROI референсной области относительно ROI в патологическом очаге, а также расположение ROI на разных уровнях исследования.

При сравнительной оценке разных методик выбора референсного ROI выявлено, что зеркальное расположение ROI влечет расширение диапазона полученных перфузионных значений относительно стандартизованного подхода с применением в качестве референсной области неизменного белого вещества. Зеркальное расположение референсной зоны интереса влечет за собой расширение диапазона полученных значений и тенденцию к завышению значений относительно стандартизованного подхода с использованием в качестве референсной области неизменного белого вещества, где разброс значений значительно менее выражен (рис. 1).

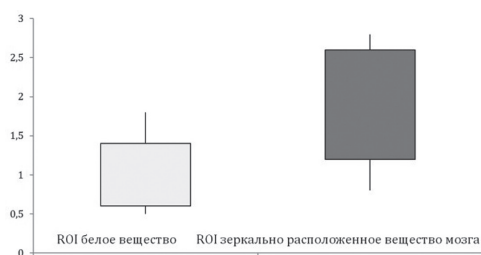


Рис. 1. Распределение значений CBV референсных ROI

Все трудности при выполнении и оценке исследования мы разделили на 3 группы в соответствии с этапами проведения исследования: ограничения при сборе данных, ошибки при контрастировании, сложности при интерпретации полученных данных. В результате проведенного анализа было выделено 25 исследований (9% от общего количества перфузионных исследований), оценка которых была ограничена или невозможна. Такие исследования условно мы назвали «неудачами».

Первую группу составили исследования с ограничениями на этапе сбора данных, связанными с наличием артефактов в зоне интереса (11 исследований, что составило 44% от всех неудавшихся исследований и 4% от общего количества перфузионных исследований); это были артефакты от металла или костей основания черепа, что значительно ограничивало возможности применения МРТ T2*-перфузии, так как данный вид перфузии основан на регистрации изменения T2 релаксации при введении парамагнитного контрастного препарата, а наличие пара- или ферромагнетика в области интереса делало невозможным достоверный сбор данных, учитывая высокую чувствительность последовательностей для выполнения МРТ T2*-перфузии к неоднородности магнитного поля, значительно более выраженную, чем последовательностей, применяемых для структурного МРТ. Стоит отметить, что все исследования с артефактами были представлены МР-перфузией. Артефактов, мешавших интерпретации полученных данных при выполнении КТ-перфузии, выявлено не было. Мы это объясняем более низкой чувствительностью КТ перфузии к наличию мелких металлических включений в зоне интереса и наличием современного программного пакета подавления артефактов от металла (рис. 2).

Вторая группа включала случаи со сложностями в обработке полученных данных, которые нами наблюдались в 10 исследованиях, что составило 40% от всех исследований с неудовлетворительным качеством для оценки и 3,6% от общего количества перфузионных исследований. Сложности определялись при близком расположении области интереса к крупным сосудам и/или при слишком малых размерах области интереса (рис. 3).

В третью группу неудавшихся перфузий отнесли случаи с ошибками при контрастировании, которые были выявлены в четырех исследованиях (16% от всех неудавшихся исследований и 1,5% — от общего количества перфузий). В трех случаях определялась экстравазация контрастного препарата. В единственном случае была нарушена методика контрастирования: при построении графика зависимости концентрации от времени мы выявили несвоевременное введение контрастного препарата во время динамического сканирования, что привело к невозможности оценки полученных карт (рис. 4).

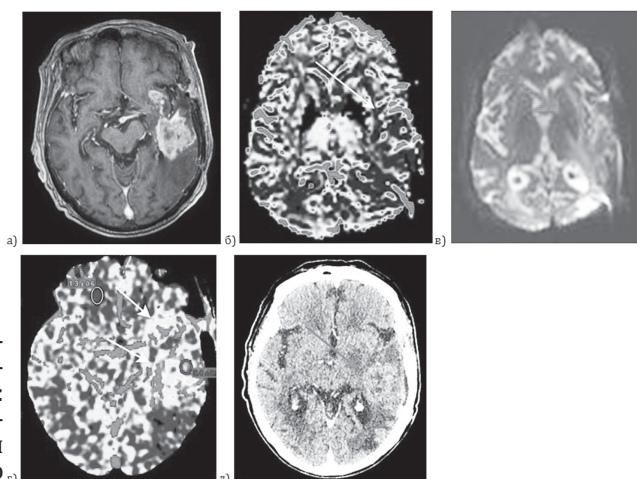


Рис. 2. МРТ-изображения пациента Л. с рецидивом глиобластомы в левой височной области на уровне проведенного оперативного и лучевого лечения; на томограммах, взвешенных по T1 с КУ, определяется неоднородное интенсивное накопление контрастного вещества в структуре объемного образования (а), при выполнении T2*-перфузии на полученных картах CBV-данных за повышение показателей кровотока в области накопления контрастного вещества не получено (б). При детальной оценке исследования на томограммах, полученных при выполнении T2*-перфузии, определяются выраженные артефакты от металлических включений в области интереса, что значительно повлияло на качество перфузионных карт, в частности, CBV (в). При выполнении КТ перфузии у данной пациентки, через 2 дня после МРТ перфузии, на картах CBV определяется повышение объема кровотока в 6 раз относительно неизменного белого вещества (г) на уровне участков патологического накопления контрастного вещества (д)

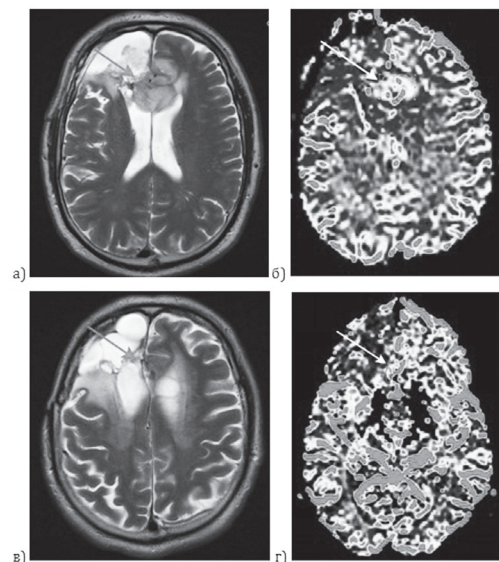


Рис. 3. МРТ-изображения пациента К. После оперативного лечения определяется остаточная опухоль на томограммах T2 ВИ (а) с повышением значений гCBV в структуре образования в 2,6 раза относительно неизменного белого вещества (б). После лучевого лечения и последующей химиотерапии в динамике определяется уменьшение размеров остаточной опухоли на T2 ВИ (в), оценка параметров кровотока в участках, расцениваемых как остаточная опухоль на T2 ВИ, была невозможна ввиду недостаточной разрешающей способности метода T2*-перфузия при оценке образований небольшого размера (г)

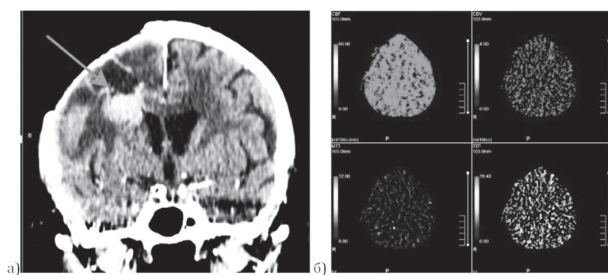


Рис. 4. МРТ-изображения пациента К. после оперативного и лучевого лечения глиобластомы лобно-теменной области справа. На томограммах с КУ определяется остаточная опухоль (а).

Несвоевременное введение контрастного вещества привело к невозможности оценки перфузии в структуре головного мозга и определяемом образовании (б)

РЕЗУЛЬТАТЫ

В процессе анализа ошибок при перфузионных исследованиях были установлены причины их возникновения и выделены ключевые моменты для их понимания.

Наиболее часто — в 44% от всех неудавшихся исследований — встречались артефакты при сборе данных на МР-перфузии. Выраженные артефакты определялись от металлических включений разного происхождения (мелкие фрагменты инструмента, оставшиеся в структуре костной ткани после выполнения костнопластической трепанации черепа, специальные элементы для иммобилизации фрагмента кости в области оперативного доступа, различные элементы для пластики костных дефектов). У пациентов, не получавших хирургическое лечение, также встречались выраженные артефакты в области передней и средней черепных ямок от костей основания черепа, несъемных зубных протезов, коронок, имплантов, несъемных ювелирных украшений и др. При ретроспективном анализе мы обнаружили, что во всех случаях, где выявлялись артефакты, мы могли бы своевременно принять решение не проводить МР-перфузию ввиду невозможной дальнейшей оценки полученных данных и рассмотреть возможность проведения КТ-перфузии. На томограммах в данной группе пациентов в области интереса определялись артефакты уже при выполнении структурного МРТ, а именно на МР-последовательности, максимально близкой к T2*-перфузии по чувствительности к артефактам, а именно ДВИ с $b=0$, это связано с тем, что обе последовательности основаны на T2 взвешенном градиентном эхе. Наиболее важно определить, попадает ли зона интереса в область искаженного сигнала. В дальнейшем при выявлении выраженных артефактов в зоне интереса на томограммах ДВИ с $b=0$ нами принималось решение о выполнении КТ-перфузии. Впоследствии данных пациентов наблюдали в динамике с выполнением структурного МРТ-исследования головного мозга без контрастного усиления с последующей КТ перфузией.

Следующей по частоте причиной «неудач» была неверно выбранная тактика выполнения исследования, что составило 40% от всех неудавшихся исследований. Все случаи были представлены попыткой оценить образования, расположенные близко к сосудам и/или слишком малых размеров. Так, для участков накопления контрастного вещества, минимальный размер которого менее 5

мм, достоверная оценка значений перфузии была невозможна ввиду недостаточного пространственного разрешения и искажения значений, полученных при измерении в области интереса, за счет усреднения преимущественно в сторону занижения измеряемых значений и, как следствие, происходило занижение показателей rCBV и rCBF. Ситуация с завышением значений rCBV и rCBF определялась в случаях расположения участка с размером менее 7 мм в непосредственной близости от крупного артериального или венозного сосуда за счет усреднения. КТ-перфузия, имеющая лучшее пространственное разрешение, только в двух из 10 случаев позволила оценить перфузионные показатели в интересующих очагах, в дальнейшем этих пациентов наблюдали в динамике с выполнением структурного МРТ с последующей КТ перфузией.

Реже всего встречались «неудачи», связанные с ошибками контрастирования, и были представлены в большинстве случаев экстравазацией ввиду плохого периферического доступа.

ОБСУЖДЕНИЕ

При выполнении перфузионных исследований выбор периферического доступа ограничен, так как для исключения яремного заброса рекомендовано контрастирование в правую руку [16-20]. Требование к высокой скорости контрастирования диктует использование катетеров с большим проходным сечением (18G или 20G), постановка которых возможна только в вену соответствующего диаметра, что осложняется слабостью венозной стенки у возрастных пациентов вообще, а у пациентов с онкологическими заболеваниями в особенности с учетом многочисленных циклов лекарственной терапии в анамнезе. Построение и оценка перфузионных карт при проблемах с контрастированием не проводилась. Случаев с яремного заброса при выполнении исследований не выявлено.

Учитывая многочисленные факторы, влияющие на интерпретацию получаемых данных, для проведения качественного перфузионного исследования необходимо соблюдать ряд условий:

- ожидаемая диагностическая ценность исследования и отсутствие противопоказаний должны определять методику перфузионного исследования — КТ или T2*МРТ;
- оценка целесообразности выполнения перфузионного исследования должна проводиться сразу же после получения данных структурного МРТ или КТ;
- выбор стороны периферического венозного доступа, скорости введения парамагнетика, соблюдение методики сбора данных должны контролироваться;
- неверный выбор референсного ROI влечет за собой значительные отклонения относительных показателей CBV и CBF как в сторону занижения, так и в сторону завышения, что не позволяет достоверно оценивать показатели перфузии;
- размер оцениваемого очага имеет значение, при оценке мелких очагов возможны значительные отклонения показателей перфузии за счет усреднения;
- низкое пространственное разрешение значительно ограничивает возможности оценки перфузии в непосредственной близости к магистральным сосудам.

ВЫВОДЫ

Информативность перфузионного исследования зависит от многих факторов. Знание и полное понимание причин, приводящих к ограничениям или невозможности оценки МРТ- и КТ-перфузионных исследований, соблюдение рекомендаций по

планированию и оценке исследований позволяют получать корректные данные и избегать неинформативных исследований или исследований, интерпретация которых ограничена.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сопоставление информативности МР-перфузии и ПЭТ с [11C] метионином в дифференциации продолженного роста церебральных опухолей и лучевых поражений головного мозга после комбинированного лечения / Ж. И. Савинцева, Т. Н. Трофимова, Т. Ю. Скворцова, З. Л. Бродская // Медицинская визуализация. – 2014. – № 5. – С. 10-19.
2. Cha, S. Update on brain tumor imaging: from anatomy to physiology // AJNR. – 2006. – Vol. 27. – P. 475-487.
3. Paldino, M. J. Fundamentals of quantitative dynamic contrast-enhanced MR imaging / M. J. Paldino, D. P. Barboriak // Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am. – 2009. – Vol. 17. – P. 277-289.
4. Jackson, A. Analysis of dynamic contrast enhanced MRI // Br J Radiol. – 2004. – Vol. 77 (2). – P. 154-166.
5. A control point interpolation method for the non-parametric quantification of cerebral haemodynamics from dynamic susceptibility contrast MRI / Mehndiratta A., MacIntosh B. J., Crane D. E. [et al.] // Neuroimage. – 2013. – Vol. 64. – P. 560-70.
6. MR perfusion imaging of the brain: techniques and applications / J. R. Petrella, J. M. Provenzale // AJR Am J Roentgenol. – 2000. – Vol. 175 (1). – P. 207-19. – Doi: 10.2214/ajr.175.1.1750207.
7. Patil, V. An improved model for describing the contrast bolus in perfusion MRI / V. Patil, G. Johnson // Med Phys. – 2011. – Vol. 38. – P. 6380-3.
8. Korfiatis, P. The basics of diffusion and perfusion imaging in brain tumors / P. Korfiatis, B. Erickson // Appl Radiol. 2014 – Vol. 43 (7). – P. 22-29.
9. American Society of Functional Neuroradiology MR Perfusion Standards and Practice Subcommittee of the ASFN Clinical Practice Committee. ASFN recommendations for clinical performance of MR dynamic susceptibility contrast perfusion imaging of the brain / K. Welker, J. Boxerman, A. Kalnin [et al.] // AJNR Am J Neuroradiol. – 2015. – Vol. 36 (6). – P. E41-51.
10. Longitudinal DSC-MRI for distinguishing tumor recurrence from pseudo-progression in patients with a high-grade glioma / J. L. Boxerman, B. M. Ellingson, S. Jeyapalan [et al.] // Am J Clin Oncol. – 2017. – Vol. 40 (3). – P. 228-234. – Doi: 10.1097/COC.000000000000156.
11. Differentiation of Recurrent Glioblastoma Multiforme from Radiation Necrosis after External Beam Radiation Therapy with Dynamic Susceptibility-weighted Contrast-enhanced Perfusion MR Imaging / R. F. Barajas, J. S. Chang, M. R. Segal [et al.] // Radiology. – 2009. – P. 486-496.
12. Pseudoprogression of glioblastoma after chemo- and radiation therapy: diagnosis by using dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced perfusion MR imaging with ferumoxytol versus gadoteridol and correlation with survival / Gahramanov S., Muldoon L. L., Varallyay C. G. [et al.] // Radiology. – 2013. – Vol. 266. – P. 842-52.
13. Support vector machine multiparametric MRI identification of pseudoprogression from tumor recurrence in patients with resected glioblastoma / Hu X., Wong K. K., Young G. S. [et al.] // J Magn Reson Imaging. – 2011. – Vol. 33. – P. 296-305.
14. Трофимова, Т. Н. Нейрорадиология: оценка эффективности хирургии и комбинированной терапии глиом // Практическая онкология. – 2016. – Т. 17, № 1. – С.32-40.
15. Perfusion MRI: the five most frequently asked technical questions / Essig M., Shiroishi M. S., Nguyen T. B. [et al.] // AJR Am J Roentgenol. – 2013. – P. 24-34.
16. Perfusion magnetic resonance imaging: a comprehensive update on principles and techniques / G-H. Jahng, K-L. Li, I. Ostergaard, F. Calamante // Korean J Radiol. – 2014. – P. 554-577.
17. Is Weissko model valid for the correction of contrast agent extravasation with combined T1 and T2* effects in dynamic susceptibility contrast MRI? / Liu H. L., Wu Y. Y., Yang W. S. [et al.] // Med Phys. – 2011. – Vol. 38. – P. 802-9.
18. Clinical application of perfusion computed tomography in neurosurgery / A. P. Huang, J. C. Tsai, L. T. Kuo [et al.] // J. Neurosurg. – 2014. – Vol. 120 (2). – P.473-488.
19. Petrella, J. R. MR perfusion imaging of the brain: techniques and applications / J. R. Petrella, J. M. Provenzale // AJR Am J Roentgenol. – 2000. – Vol. 175. – P. 207-19.
20. Quantitative Perfusion and Permeability Biomarkers in Brain Cancer from Tomographic CT and MR Images / Eilaghi A., Yeung T., d'Esterre C. [et al.] // Biomark Cancer. – 2016. – 8 (2). – P. 47-59. – Doi:10.4137/BIC.S31801.

Сведения об авторах

Суханов Василий Алексеевич
ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», г. Челябинск, Россия.
ORCID: 0000-0003-4482-0564
Email: sukhonova@chelonco.ru

Чернова Оксана Николаевна, к.м.н.
ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», г. Челябинск, Россия.
ORCID: 0000-0002-5131-3141
Email: cherokh-chel@mail.ru

Шубный Михаил Олегович
ГБУЗ «ЧОКЦО и ЯМ», г. Челябинск, Россия.
ORCID: 0000-0001-5138-4719
Email: shum917@yandex.ru

Штенцель Регина Эдуардовна
ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия.
ORCID: 0000-0001-9435-0033
E-mail: ReginaShtentsel@yandex.ru

Information about the authors

Vasilii A. Sukhanov
Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0003-4482-0564
Email: sukhonova@chelonco.ru

Oksana N. Chernova, PhD
Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0002-5131-3141
Email: cherokh-chel@mail.ru

Mikhail O. Shubny
Chelyabinsk Regional Clinical Center of Oncology and Nuclear Medicine, Chelyabinsk, Russia
ORCID: 0000-0001-5138-4719
Email: shum917@yandex.ru

Regina E. Shtentsel
Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0001-9435-0033
E-mail: ReginaShtentsel@yandex.ru