

ISSN 2782-3806
ISSN 2782-3814 (Online)
УДК 612.82:616-082:616.831-05.1

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕЙРОВИЗУАЛИЗАЦИИ В ДИАГНОСТИКЕ ОСТРОГО ИШЕМИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА

Трушина Л. И., Шериев С. Р., Филин Я. А., Труфанов Г. Е.,
Ефимцев А. Ю.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Контактная информация:

Шериев Султан Русланович,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава
России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург, Россия,
197341.
E-mail: sapiensowl@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20.02.2024
и принята к печати 18.03.2024.

РЕЗЮМЕ

Ишемический инсульт является одной из ведущих причин заболеваемости и смертности во всем мире, чем вызывает важные социальные и экономические последствия для системы здравоохранения. Помимо этого, ишемический инсульт оказывает разрушительное психоэмоциональное воздействие как на самого пациента, так и на его семью, вызывая тревожно-депрессивные расстройства.

Для того чтобы снизить тяжесть неврологического дефицита, увеличить процент пациентов, вернувшихся к прежнему уровню социальной и бытовой активности, и уменьшить показатели инвалидизации после цереброваскулярной катастрофы, необходимо в кратчайшие сроки оказать весь спектр лечебно-диагностической помощи.

Развивающиеся методики нейровизуализации помогают своевременно и точно диагностировать церебральный инсульт, дифференцировать ишемическое повреждение от геморрагического, а также установить время начала острого нарушения мозгового кровообращения.

Ключевые слова: ишемический инсульт, лучевая диагностика, нейровизуализация.

Для цитирования: Трушина Л.И., Шериев С.Р., Филин Я.А. и др. Современные методы нейровизуализации в диагностике острого ишемического инсульта. *Российский журнал персонализированной медицины.* 2024;4(2):129-138. DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-2-129-138. EDN: POEBVE

MODERN METHODS OF NEUROIMAGING IN THE DIAGNOSIS OF ACUTE ISCHEMIC STROKE

Trushina L. I., Sheriev S. R., Filin Ya. A., Trufanov G. E., Efimtsev A. Yu.

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Corresponding author:

Sheriev Sultan R.,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.
E-mail: sapiensowl@gmail.com

Received 20 February 2024; accepted
18 March 2024.

ABSTRACT

Ischemic stroke is one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide, resulting in significant social and economic consequences for the healthcare system. Moreover, ischemic stroke has a devastating psycho-emotional impact on both the patient and their family, causing anxiety and depressive disorders. To reduce the severity of neurological deficit, increase the percentage of patients returning to their previous level of social and daily activity, and decrease the rates of disability after a cerebrovascular catastrophe, it is necessary to provide the full spectrum of therapeutic and diagnostic assistance in the shortest possible time. Developing neuroimaging techniques help to timely and accurately diagnose cerebral stroke, differentiate ischemic damage from hemorrhagic, and also establish the time of onset of acute cerebrovascular accident.

Key words: ischemic stroke, neuroimaging, radiological diagnosis.

For citation: Trushina LI, Sheriev SR, Filin YaA, et al. Modern methods of neuroimaging in the diagnosis of acute ischemic stroke. Russian Journal for Personalized Medicine. 2024;4(2):129-138. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-2-129-138. EDN: POEBVE

АКТУАЛЬНОСТЬ

Ишемический инсульт является ведущей причиной стойкой инвалидизации и смертности во всем мире, на его долю приходится более 80 % всех случаев нарушений мозгового кровообращения [1, 2].

Показатели смертности в Российской Федерации от сердечно-сосудистых заболеваний остаются одними из самых высоких в мире и тяжелым бременем ложатся на систему здравоохранения. Из всех пациентов, перенесших инсульт, к трудовой деятельности в нашей стране возвращаются лишь 10 %, на постоянной основе медико-социальной поддержки требуют 85 %, а 25 % остаются до конца жизни инвалидами [3].

При инвалидизации после острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) ухудшается качество жизни всей семьи заболевшего, что обусловлено необходимостью психологически и физически тяжелого ухода за больным с мозговым инсультом [4].

На данный момент методы нейровизуализации в диагностике ишемического инсульта продолжают развиваться и совершенствоваться для достижения своевременной и точной диагностики ОНМК, что в свою очередь необходимо для выбора тактики лечения и лучшего прогноза исхода заболевания.

Целью данной статьи является систематизация имеющегося мирового опыта применения методов нейровизуализации в диагностике ишемического инсульта.

К лучевым методам диагностики цереброваскулярных заболеваний относятся следующие методы:

- ультразвуковая диагностика (УЗД);
- компьютерная томография (КТ);
- магнитно-резонансная томография (МРТ);
- позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ);
- однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ).

Каждый метод имеет свои особенности, характеристики, визуализационные показания и ограничения. На данный момент для диагностики острого ишемического инсульта применяются в основном КТ и МРТ в силу своих высоких разрешающих способностей и возможности визуализировать структурные изменения головного мозга.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА

Ультразвуковая диагностика широко не используется для выявления инсультов, так как значительно уступает КТ и МРТ. Однако, по мнению Jahromi A. S. и соавторов (2005), специальная методика цветного дуплексного сканирования, оценивающая

степень стеноза внутренней сонной артерии, могла бы стать скрининговым методом для оценки цереброваскулярного риска за счет своей неинвазивности и безопасности [5].

РЕНТГЕНОВСКАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Методом выбора для диагностики ОНМК в настоящее время является КТ за счет возможности применения в экстренной визуализации, а также высокой чувствительности в дифференциальной диагностике геморрагических инсультов, а также других патологических состояний схожих по клинике и отсутствия противопоказаний в острый период инсульта.

Практическое применение КТ регламентируется Порядком оказания медицинской помощи больным с ОНМК, утвержденным приказом Минздрава России от 25.12.2012 № 928н, согласно которому всем пациентам, поступающим с подозрением на ОНМК, необходимо выполнение КТ головного мозга с формированием заключения в течение 40 минут от поступления [6].

Для исключения или подтверждения патологии сосудистого русла у лиц с подозрением на ишемический инсульт рекомендовано проведение КТ-ангиографии (КТА) сосудов головы и шеи [7].

КТ-ангиография продемонстрировала высокие чувствительность (88,4 %), специфичность (98,5 %) в определении окклюзии крупных сосудов, что может ускорить сортировку пациентов для проведения внутриартериальной тромболитической терапии [8].

Проведение КТ-ангиографии при оценке острого инсульта необходимо, по мнению Yadav J. S. с соавторами (2004) и Lee P. с коллегами (2024), так как у пациентов с каротидным стенозом высокой степени тяжести могут быть эффективны каротидная эндартерэктомия или стентирование для предотвращения развития сосудистой катастрофы [9].

Так как в первые часы инсульта на нативной КТ могут быть не видны признаки ишемических изменений, стала широко использоваться методика КТ-перфузии головного мозга, чувствительность и специфичность которой при выявлении острого ишемического инсульта составляет 82 % и 96 % соответственно [10].

Компьютерная томографическая ангиография и перфузия являются ценными инструментами для диагностики острого ишемического инсульта [11].

Van Cauwenberge M. G. A. и соавторы (2018) объясняют КТ-перфузию как функциональное исследование ткани головного мозга, которое характеризует

церебральную перфузию и предоставляет информацию о текущем состоянии микроциркуляции [12].

Перфузионная КТ при остром инсульте находит свое применение в оценке гемодинамических изменений паренхимы головного мозга, определении объема инфарктного ядра и ишемической полутени [13]. Объем ишемической полутени, или пенумбры может предсказать неврологический исход пациента в зависимости от статуса реканализации [14].

Несмотря на все преимущества, методика КТ-перфузии имеет свои недостатки, к которым относят сложность диагностики инсультов в заднем бассейне кровоснабжения, а также лакунарных инсультов с 50 % ложноотрицательных случаев и небольших кортикальных и подкорковых инсультов, размер которых не превышает 3 см² [11, 15].

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Мультимодальная магнитно-резонансная томография (МРТ) полезна для диагностики ишемического инсульта и определения стратегии лечения в острой фазе [16].

Amalia Amin A. (2023) показал значимость проведения МРТ после перенесенного инсульта в контексте клинического и научного понимания изменений, происходящих в головном мозге после такого серьезного заболевания, для построения лечебных и реабилитационных мероприятий [17].

Методика диффузионно-взвешенной МРТ головного мозга является золотым стандартом и представляет доказательства уровня I для выявления ядра инфаркта [18]. Эта методика обладает самой высокой чувствительностью (91–95 %) и специфичностью (86–95 %) при выявлении ранней ишемии, уже в течение нескольких минут после артериальной окклюзии [19].

Несмотря на то, что МРТ считается золотым стандартом в выявлении острого ишемического инсульта, науке известны ложноотрицательные нейровизуализационные случаи его диагностики у единичных пациентов. Так, Chandrashekar D. и коллеги (2022) представили клинический случай 55-летнего мужчины, у которого, несмотря на яркие клинические симптомы острого инсульта, при КТ и МРТ не было выявлено каких-либо отклонений. Вопреки данным МРТ, была применена терапия для лечения инсульта. Только на 3 день после поступления при повторной МРТ данный диагноз был подтвержден [20].

Еще один случай ложноотрицательной диагностики был выявлен Rathakrishnan R. и соавторами (2008), при котором у 49-летнего пациента, данные

диффузионно-взвешенной МРТ, выполненной через 12 часов после появления симптомов инсульта, были отрицательными. При повторном МРТ через 4 дня, при сохранении стойкой неврологической симптоматики инсульт был подтвержден [21].

Эти данные говорят о том, что даже диффузионно-взвешенная МРТ не обладает 100%-ной чувствительностью, и напоминают о том, что клиническая оценка по-прежнему является приоритетной в диагностике и выборе тактики лечения пациентов с острым ишемическим инсультом.

Диффузионная (ДВИ, DWI) и перфузионно-взвешенная МРТ с МР-ангиографией позволяют точно диагностировать инфарктное поражение, выявлять окклюзию церебральных артерий или значительный стеноз с оценкой фактического коллатерального кровотока, а также может выявлять определенные обратимые ишемические изменения [22].

Основываясь как на ДВИ, так и на перфузии, можно определить зону ишемической полутени, представляющую собой обратимо пораженную паренхиму, которая потенциально может быть восстановлена при адекватном и своевременном лечении во время терапевтического окна [23].

Перфузионная МРТ позволяет различать ткани мозга, которые необратимо поражены инфарктом, так называемое ядро инфаркта, и ткани мозга, которые потенциально можно спасти, что позволяет лучше отбирать пациентов для тромболитической терапии [24].

Методика перфузионной МРТ с динамическим контрастированием (DSC) является основной в диагностике ишемического инсульта, которая основывается на получении временных рядов изображений с быстрым T2-взвешиванием после введения гадолиний-содержащего контрастного препарата [25]. Наличие противопоказаний для введения контрастного вещества обусловило появление методики бесконтрастной перфузионной МРТ.

Бесконтрастная МР-перфузия на основе спиновой маркировки артерий, основанная на радиочастотной маркировке спинов артериальной крови (ASL) с последующей регистрацией их прохождения в веществе мозга, может обнаруживать гиперперфузированные участки на основе качественных и количественных измерений, а также идентифицировать зону риска, известную как полутень, путем обнаружения несоответствия диффузии и перфузии [26].

В исследовании Gopinath G. и коллег (2022) изучалась диагностическая точность МРТ с ASL-перфузией по сравнению с DSC-перфузией в выявлении несоответствия перфузии у 55 пациентов с клиническим подозрением на инсульт. Чувствительность и специфичность ASL в прогнозировании

нии несоответствия DSC были 71,43 % и 78,57 % соответственно [27].

В работе Ravula S. и соавторов (2023) было предложено включать методику ASL-перфузии в качестве части стандартного протокола нейровизуализации, что помогает в лечении острого инсульта, давая представление о прогнозировании исхода [28].

Еще одной широко используемой неинвазивной методикой оценки интра- и экстракраниальных сосудов является бесконтрастная МР-ангиография (МРА) для изображения сосудистого потока путем многократного воздействия радиочастотного импульса на объем ткани с последующим дефазированием градиентов [29].

Методика МРТ с подавлением сигнала от свободной жидкости (FLAIR) является идентификатором времени, прошедшего с начала инсульта [30]. В течение первых 6 часов после начала инсульта гиперинтенсивность в FLAIR увеличивается с каждым часом [31]. Гиперинтенсивность сосудов при T2-ВИ и FLAIR-визуализации у пациентов с острым ишемическим инсультом была связана с потерей артериального сигнального потока в закупоренных сосудах и с медленным кровотоком в коллатеральных артериях [32]. Помимо этого, изображения с T2-ВИ и FLAIR используются для оценки перенесенных ранее инфарктов головного мозга и степени сопутствующего заболевания мелких сосудов [33].

Оценка изображений DWI и FLAIR дает представление о продолжительности ишемии. Для определения давности возникновения ишемического инсульта применяется понятие «несоответствие DWI-FLAIR», которое характеризуется аномальным результатом на DWI и нормальным результатом на FLAIR, то есть оно представляет собой ишемическое поражение в фазе внутриклеточного отека (видимое ограничение диффузии при DWI) при неизменном количестве общей мозговой жидкости (нормальный сигнал при FLAIR). Выявленное несоответствие DWI-FLAIR может быть использовано в качестве предиктора инсульта продолжительностью менее 4,5 часа [34].

Методика МРТ, взвешенная по неоднородности магнитного поля (Susceptibility weighted imaging — SWI), основана на различной тканевой контрастности и является очень чувствительной к присутствию парамагнитных материалов [35]. Эта методика с высокой чувствительностью и специфичностью (83 % и 100 % соответственно) обнаруживает внутриартериальные тромбы, которые визуализируются в виде гипоинтенсивного сигнала в сосуде, и может дополнять нативную МРА, при которой плохо визуализируются дистальные ветви интракраниальных артерий [36].

Однако в настоящее время методика SWI доступна не на всех МР-томографах основных производителей, что ограничивает ее широкое клиническое применение.

По-прежнему традиционная технология МРТ и трехмерная времяпролетная МР-ангиография (3D TOF MRA) широко используются при скрининге цереброваскулярных заболеваний за счет таких преимуществ, как неинвазивность, отсутствие лучевой нагрузки и отсутствие необходимости введения контрастного вещества.

Однако традиционные последовательности МРТ, включающие T1, T2, T2-восстановление инверсии с ослаблением жидкости (FLAIR), TOF MRA и диффузионно-взвешенная томография (DWI) занимают более 10 минут. Кроме того, МР-ангиография может переоценить степень сосудистого стеноза из-за гемодинамических изменений в стенозированных сосудах.

Для решения вопроса о сокращении временных затрат в диагностике острого инсульта была разработана схема синтетического МРТ-скрининга сосудов (MAGiC), благодаря которой можно точно оценить степень стеноза мозговых артерий у пациентов с острым ишемическим инсультом, что имеет большое значение для ранней тромболитической интервенционной терапии и улучшения качества жизни пациентов [37].

Синтетическая МРТ MAGiC — это недавно появившаяся синтетическая технология, количественная методика МРТ, которая в рамках одного сканирования, путем определения скорости расслабления T1 и T2 и значения плотности тканей, может одновременно генерировать обычные изображения T1, T2, T2-FLAIR и другие контрастные изображения, количественные изображения T1-картирования и изображения T2-картирования, а также изображения сосудов головного мозга MAGiC phase-sensitive inversion recovery (PSIR) посредством постобработки, что значительно сокращает время сканирования [38].

Применение вышеописанных методик КТ и МРТ позволяет оценивать структурные изменения головного мозга при ишемическом инсульте, помогает оценить локализацию и объем поражения. Применение же функциональной МРТ представляет новые возможности для изучения функциональных изменений головного мозга при ишемическом инсульте.

Функциональная МРТ (фМРТ) основана на определении усиления локального мозгового кровотока и оценивает активацию нейронов головного мозга [39]. В настоящий момент фМРТ не получила широкого клинического применения, однако успешно используется в ведущих неврологических и нейрохирургических клиниках, а также при проведении

научных исследований, нацеленных на создание коннектома головного мозга. Оценка эффективности реабилитации после инсульта является одним из перспективных практических направлений использования фМРТ.

Описаны возможности функциональной МРТ, как в состоянии покоя, так и с использованием стимулов, для определения восстановления функциональных связей, отвечающих за двигательную активность у пациентов, перенесших инсульт. Ученые пришли к выводам, что по мере восстановления двигательной активности результаты фМРТ демонстрируют более сфокусированную активность в областях утраченных связей, тем самым активируя их [40].

Tavazzi E. и соавторы (2021) провели систематический обзор мировой литературы о применении функциональной и структурной МРТ у пациентов, перенесших инсульт и проходящих двигательную реабилитацию, для того чтобы оценить влияние реабилитационных мероприятий на реорганизацию мозга. В результате было выявлено, что функциональные изменения в различных областях мозга происходят постоянно как адаптивные механизмы к различным стимулам или ситуациям окружающей среды. Резкое возникновение дисбаланса между потребностями в энергии и кровоснабжении, вызванное инсультом, приводит к функциональной перестройке с целью компенсации поврежденных тканей и затрагивает различные области мозга в обоих полушариях [41].

Технологическое усовершенствование процессов постобработки МРТ привело к новому подходу в расчете фракции извлечения кислорода (OEF) [42]. С помощью количественного картирования чувствительности (QSM) можно провести прямую оценку OEF путем измерения венозных концентраций парамагнитного дезоксигенированного гемоглобина [43].

Uchida Y. и коллеги (2022) разработали метод создания карты OEF на основе методики МРТ PRESTO (The principles of echo-shifting with a train of observations — принципы смещения эха с помощью последовательности наблюдений), которая помогает идентифицировать ткани полутени при остром ишемическом инсульте [44]. Последовательность PRESTO представляет собой уникальную последовательность градиентного эхо-сигнала, которая обеспечивает получение сигнала с длинным TE и коротким TR, пропуская сбор данных во время первого TR, который обеспечивает быстрое и чувствительное определение магнитной восприимчивости в тканях головного мозга, включая венозные структуры [45].

Привлекательной особенностью подхода PRESTO-QSM является его неинвазивный характер и возможность количественной оценки величины

OEF при остром инсульте с использованием системы МРТ 3.0 Тесла [44].

ПОЗИТРОННО-ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) позволяет количественно оценить региональный мозговой кровоток, региональную скорость метаболизма кислорода и региональную долю извлечения кислорода, которые могут быть использованы для выявления областей с критическим снижением этих физиологических показателей в качестве индикаторов полутени и необратимого повреждения в пределах ишемизированных тканей у пациентов с ишемическим инсультом [46].

В качестве радиоизотопов для получения томографических изображений и количественного расчета показателей мозгового кровотока и метаболизма используют изотопы, способные к диффузии: ^{15}O (период полураспада 2 мин.) в качестве метки кислорода, а также оксидов углерода (CO и CO_2). Для оценки потребления глюкозы применяют фтордезоксиглюкозу (период полураспада 110 мин.), меченную изотопом ^{18}F [47].

Согласно данным Heiss W. D. (2017), при ПЭТ область «ишемической полутени» представляет собой область сниженного мозгового кровотока (22–12 мл на 100 г ткани мозга в 1 мин.), нормальных показателей интенсивности поглощения кислорода (выше 65 ммоль на 100 г ткани мозга в 1 мин.) и повышенной доли кислорода, извлеченного из артериальной крови. Интенсивность поглощения кислорода и мозгового кровотока в ядре инфаркта характеризуется сниженными показателями и составляет 65 ммоль на 100 г ткани мозга в 1 мин. и менее и 12 мл на 100 г ткани мозга в 1 мин. и менее соответственно [48].

ПЭТ с ^{15}O сыграла определяющую роль в визуализации ишемической полутени у пациентов с инсультом, тем самым внося свой вклад в развитие реперфузионной терапии [47].

Однако в широкой клинической практике данная методика не используется ввиду высоких доз радиоактивных препаратов, а также сложности проведения в условиях оказания неотложной помощи, что требует применения метода, который позволяет точнее и быстрее идентифицировать ткани полутени [43].

ОДНОФОТОННАЯ ЭМИССИОННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) также может применяться для

исследования мозгового кровотока и визуализации области ишемии в течение первых 48 часов. Однако главным недостатком этой методики является невозможность оценки метаболизма головного мозга и полуколичественный подход к оценке мозгового кровотока [49].

Таким образом, в отечественной и зарубежной литературе широко представлены методы нейровизуализации в диагностике острого ишемического инсульта. Во многих исследованиях звучит мысль о совместном мультимодальном подходе к диагностике ишемического инсульта, включающем КТ и МРТ визуализацию. Мультимодальная КТ включает КТ-ангиографию и КТ-перфузию, мультимодальная МРТ — такие последовательности, как диффузионно-взвешенная визуализация, градиентное эхо, визуализация с взвешиванием по чувствительности, восстановление инверсии с ослаблением жидкости, магнитно-резонансная ангиография и перфузионно-взвешенная МРТ [50].

Handanović M. и соавторы (2021) пришли к выводу, что хотя КТ и является подходящим методом для дифференцировки геморрагического инсульта от ишемического, при наличии МРТ для более точной диагностики инсульта в острой фазе рекомендуется использовать последовательности ДВИ, перфузионную МРТ и МР-ангиографию [51].

В сравнительном исследовании Chalela J. A. и коллег (2007) МРТ показало чувствительность 83 %, а КТ — всего 26 % в диагностике острого ишемического инсульта, в результате чего авторы пришли к выводу, что МРТ должна быть предпочтительным методом для точной диагностики пациентов с подозрением на острый инсульт, так как лучше выявляет острую ишемию, а также лучше дифференцирует острые и хронические кровоизлияния [52].

По данным Tedyanto E. H. и соавторов (2022), МРТ и КТ предоставляют аналогичную информацию, а именно DWI/PWI и перфузионная КТ показали, что ядро инфаркта и ишемическая полутень были эквивалентны [19].

Cabral Frade H. и коллеги (2022) показали, что стратегия диагностической визуализации с использованием только КТ не уступала КТ, дополненной данными МРТ, в отношении клинических исходов при выписке и через 1 год [53].

Следовательно, в различных исследованиях видны противоречащие данные о целесообразности использования КТ и МРТ у пациентов с острым ишемическим инсультом, одни авторы утверждают, что достаточно проведения КТ, другие считают необходимым осуществление МР-визуализации.

Однако не стоит забывать об ограничениях и противопоказаниях к методам нейровизуализации. Так,

в современных реалиях МР-томографы присутствуют не во всех больницах, но даже там, где они есть, не всегда возможно в экстренном порядке провести обследование. Не стоит также забывать об ограничениях методов КТ, ПЭТ, ОФЭКТ, заключающихся в лучевой нагрузке и нефротоксичных свойствах контрастных препаратов, которые могут стать причиной аллергических реакций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешность ведения пациентов с острым ишемическим инсультом связана с правильной организацией системы оказания помощи данной категории больных, четким выполнением диагностических алгоритмов и выбором терапевтической стратегии.

Современное состояние нейровизуализационных возможностей дает выбор в методах исследования церебрального инсульта. Компьютерная и магнитно-резонансная томография широко применяются на практике, их следует рассматривать как эквивалентные инструменты, и любые доступные в учреждении методы должны использоваться для наибольшей пользы у пациентов с острым инсультом для своевременного и полноценного оказания помощи, учитывая тяжесть состояния и возможные ограничения методов.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциально-го конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Gusev EI, Konovalov AN, Skvortsova VI, Gekht AB, redactory. Nevrologiya. Natsional'noye rukovodstvo. Tom 1. Moskva: GEOTAR-Media; 2018. 299 s. In Russian [Неврология. Национальное руководство. / Ред.: Гусев Е.И., Коновалов А.Н., Скворцова В.И., Гехт А.Б. Том 1. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2018. 299 с.].
2. Virani SS, Alonso A, Aparicio HJ, et al. Heart Disease and Stroke Statistics-2021 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2021;143(8):e254-e743. doi:10.1161/CIR.0000000000000950.
3. Shapoval IN, Nikitina SYu. Zdravookhraneniye v Rossii. 2019. Statisticheskiy sbornik. Moskva: Rosstat; 2019. 170 s. In Russian [Шаповал И.Н., Никитина С.Ю. Здравоохранение в России. 2019. Статистический сборник. М.: Росстат, 2019. 170 с.].
4. Trysunova MA, Agafonov KI, Maslova NN, et al. Vzaimosvyaz' emotsional'nogo statusa i kliniko-laboratornykh pokazateley u patsientov sosudistogo

profilya. Arkh vnutr meditsiny. Spets vyp. Sb mat-lov mezhvuz nauch-prakt konf "Psikhosomaticheskaya meditsina v Rossii: dostizheniya i perspektivy-2016". Moskva 2016; s. 48. In Russian [Трясунова М.А., Агафонов К.И., Маслова Н.Н. и др. Взаимосвязь эмоционального статуса и клинико-лабораторных показателей у пациентов сосудистого профиля. Арх. внутр. медицины. Спец. вып. Сб. мат-лов межвуз. науч.-практ. конф. «Психосоматическая медицина в России: достижения и перспективы-2016». М., 2016. С. 48].

5. Jahromi AS, Cinà CS, Liu Y, Clase CM. Sensitivity and specificity of color duplex ultrasound measurement in the estimation of internal carotid artery stenosis: a systematic review and meta-analysis. *J Vasc Surg.* 2005 Jun;41(6):962–72. DOI: 10.1016/j.jvs.2005.02.044. PMID: 15944595.

6. Ministry of Health of the Russian Federation. Order of November 15, 2012 No. 928n "On the approval of the Procedure for providing medical care to patients with acute cerebral circulation disorders". In Russian [Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 15 ноября 2012 г. № 928н «Об утверждении Порядка оказания медицинской помощи больным с острыми нарушениями мозгового кровообращения»].

7. Krotenkova MV. Diagnostika ostrogo insulta: neyrovizualizacionnyye algoritmy. Diss. na soiskaniye uchenoy stepeni d.m.n. Moskva, 2011. In Russian [Кротенкова М.В. Диагностика острого инсульта: нейровизуализационные алгоритмы. Дисс. на соискание ученой степени д.м.н. М., 2011].

8. Fasen BACM, Heijboer RJJ, Hulsman FH, Kwee RM. Diagnostic performance of single-phase CT angiography in detecting large vessel occlusion in ischemic stroke: A systematic review. *Eur J Radiol.* 2021 Jan;134:109458. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109458. Epub 2020 Dec 1. PMID: 33302028.

9. Lee P, Dhillon G, Pourafkari M, et al. Non-ECG-gated cardiac CT angiography in acute stroke is feasible and detects sources of embolism. *Int J Stroke.* 2024 Feb;19(2):189-198. doi: 10.1177/17474930231193335. Epub 2023 Aug 22. PMID: 37515467.

10. Vaclavik D, Volny O, Chimflova P, et al. The importance of computed tomography for the diagnosis and treatment of ischemic stroke in the anterior circulation. *J Integer Neurosci.* 2022 May 12;21(3):92. DOI: 10.31083/j.jin2103092. PMID: 35633173.

11. Lei L, Zhou Y, Guo X, et al. The value of a deep learning image reconstruction algorithm in whole-brain computed tomography perfusion in patients with acute ischemic stroke. *Quant Imaging Med Surg.* 2023 Dec 1;13(12):8173–8189. DOI: 10.21037/qims-23-547. Epub 2023 Oct 31. PMID: 38106310; PMCID: PMC10722072.

12. Van Cauwenberge MGA, Dekeyser S, Nikoubashman O, et al. Can perfusion CT unmask

postictal stroke mimics? *Neurology.* 2018;91:e1918–e1927.

13. Odinak MM, Voznyuk IA, Yanishevskiy SN, et al. Vozmozhnosti mul'timodal'noy neyrovizualizatsii dlya optimizatsii tromboliticheskoy terapii pri ishemicheskom mozgovom insulte. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika.* 2016;(8)1:9–15. In Russian [Одинак М.М., Вознюк И.А., Янишевский С.Н. и др. Возможности мультимодальной нейровизуализации для оптимизации тромболитической терапии при ишемическом мозговом инсульте. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика.* 2016;(8)1:9–15].

14. Zhu G, Michel P, Aghaebrahim A, et al. Prediction of recanalization trumps prediction of tissue fate: the penumbra: a dual-edged sword. *Stroke.* 2013;44:1014–9.

15. Katyal A, Calic Z, Killingsworth M, Bhaskar SMM. Diagnostic and prognostic utility of computed tomography perfusion imaging in posterior circulation acute ischemic stroke: A systematic review and meta-analysis. *European Journal of Neurology.* 2021;28:2657–2668.

16. Čivrný J, Tomáš D, Černá M. MRI of cerebral oedema in ischaemic stroke and its current use in routine clinical practice. *Neuroradiology.* 2024 Mar;66(3):305–315. DOI: 10.1007/s00234-023-03262-2. Epub 2023 Dec 16. PMID: 38102491; PMCID: PMC10859334.

17. Amalia Amin A. POST ISCHEMIC STROKE IMAGING AND ITS CLINICAL RELEVANCE: A SYSTEMATIC REVIEW. *Journal of Advanced Research in Medical and Health Science.* 2023;(ISSN 2208-2425), 9(5):45–50. <https://doi.org/10.53555/nmhs.v9i5.1682>

18. Nagaraja N. Diffusion weighted imaging in acute ischemic stroke: a review of its interpretation pitfalls and advanced diffusion imaging application. *Journal of the Neurological Sciences.* 2021;425:117435.

19. Tedyanto EH, Tini K, Pramana NAK. Magnetic Resonance Imaging in Acute Ischemic Stroke. *Cureus.* 2022 Jul 25;14(7):e27224. DOI: 10.7759/cureus.27224. PMID: 36035056; PMCID: PMC9399663.

20. Chandrashekar D, Sharma D, Desai M, Surya N. A perplexing case report of an imaging negative acute ischemic stroke. *Indian J Case Reports.* 2022;8(4): 115–117.

21. Rathakrishnan R, Sharma VK, Chan BP. Diffusion-negative MRI in acute ischemic stroke: a case report. *Cases J.* 2008;1:65. Available from: <https://doi.org/10.1186/1757-1626-1-65>.

22. Sanak D, Horak D, Herzig R, et al. The role of magnetic resonance imaging for acute ischemic stroke. *Biomed Pap Med Fac Univ Palacky Olomouc Czech Repub.* 2009 Sep;153(3):181–7. DOI: 10.5507/bp.2009.030. PMID: 19851429.

23. Kim HJ, Roh HG. Imaging in Acute Anterior Circulation Ischemic Stroke: Current and Future.

- Neurointervention. 2022 Mar;17(1):2–17. DOI: 10.5469/neuroint.2021.00465. Epub 2022 Feb 4. PMID: 35114749; PMCID: PMC8891584.
24. Demeestere J, Wouters A, Christensen S, et al. Review of Perfusion Imaging in Acute Ischemic Stroke: From Time to Tissue. *Stroke*. 2020 Mar;51(3):1017–1024. DOI: 10.1161/STROKEAHA.119.028337. Epub 2020 Feb 3. PMID: 32008460.
25. Jahng GH, Li KL, Ostergaard L, Calamante F. Perfusion magnetic resonance imaging: a comprehensive update on principles and techniques. *Korean J Radiol*. 2014 Sep-Oct;15(5):554–77. DOI: 10.3348/kjr.2014.15.5.554. Epub 2014 Sep 12. PMID: 25246817; PMCID: PMC4170157.
26. ElBeheiry AA, Hanora MA, Youssef AF, et al. Role of arterial spin labeling magnetic resonance perfusion in acute ischemic stroke. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2023;54:43. Available from: <https://doi.org/10.1186/s43055-023-00980-8>.
27. Gopinath G, Aslam M, Anusha P. Role of Magnetic Resonance Perfusion Imaging in Acute Stroke: Arterial Spin Labeling Versus Dynamic Susceptibility Contrast-Enhanced Perfusion. *Cureus*. 2022 Mar 29;14(3):e23625. DOI: 10.7759/cureus.23625. PMID: 35494896; PMCID: PMC9049761.
28. Ravula S, Patil C, Kumar Ks P, et al. A Study to Evaluate the Role of Three-Dimensional Pseudo-Continuous Arterial Spin Labelling in Acute Ischemic Stroke. *Cureus*. 2023 Aug 24;15(8):e44030. DOI: 10.7759/cureus.44030. PMID: 37746491; PMCID: PMC10517431.
29. Leiva-Salinas C, Wintermark M. Imaging of acute ischemic stroke. *Neuroimaging Clin N Am*. 2010 Nov;20(4):455–68. DOI: 10.1016/j.nic.2010.07.002. PMID: 20974371; PMCID: PMC2965616.
30. Thomalla G, Rossbach P, Rosenkranz M, Siemonsen S, Krüzelmann A, Fiehler J, Gerloff C. Negative fluid-attenuated inversion recovery imaging identifies acute ischemic stroke at 3 hours or less. *Ann Neurol*. 2009 Jun;65(6):724–32. doi: 10.1002/ana.21651. PMID: 19557859.
31. Aoki J, Kimura K, Iguchi Y, et al. FLAIR can estimate the onset time in acute ischemic stroke patients. *J Neurol Sci*. 2010;293:39–44.
32. Sanossian N, Saver JL, Alger JR, et al. Angiography reveals that fluid-attenuated inversion recovery vascular hyperintensities are due to slow flow, not thrombus. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30:564–568.
33. Vu D, González RG, Schaefer PW. Conventional MRI and MR angiography of stroke. In: *Acute ischemic stroke: imaging and intervention*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2006. P. 115–137.
34. Čivrný J, Tomáš D, Černá M. MRI of cerebral oedema in ischaemic stroke and its current use in routine clinical practice. *Neuroradiology*. 2024;66(3):305–315. DOI:10.1007/s00234-023-03262-2.
35. Haacke EM, Xu Y, Cheng YC, Reichenbach JR. Susceptibility weighted imaging (SWI). *Magn Reson Med*. 2004 Sep;52(3):612–8. DOI: 10.1002/mrm.20198. PMID: 15334582.
36. Rovira A, Orellana P, Alvarez-Sabin Arenillas JF, et al. Hyperacute ischemic stroke: middle cerebral artery susceptibility sign at echo-planar gradient-echo MR imaging. *Radiology*. 2004;232:466–473.
37. Wang Q, Wang G, Sun Q, Sun DH. Application of magnetic resonance imaging compilation in acute ischemic stroke. *World J Clin Cases*. 2021 Dec 16;9(35):10828–10837. DOI: 10.12998/wjcc.v9.i35.10828. PMID: 35047594; PMCID: PMC8678888.
38. Li CW, Hsu AL, Huang CC, et al. Reliability of Synthetic Brain MRI for Assessment of Ischemic Stroke with Phantom Validation of a Relaxation Time Determination Method. *J Clin Med*. 2020.
39. Pyatin VF, Maslova OA, Romanchuk NP, et al. Neyrovizualizatsiya: strukturnaya, funktsional'naya, farmakologicheskaya, bioelementologii i nutritsiologiya. *Byulleten' nauki i praktiki*. 2021;7(10):145–184. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/18>. In Russian [Пятин В.Ф., Маслова О.А., Романчук Н.П. и др. Нейровизуализация: структурная, функциональная, фармакологическая, биоэлементологии и нутрициологии. Бюллетень науки и практики. 2021;7(10):145–184. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/71/18>].
40. Dodd KC, Nair VA, Prabhakaran V. Role of the Contralesional vs. Ipsilesional Hemisphere in Stroke Recovery. *Front Hum Neurosci*. 2017 Sep 21;11:469. DOI: 10.3389/fnhum.2017.00469. PMID: 28983244; PMCID: PMC5613154.
41. Tavazzi E, Bergsland N, Pirastru A, et al. MRI markers of functional connectivity and tissue microstructure in stroke-related motor rehabilitation: A systematic review. *Neuroimage Clin*. 2022;33:102931. DOI: 10.1016/j.nicl.2021.102931. Epub 2021 Dec 29. PMID: 34995869; PMCID: PMC8741615.
42. Zaitso Y, Kudo K, Terae S, et al. Mapping of cerebral oxygen extraction fraction changes with susceptibility-weighted phase imaging. *Radiology*. 2011 Dec;261(3):930–6. DOI: 10.1148/radiol.11102416. Epub 2011 Oct 26. PMID: 22031711.
43. Fan AP, An H, Moradi F, et al. Quantification of brain oxygen extraction and metabolism with [15O]-gas PET: A technical review in the era of PET/MRI. *Neuroimage*. 2020 Oct 15;220:117136. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2020.117136. Epub 2020 Jul 4. PMID: 32634594; PMCID: PMC7592419.
44. Uchida Y, Kan H, Inoue H, et al. Penumbra Detection With Oxygen Extraction Fraction Using Magnetic Susceptibility in Patients With Acute Ischemic

Stroke. *Front Neurol.* 2022 Feb 11;13:752450. DOI: 10.3389/fneur.2022.752450. PMID: 35222239; PMCID: PMC8873150.

45. Kan H, Arai N, Kasai H, et al. Quantitative susceptibility mapping using principles of echo shifting with a train of observations sequence on 1.5T MRI. *Magn Reson Imaging.* 2017 Oct;42:37–42. DOI: 10.1016/j.mri.2017.05.002. Epub 2017 May 16. PMID: 28526432.

46. Heiss WD, Zaro Weber O. Validation of MRI Determination of the Penumbra by PET Measurements in Ischemic Stroke. *J Nucl Med.* 2017 Feb;58(2):187–193. DOI: 10.2967/jnumed.116.185975. Epub 2016 Nov 22. PMID: 27879370.

47. González RG, Hirsch JA, Koroshetz WS, Lev MH, Schaefer PW. (eds). *Acute ischemic stroke: imaging and intervention.* Berlin: Springer-Verlag; 2006.

48. Chalet L, Boutelier T, Christen T, et al. Clinical Imaging of the Penumbra in Ischemic Stroke: From the Concept to the Era of Mechanical Thrombectomy. *Front Cardiovasc Med.* 2022 Mar 9;9:861913. DOI: 10.3389/fcvm.2022.861913. PMID: 35355966; PMCID: PMC8959629.

49. Maksimova MYu, Korobkova DZ, Krotenkova MV. Metody vizualizatsii penumbry pri ishemiicheskom insulte. *Vestnik rentgenologii i radiologii.* 2013;6:57–66. In Russian [Максимова М.Ю., Коробкова Д.З., Кротенкова М.В. Методы визуализации пенумбры при ишемическом инсульте. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2013;6:57–66].

50. Lin MP, Liebeskind DS. Imaging of Ischemic Stroke. *Continuum (Minneap Minn).* 2016 Oct;22(5, Neuroimaging):1399–1423. DOI: 10.1212/CON.0000000000000376. PMID: 27740982; PMCID: PMC5898964.

51. Handanović M, Julardžija F, Šehić A, et al. Magnetic resonance imaging in the assessment of acute stroke. *isnn.26373297.* [Internet]. 2021Nov.30 [cited 2024Jan.5];12(1):12–9. Available from: <https://www.uimr.ba/journal/index.php/rt/article/view/18>

52. Chalela JA, Kidwell CS, Nentwich LM, et al. Magnetic resonance imaging and computed tomography in emergency assessment of patients with suspected acute stroke: a prospective comparison. *Lancet.* 2007 Jan 27;369(9558):293–8. DOI: 10.1016/S0140-6736(07)60151-2. PMID: 17258669; PMCID: PMC1859855.

53. Cabral Frade H, Wilson SE, Beckwith A, Powers WJ. Comparison of Outcomes of Ischemic Stroke Initially Imaged With Cranial Computed Tomography Alone vs Computed Tomography Plus Magnetic Resonance Imaging. *JAMA Netw Open.* 2022 Jul 1;5(7):e2219416. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2022.19416. PMID: 35862046; PMCID: PMC9305377

Информация об авторах:

Трушина Лидия Игоревна, аспирант кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации Института медицинского образования, ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Шериев Султан Русланович, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Филин Яна Альбертовна, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Труфанов Геннадий Евгеньевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Ефимцев Александр Юрьевич, д.м.н., доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела МРТ НИО лучевой диагностики, профессор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Authors information:

Trushina Lidiia I., postgraduate student, Radiology and Medical Visualization Department, Almazov National Medical Research Centre;

Sheriev Sultan R., resident of the Department of Radiation Diagnostics and medical imaging with the clinic Almazov National Medical Research Centre;

Filin Yana A., resident of the Department of Radiation Diagnostics and medical imaging with the clinic Almazov National Medical Research Centre;

Trufanov Gennady E., doctor of medical sciences, professor head of the department of radiation diagnostics and medical imaging with clinic of the Almazov National Medical Research Centre;

Efimtsev Aleksandr Yu., doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Radiation diagnostics and medical imaging with clinic Almazov National Medical Research Centre.