



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья.

УДК 616-006.484

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-1-30-44>

Различия скорости кровотока в опухолях глиального ряда на магнитно-резонансных томографах с напряженностью магнитного поля 1,5 и 3,0 Тл методом псевдонепрерывной бесконтрастной перфузии

А. В. Сударикова*, А. И. Баталов, Э. Л. Погосбемян,
Л. М. Фадеева, Н. Е. Захарова, И. Н. Пронин

ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России, Москва

Реферат

Цель работы — оценить универсальность бесконтрастной МР-перфузии (pCASL) в определении скорости кровотока (CBF) глиом головного мозга, используя магнитно-резонансные томографы с разной напряженностью магнитного поля. Было произведено сравнение максимальных и нормированных значений CBF, измеренных методом pCASL на 1,5 и 3,0 Тл МРТ у одних и тех же пациентов с гистологически верифицированными глиомами высокой степени злокачественности (Grade III, IV). Полученные нами данные достоверно сопоставимы, что позволяет считать методику pCASL универсальной для сканеров с разной напряженностью магнитного поля.

Ключевые слова: магнитно-резонансная томография, бесконтрастная магнитная резонансная перфузия головного мозга, глиомы головного мозга.

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интере-

* Сударикова Анна Вячеславовна, аспирант отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России, Москва.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (967) 021-12-21. Электронная почта: anegreeva@nsi.ru

ORCID.org/0000-0001-5820-5947

Sudarikova Anna Vjacheslavovna, Postgraduate of Department of X-ray and radioisotope diagnostic methods N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow.

Address: 16, ul. 4th Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (967) 021-12-21. E-mail: anegreeva@nsi.ru

ORCID.org/0000-0001-5820-5947

© А. В. Сударикова, А. И. Баталов, Э. Л. Погосбемян, Л. М. Фадеева, Н. Е. Захарова, И. Н. Пронин.

сов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ORIGINAL ARTICLES

Scientific article.

Differences in Cerebral Blood Flow in Gliomas on Magnetic Resonance Imaging Scanners with Magnetic Field Strengths of 1.5 and 3 T by the Method of Pseudo-Continuous Non-Contrast Perfusion

A. V. Sudarikova*, A. I. Batalov, E. L. Pogosbekyan,
L. M. Fadeeva, N. E. Zakharova, I. N. Pronin

N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia, Moscow

Abstract

The aim of this work is to evaluate the universality of non-contrast MR perfusion (PCASL) in determining the rate of cerebral blood flow (CBF) of brain gliomas using magnetic resonance scanners with different magnetic field strengths. The maximum and normalized CBF values, which received on 1.5 and 3.0 T MRI in the same patients with histologically verified high grade gliomas (III, IV grade), were compared with each other. The data obtained by us are reliably comparable, which allows us to consider pCASL as a universal technique for scanners with different magnetic strengths.

Key words: Magnetic Resonance Imaging, Non-Contrast Magnetic Resonance Perfusion of the Brain, Brain Gliomas.

Research funding and conflict of interest

The study was not funded by any sources. The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Актуальность

Маркирование артериальных спинов (ASL — arterial spin labeling) — это бесконтрастная МР-методика количественного измерения мозгового кровотока (CBF), использующая протоны водоро-

да артериальной крови в качестве эндогенного трейсера [1].

Существуют различные вариации этой методики: импульсная ASL (PASL), непрерывная ASL (CASL)

и псевдонепрерывная ASL (pCASL), которые основаны на различных способах маркирования артериальных спинов. CASL использует один длинный импульс, PASL использует один или несколько коротких импульсов, а pCASL применяет серию радиочастотных импульсов с частотой примерно один в миллисекунду. pCASL имеет самое высокое отношение сигнал/шум (signal to noise ratio — SNR) и лучшую эффективность маркировки среди трех типов и наиболее предпочтителен для применения в клинической практике [2, 14].

Исходя из рекомендаций Alsop et al. (2015), желательно проводить измерения ASL-перфузии, используя томографы с напряженностью поля 3,0 Тл, хотя удовлетворительные результаты могут быть получены при 1,5 Тл [2]. Преимущества большей напряженности поля заключаются в более высоком отношении сигнал/шум и в эффективности маркирования из-за увеличения времени релаксации T_1 [11]. Более низкое отношение сигнал/шум при 1,5 Тл может быть компенсировано комбинацией уменьшенного пространственного разрешения и/или увеличением времени сканирования.

В настоящее время активно изучается эффективность pCASL в предоперационной дифференциальной диагностике глиом головного мозга, однако большинство исследований проводилось с использованием высокопольных, 3,0 Тл магнитных томографов [1, 4, 6–8, 12, 13], и единичные — на 1,5 Тл [9].

F. Delgado et al. (2018) провели метаанализ 15 исследований, посвященных дифференциальной диагностике глиом высокой и низкой степени злокачественности методом ASL и с использова-

нием двумерной метарегрессии, оценили влияние напряженности магнитного поля (1,5 или 3,0 Тл) на диагностическую эффективность методики ASL и не выявили значимых различий. Однако в их выборке участвовало 12 исследований (80 %), проведенных на 3,0 Тл сканере, и всего 3 (20 %) исследования на 1,5 Тл, при этом в двух из трех исследований на 1,5 Тл сканерах частично отсутствовали анализируемые ими значения максимальной (CBF) и нормированной (nCbf) скоростей кровотока в опухолях [4].

На данный момент в мировой литературе нет научных работ, посвященных оценке клинических различий результатов ASL-перфузии глиом на 1,5 и 3,0 Тл томографах.

Исходя из того, что наибольшее число исследований по дифференциальной диагностике глиом методом ASL-перфузии были проведены на 3,0 Тл МР-томографах, а в большинстве клинических учреждений используются 1,5 Тл МР-томографы, важно оценить, есть ли различие значений CBF при напряженности магнитного поля 1,5 и 3,0 Тл.

Цель: сравнить значения скорости опухолевого кровотока (CBF), измеренные методом pCASL на 1,5 и 3,0 Тл магнитно-резонансных томографах у пациентов с глиомами высокой степени злокачественности.

Материалы и методы

Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России. От всех пациентов, вошедших в исследование, было получено письменное информированное согласие на проведение диагностических манипуляций.

Проанализированы данные исследований 53 пациентов (32 мужчины и 21 женщина, средний возраст 49 лет) с ранее не оперированными опухолями глиального ряда различной степени злокачественности, впоследствии получившие хирургическое лечение в условиях ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России с патоморфологической верификацией.

Из них 23 пациента с опухолями Grade III (9 с анапластическими олигодендроглиомами и 14 с анапластическими астроцитомами) и 30 – Grade IV (глиобластомы).

Исследования проводились на МР-сканерах GE Signa HDxt 3,0 Тл и на GE Optima 450 1,5 Тл с использованием головных 8-канальных катушек. Перфузионное ASL-исследование было добавлено в протокол МР-исследования головного мозга, который включал серию стандартных режимов (T2, T2-FLAIR, DWI и T1, в т. ч. T1 после контрастного усиления на 3,0 Тл сканере). Во всех случаях ASL-метод применяли до использования внутривенного контрастного усиления в разные дни на разных аппаратах для избежания возможных артефактов, связанных с изменением релаксационных свойств крови на фоне присутствия контрастного препарата.

Параметры ИП 3D FSE pcASL на 1,5 Тл МРТ: траектория сканирования – 8-заходная спираль. Задержка между маркированием и регистрацией контрольных данных составляла 1525 мс; TR = 4557 мс; TE = 10,7 мс; NEX = 3; толщина среза – 4 мм; FOV = 24 мм; матрица – 512 × 8; разрешение – 3,73 мм; полоса частот – 62,5 Гц. Продолжительность исследования – 4–5 мин. От-

ношение сигнал/шум превышало 100 % при T1 для белого вещества – 1600 мс.

Параметры ИП 3D FSE pcASL на 3,0 Тл МРТ: траектория сканирования – 8-заходная спираль. Задержка между маркированием и регистрацией контрольных данных составляла 1525 мс; TR = 4717 мс; TE = 9,8 мс; NEX = 3; толщина среза – 4 мм; FOV = 24 мм; матрица – 512 × 8; разрешение – 3,49 мм; полоса частот – 62,5 Гц. Продолжительность исследования – 4–5 мин. Отношение сигнал/шум превышало 100 % при T1 для белого вещества – 1800 мс.

Карты скорости мозгового кровотока (BF – blood flow) строили в программе ReadyView – 4,5 (GE Healthcare). Все полученные перфузионные карты с двух томографов совмещались с анатомическими изображениями, а также между собой с использованием программ SyncroView, Integrated Registration (GE Healthcare).

На всех полученных срезах были выделены зоны интереса (минимальный размер 10 мм²), включающие объем опухоли и интактное белое вещество семиовальных центров контралатерального полушария с последующим определением участков с наиболее высокими показателями кровотока (рис. 1, 2). Измерения кровотока в опухоли нормировали к показателям кровотока в белом веществе контралатерального полушария.

Статистическая обработка полученных оригинальных и нормированных данных проводилась в программе R-project с применением Т-критерия Стьюдента, для которого был выбран предельный уровень значимости $p = 0,05$.

Результаты и их обсуждение

В ходе данного исследования были проанализированы максимальные абсолют-

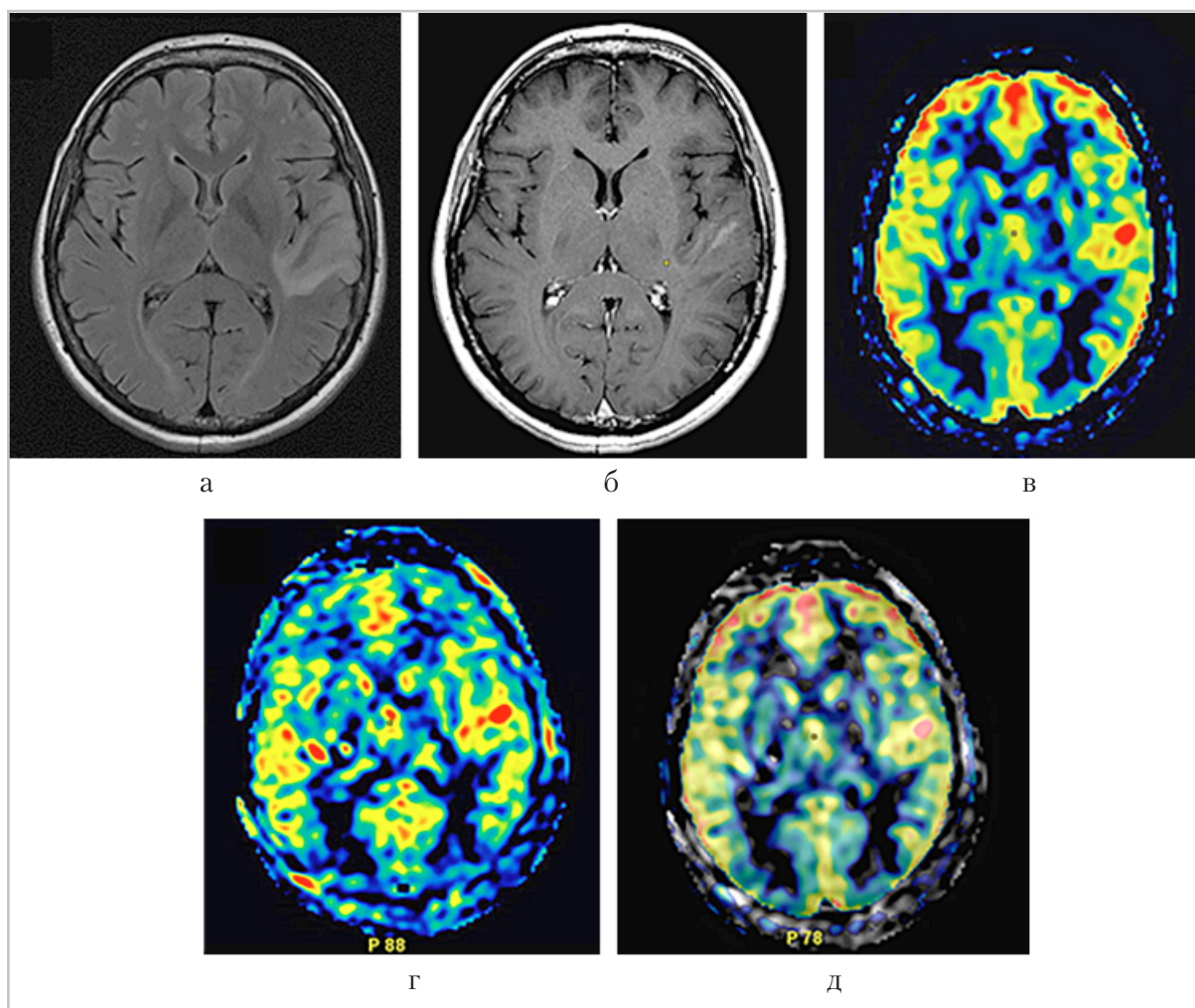


Рис. 1. МР-томограммы пациента с анапластической олигодендроглиомой (Grade III) левой височно-островковой области. МР-изображения в режимах T2-FLAIR (а), T1 после контрастирования (б), перфузионные карты (CBF), полученные с помощью pCASL на 1,5 Тл томографе (в) и на 3,0 Тл томографе (г), изображение, полученное при совмещении перфузионных карт, необходимое для получения значений CBF в одной и той же анатомической области (д)

ные и нормированные к значению CBF белого вещества показатели скорости кровотока в перфузирующихся опухолях, а также значения CBF в белом веществе семиовальных центров здорового полушария головного мозга у одних и тех же пациентов в одних и тех же областях, полученные на МР-сканерах с напряженностью поля 1,5 и 3,0 Тл (рис. 1, а – д). С учетом неоднород-

ности выборки пациентов разделили на две группы по степени злокачественности опухолей: Grade III и IV. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Полученные на 1,5 и 3,0 Тл сканерах значения абсолютных максимальных и нормированных значений кровотока в глиомах высокой степени злокачественности (high grade glioma – HGG) и в белом веществе семиовальных центров

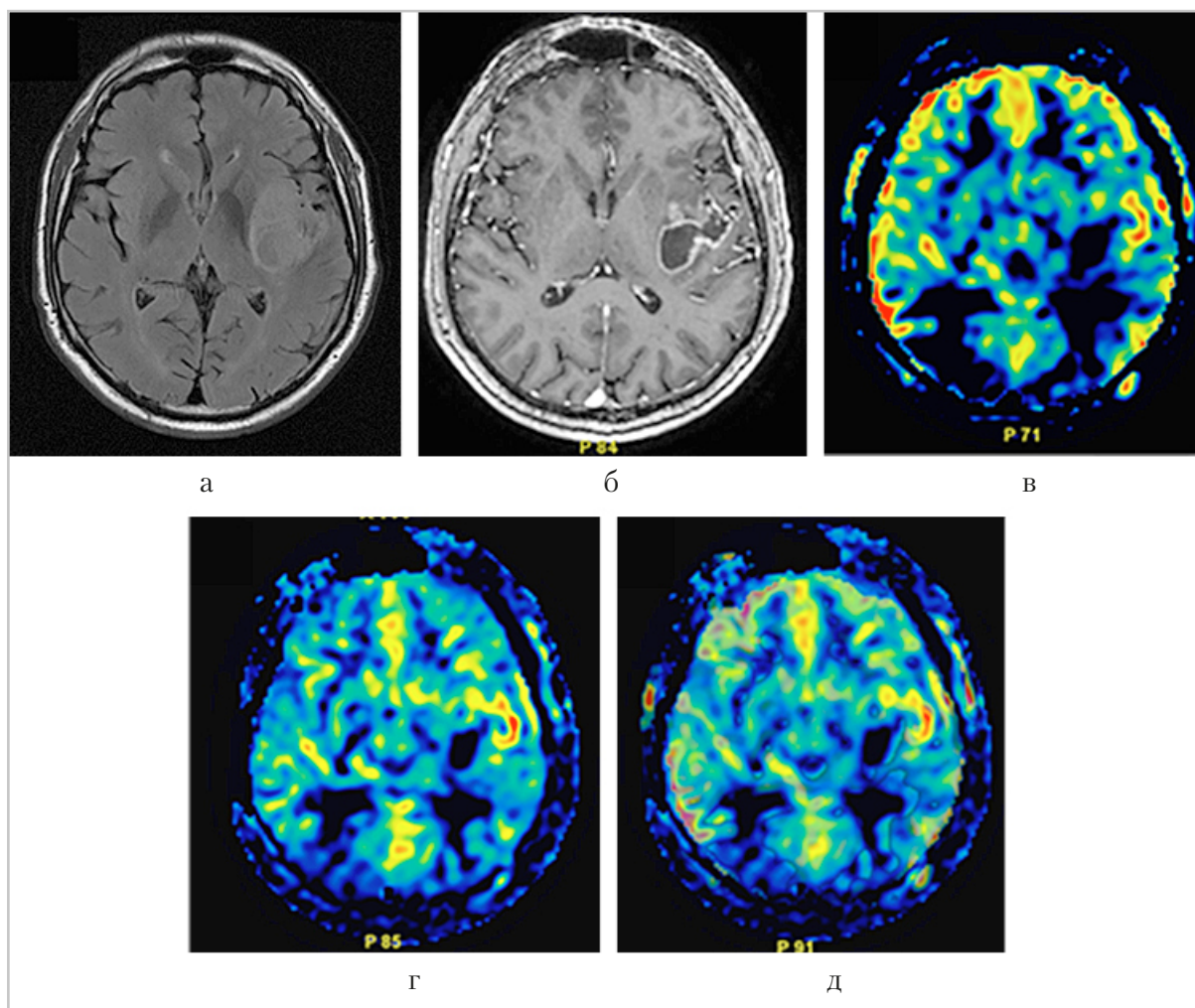


Рис. 2. . МР-томограммы пациента с глиобластомой (Grade IV) левой височно-островковой области. МР-изображения в режимах T2-FLAIR (а), T1 после контрастирования (б), перфузионные карты (CBF), полученные с помощью pCASL на 1,5 Тл томографе (в) и на 3,0 Тл томографе (г), изображение, полученное при совмещении перфузионных карт, необходимое для получения значений CBF в одной и той же анатомической области (д)

контралатерального полушария представлены графически (рис. 3–5).

На рис. 3, 4 представлены зависимости максимальных абсолютных и нормированных значений скорости кровотока в опухолях глиального ряда высокой степени злокачественности, полученных с помощью метода pCASL на МР-томографах с напряженностью поля 1,5 и 3,0 Тл. Эти графики показы-

вают статистически значимую корреляцию между результатами измерений, которую отражают уравнения регрессии с коэффициентами детерминации r^2 для максимальных абсолютных значений кровотока 0,942, а для нормированных – 0,901, $p < 0,05$. Таким образом, значения CBF, измеренные методом pCASL на 1,5 и 3,0 Тл МР-сканерах, с коэффициентами детерминации, близ-

Таблица 1

Максимальные абсолютные и нормированные значения кровотока в глиомах высокой степени злокачественности и в белом веществе семиовальных центров контралатерального полушария

CBF	Макс. абс. значения ASL 1,5 Тл мл/100г/мин	Макс. абс. значения ASL 3,0 Тл мл/100г/мин	Нормированные значения ASL 1,5 Тл	Нормированные значения ASL 3,0 Тл
Grade III				
Среднее	89,107	100,900	4,921	5,382
Ст. отклонение	41,019	47,283	3,405	3,485
Медиана	80,395	94,340	3,766	5,271
min	34,230	29,240	1,447	1,778
max	204,200	231,100	14,131	14,645
Grade IV				
Среднее	152,396	173,803	9,002	10,130
Ст. отклонение	77,129	78,832	4,402	4,579
Медиана	145,300	156,450	7,696	9,412
min	37,770	46,590	2,368	2,596
max	407,600	434,400	21,453	22,803
Белое вещество контралатерального полушария				
CBF	Абс. значения ASL 1,5 Тл мл/100г/мин		Абс. значения ASL 3,0 Тл мл/100г/мин	
Среднее	17,990		18,130	
Ст. отклонение	4,265		3,582	
Медиана	16,960		17,420	
min	10,180		11,020	
max	29,200		25,740	

кими к единице, можно рассматривать как сопоставимые.

При значениях CBF до 100 мл/100г/мин и при значениях от 200 мл/100г/мин данные лежат в пределах 95 % доверительного интервала. При промежуточных значениях CBF от 100 до 200 мл/100г/мин наблюдается большее расхождение в значениях, выходящее за пределы 95 % доверительного интервала.

При сравнении значений перфузии в опухолях Grade III, IV на 1,5 и 3,0 Тл сканерах (непараметрический парный тест Вилкоксона) значения доверительной вероятности (p-value) для максимальных абсолютных и нормированных значений были меньше 0,01. Таким образом, значения скорости опухолевого кровотока (CBF), измеренного методом pCASL на 1,5 и 3,0 Тл магнитно-

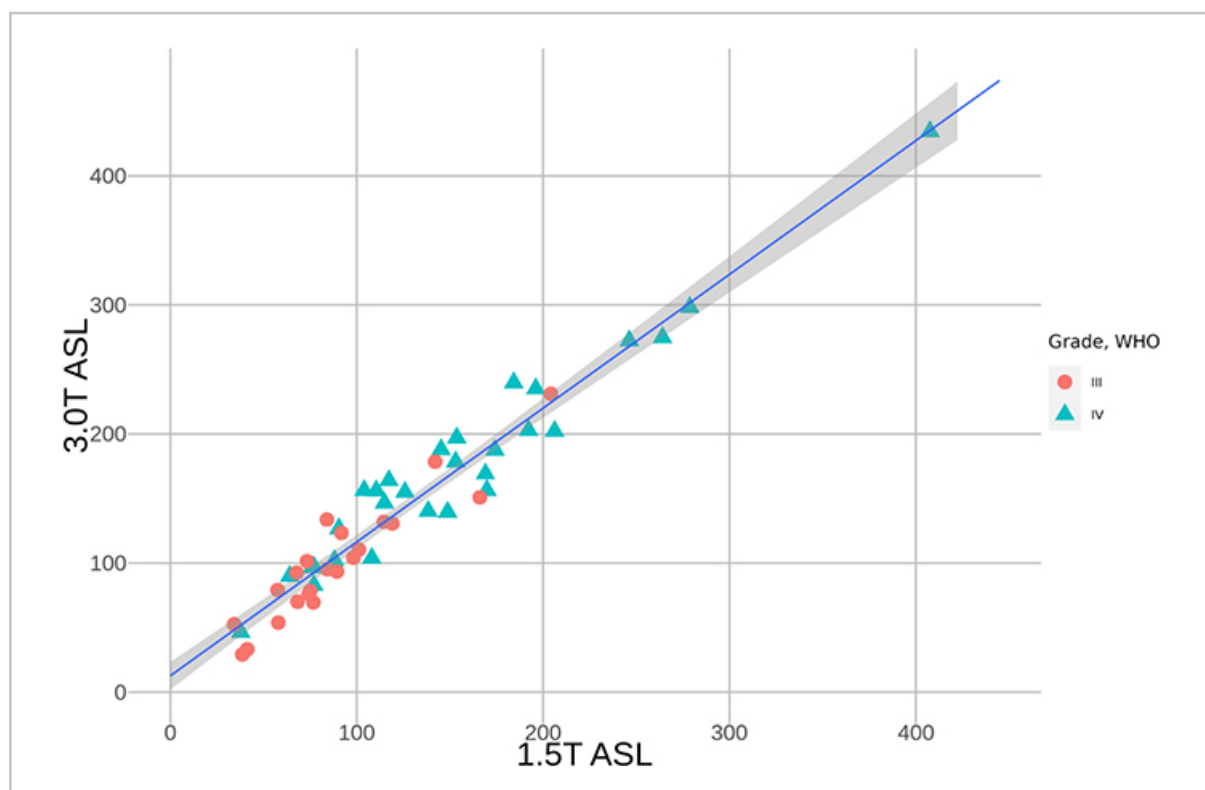


Рис. 3. Зависимость максимальных абсолютных значений скорости кровотока в опухолях глиального ряда высокой степени злокачественности, полученных с помощью метода pCASL на МР-сканерах с напряженностью поля 1,5 и 3,0 Тл. Уравнение регрессии: $y = 13 + x$, $r^2 = 0,942$, $p < 0,01$. Серым цветом показан 95 %-й доверительный интервал

Примечание: опухоли Grade III обозначены кружками, Grade IV — треугольниками.

резонансных томографах, у пациентов с HGG глиомами головного мозга достоверно отличаются при разделении опухолей по степени злокачественности.

На рис. 5 показана диаграмма рассеяния значений скорости кровотока в условно здоровом белом веществе семиовальных центров. Определяется линейная зависимость между значениями, полученными на 1,5 и 3,0 Тл аппаратах, с коэффициентом детерминации $r^2 = 0,716$. Большинство значений лежит за пределами 95%-го доверительного интервала (показано серым цветом). Таким образом, сравнение значений скорости тканевого кровотока в условно здоровом белом веществе семиовальных цен-

тров, измеренного методом pCASL, на 1,5 и 3,0 Тл МР-томографах у пациентов с глиомами головного мозга, статистически значимых различий не выявило.

Исходя из уравнений регрессий определяется постоянная систематическая погрешность, которая равна 13 мл/100г/мин для абсолютных максимальных значений и 0,84 для нормированных в опухолях, 5,3 мл/100г/мин для условно здорового белого вещества семиовальных центров. Это говорит о том, что метод pCASL на 1,5 Тл аппаратах недооценивает величину мозгового кровотока в пределах систематической погрешности относительно сканеров с полем 3,0 Тл.

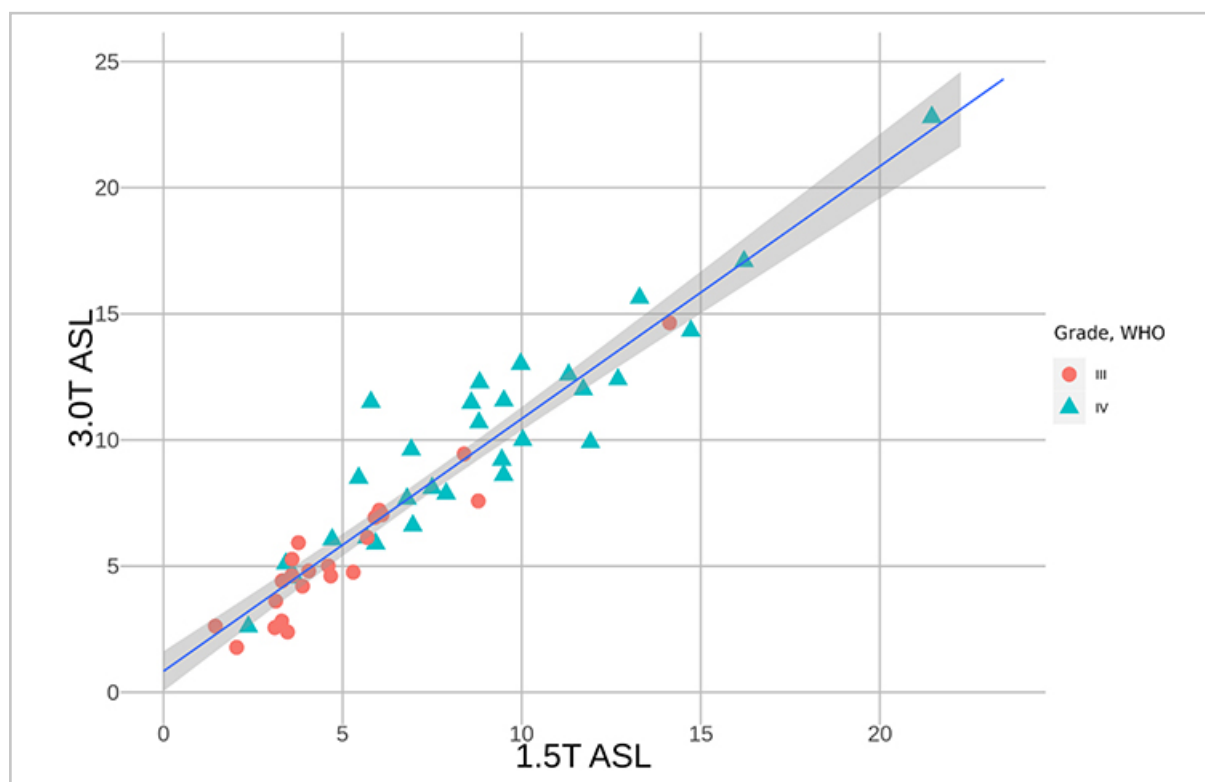


Рис. 4. Зависимость нормированных значений скорости кровотока в опухолях глиального ряда высокой степени злокачественности, полученных с помощью метода pCASL на МР-сканерах с напряженностью поля 1,5 и 3,0 Тл. Уравнение регрессии: $y = 0,84 + x$, $r^2 = 0,901$, $p < 0,01$. Серым цветом показан 95 %-й доверительный интервал

Примечание: опухоли Grade III обозначены кружками, Grade IV — треугольниками.

Одним из возможных применений методики маркирования артериальных спинов является дифференциальная диагностика глиом различной степени злокачественности, от правильной диагностики которых зависит тактика лечения. В мировой литературе существует множество работ, доказывающих, что значения опухолевого кровотока, полученные с помощью ASL-перфузии, могут быть использованы в качестве одного из критериев дифференциальной диагностики глиом [1, 2, 7–9, 10, 13].

Из полученных нами данных можно сделать вывод, что HGG глиомы имеют высокие значения параметра CBF, что соответствует данным исследований дру-

гих авторов, полученных на МР-сканерах с разной напряженностью магнитного поля, представленных в табл. 2. Исследований на 1,5 Тл МР-аппаратах выполнено сравнительно мало, а полученные значения CBF в глиомах в различных публикациях сильно отличаются, что может быть связано с напряженностью магнитного поля, технологиями маркирования, способами измерения скорости кровотока в опухолях.

По результатам оценки полученных нами данных, как уже было сказано выше, в группах глиом высокой степени злокачественности значения максимальных абсолютных и нормированных значений скорости кровотока, измерен-

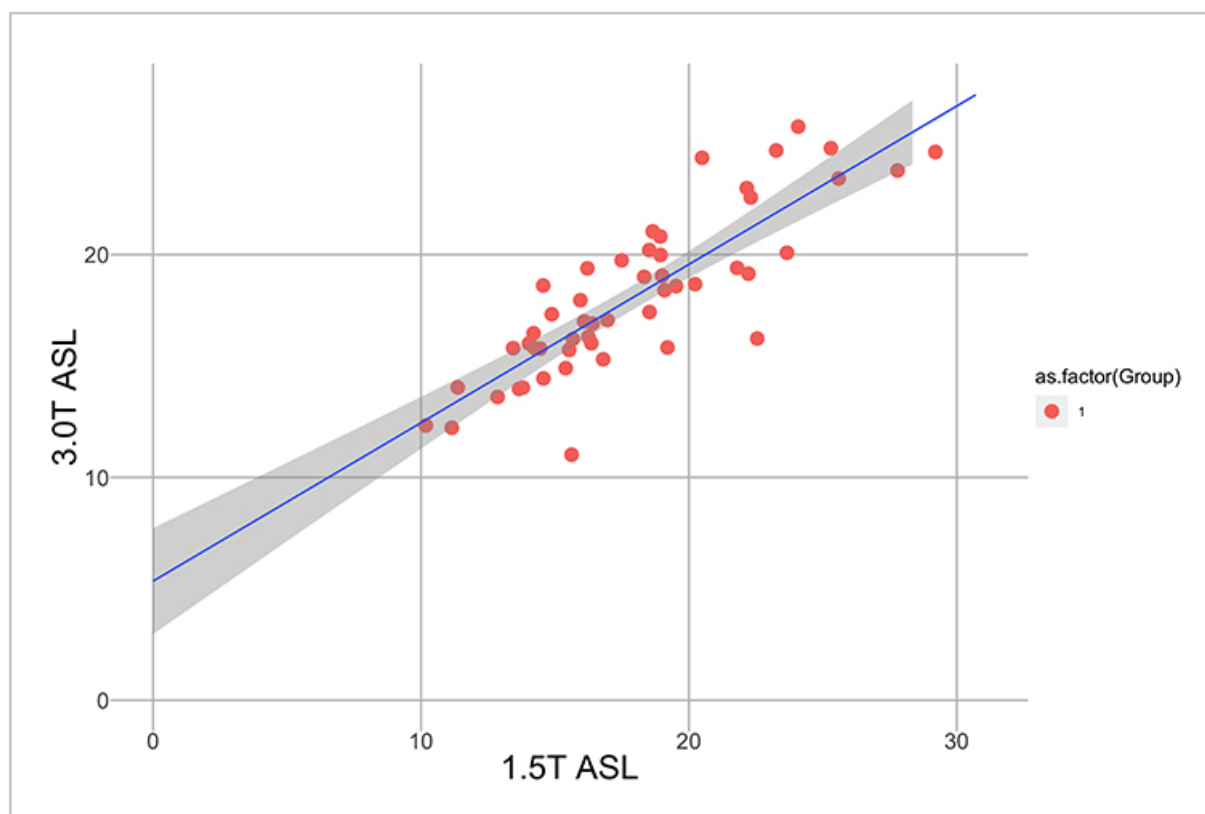


Рис. 5. Зависимость нормированных значений скорости кровотока в белом веществе семиовальных центров условно здорового полушария, полученных с помощью метода pCASL на МР-сканерах с напряженностью поля 1,5 и 3,0 Тл. Уравнение регрессии: $y = 5,3 + 0,71 \times x$, $r^2 = 0,716$, $p < 0,01$. Серым цветом показан 95%-й доверительный интервал

ные на 1,5 и 3,0 Тл томографах, а также значения скорости кровотока в белом веществе семиовальных центров условно здорового вещества достоверно сопоставимы.

Исходя из графиков и табл. 1 определяются более низкие значения кровотока в глиомах Grade III по сравнению с Grade IV как на 1,5 Тл, так и на 3,0 Тл томографах. В исследовании А. И. Баталова и др. (2018) была обнаружена значимая разница в показателях CBF и pCBF в этих группах с $p < 0,001$. Однако проведенный ими ROC-анализ показал достаточно низкую информативность ASL-перфузии в дифференциальной диагностике глиом Grade III, IV [1].

Полученные нами постоянные систематические погрешности при измерениях, вероятно, связаны с тем, что у МР-томографов с меньшей напряженностью магнитного поля более низкое отношение сигнал/шум, так как существуют некоторые ограничения методики ASL. Первое из них — это влияние дробной маркировки на интенсивность визуализации ($< 1\%$ необработанного сигнала), из-за которого перфузионные карты могут иметь низкое качество даже после длительного усреднения сигнала. Второе ограничение связано с относительно коротким временем затухания сигнала. Время прохождения артериального потока крови от маркированной области

Таблица 2

Усредненные максимальные абсолютные и нормированные значения кровотока в глиомах высокой степени злокачественности по полученным данным и данным других авторов

	Вариация методики ASL	Напряженность магнитного поля, Тл	Max CBF HGG, мл/100г/мин	nCBF HGG
Данные, полученные в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России	3D-pCASL	3	142,35 ± 75,82	8,08 ± 4,33
Данные, полученные в ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России	3D-pCASL	1,5	125,09 ± 70,99	7,24 ± 4,11
Ma, Wang et al. (2017) [8]	3D-pCASL	3	88,03 ± 37,16	5,41 ± 3,74
Shen, Zhao et al. (2016) [10]	3D-pCASL	3	73,93 ± 23,74	2,02 ± 0,61
Zeng, Jiang et al. (2017) [13]	3D-pCASL	3	168,82 ± 70,43	2,19 ± 0,87
А.И. Баталов и др. (2018) [1]	3D-pCASL	3	153,64 ± 93,13	8,51 ± 5,32
Morana, Tortora et al. (2018) [9]	PASL	1,5	—	1,37 ± 0,26

к визуализируемым срезам сравнимо с временем релаксации T1 крови. В результате чего количество меченых спинов значительно уменьшается ко времени, когда они достигают ткани мозга, что приводит к дальнейшим трудностям в обнаружении перфузионного сигнала и к наличию возможных ошибок в количественной оценке параметров перфузии.

Увеличение напряженности магнитного поля обеспечивает не только

повышение отношения сигнал/шум, но и дает преимущество для маркирования спинов. Из-за увеличения времени релаксации T1 потеря спинового мечения во время прохождения по сосудам шеи и головы уменьшается, а накопление меченых спинов в ткани мозга увеличивается по сравнению с 1,5 Тл, что дает больший перфузионный сигнал. Таким образом, увеличение времени релаксации T1 в сочетании с увеличенным отношением сигнал/шум может привести к значительно-

му улучшению перфузионного сигнала, обеспечивая повышенное пространственное и временное разрешение [11].

Авторы работы по сравнению 3,0 Тл и 7,0 Тл ASL-перфузии Ivanov et al. (2020) выявили преимущество в пространственном и временном разрешении 7,0 Тл томографа перед 3,0 Тл и связывают это с повышенным отношением сигнал/шум [5].

Необходимо учесть тот факт, что чем больше напряженность магнитного поля томографа, тем лучше визуализация анатомических структур головного мозга и тем чувствительнее методика в оценке сосудистых структур, что также объясняет полученные нами результаты [3].

Во всех исследуемых нами группах определялась статистически значимая ($p < 0,01$) линейная корреляция между значениями CBF на 1,5 и 3,0 Тл МРТ, а систематические погрешности составили всего 13 мл/100г/мин для абсолютных максимальных значений и 0,84 для нормированных значений скорости кровотока. Учитывая это, можно считать, что результаты проведенного нами исследования соотносятся с рекомендациями Alsop et al. (2015) и рекомендациями консенсуса ISMRM Perfusion Study Group и консорциума European ASL in Dementia от октября 2012 года о равнозначном использовании 1,5 и 3,0 Тл МР-томографов при компенсации более низкого отношения сигнал/шум на 1,5 Тл сканере за счет комбинации уменьшенного пространственного разрешения и/или увеличения времени сканирования [2].

Таким образом, методику pCASL можно считать универсальной для аппаратов с разной напряженностью магнитного поля.

Выводы

Методика ASL-перфузии является информативной и может помочь в дифференциальной диагностике опухолей головного мозга, в том числе глиального ряда, независимо от напряженности магнитного поля МР-томографа.

В данном исследовании выявлена статистически значимая корреляция между значениями скорости кровотока в опухолях, полученными на аппаратах с разной напряженностью поля, что говорит о том, что данный метод можно использовать в клинической практике как на 1,5 Тл, так и на 3,0 Тл томографах.

Список литературы / References

1. Баталов А. И., Захарова Н. Е., Погосбекян Э. Л., Фадеева Л. М., Горяйнов С. А., Баев А. А., Шульц Е. И., Чёлушкин Д. М., Потанов А. А., Пронин И. Н. Бесконтрастная asl-перфузия в предоперационной диагностике супратенториальных глиом // «Вопросы нейрохирургии» имени Н. Н. Бурденко. 2018. Т. 82. № 6. С. 15–22.
Batalov A. I., Zaharova N. E., Pogosbekjan E. L., Fadeeva L. M., Goryaynov S. A., Baev A. A., Shul'ts E. I., Chelushkin D. M., Potapov A. A., Pronin I. N. Non-contrast ASL Perfusion in Preoperative Diagnosis of Supratentorial Gliomas. Problems of neurosurgery named after N. N. Burdenko. 2018. V. 82. No. 6. P. 15–22 (in Russian).
2. Alsop D. C., Detre J. A., Golay X. et al. Recommended implementation of arterial spin-labeled Perfusion mri for clinical applications: A consensus of the ISMRM Perfusion Study group and the European consortium for ASL in dementia. Magn Reson Med. 2015. V. 73. No (1). P. 102–116.
3. De Cockler L. J., Lindenholz A., Zwanenburg J. J. et al. Clinical vascular imaging

- in the brain at 7T. *NeuroImage*. 2018. V. 168. P. 452–458.
4. *Falk Delgado A., De Luca F., van Westen D., Falk Delgado A.* Arterial spin labeling MR imaging for differentiation between high- and low-grade glioma—a meta-analysis. *Neuro Oncol.* 2018. V. 20. No. (11). P. 1450–1461.
 5. *Ivanov D., Gardumi A., Haast RAM, Pfeuffer J., Poser B. A., Uhda K.* Comparison of 3T and 7T ASL techniques for concurrent functional perfusion and BOLD studies. *NeuroImage*. 2017. V. 156. P. 363–376.
 6. *Lin Y., Li J.* Comparison of Intravoxel Incoherent Motion Diffusion-Weighted MR Imaging and Arterial Spin Labeling MR Imaging in Gliomas. 2015. V. 2015. P. 234245.
 7. *Luan J., Wu M., Wang X., Qiao L., Guo G., Zhang C.* The diagnostic value of quantitative analysis of ASL, DSC-MRI and DKI in the grading of cerebral gliomas: a meta-analysis. 2020. V. 15. No. (1). P. 204.
 8. *Ma H., Wang Z., Xu K. et al.* Three-dimensional arterial spin labeling imaging and dynamic susceptibility contrast perfusion-weighted imaging value in diagnosing glioma grade prior to surgery. *Experimental and therapeutic medicine*. 2017. V. 13. No. (6). P. 2691–2698.
 9. *Morana G., Tortora D., Staglian S. et al.* Pediatric astrocytic tumor grading: comparison between arterial spin labeling and dynamic susceptibility contrast MRI perfusion. *Neuroradiology*. 2018. V. 60. No. (4). P. 437–446.
 10. *Shen N., Zhao L., Jiang J. et al.* Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging analysis of diffusion and micro-perfusion in grading gliomas and comparison with arterial spin labeling for evaluation of tumor perfusion. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR*. 2016. V. 44. No. (3). P. 620–632.
 11. *Wang J., Alsop D. C., Li L. et al.* Comparison of quantitative perfusion imaging using arterial spin labeling at 1.5 and 4.0 Tesla. *Magn Reson Med*. 2002. V. 48. No. (2). P. 242–254.
 12. *Xiao H. F., Chen Z. Y., Lou X. et al.* Astrocytic tumour grading: a comparative study of three-dimensional pseudocontinuous arterial spin labelling, dynamic susceptibility contrast-enhanced perfusion-weighted imaging, and diffusion-weighted imaging. *European radiology*. 2015. V. 25. No. (12). P. 3423–3430.
 13. *Zeng Q., Jiang B., Shi F., Ling C., Dong F., Zhang J.* 3D Pseudocontinuous Arterial Spin-Labeling MR Imaging in the Preoperative Evaluation of Gliomas. *AJNR Am. J. Neuroradiol.* 2017. V. 38. No. (10). P. 1876–1883.
 14. *Zhang N., Gordon M. L., Goldberg T. E.* Cerebral blood flow measured by arterial spin labeling MRI at resting state in normal aging and Alzheimer's disease. *Neuroscience and biobehavioral reviews*. 2017. V. 72. P. 168–175.

Сведения об авторах

Сударикова Анна Вячеславовна, аспирант отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (967) 021-12-21. Электронная почта: anegreeva@nsi.ru

ORCID.org/0000-0001-5820-5947

Вклад автора: разработка концепции — формирование идеи, цели и написание текста.

Sudarikova Anna Vjacheslavovna, Postgraduate of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. 4th Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (967) 021-12-21. E-mail: anegreeva@nsi.ru

ORCID.org/0000-0001-5820-5947

Author's contribution: concept development — formation of an idea, goals and writing a text.

Баталов Артем Игоревич, кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России. Адрес: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (499) 972-85-86. Электронная почта: abatalov@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-8924-7346

Вклад автора: утверждение окончательного варианта публикации — принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Batalov Artem Igorevich, Ph. D. Med., Radiologist of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. 4th Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (499) 972-85-86. E-mail: abatalov@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-8924-7346

Author's contribution: approval of the final version of the publication — taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Погосбекян Эдуард Леонидович, медицинский физик отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (499) 972-85-86. Электронная почта: epogosbekyan@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-4803-6948

Вклад автора: участие в обработке материала и обсчете статистических показателей.

Pogosbekyan Eduard Leonidovich, Med. Physicist of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. 4th Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (499) 972-85-86

E-mail: epogosbekyan@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-4803-6948

Author's contribution: participation in the processing of the material and calculation of statistical indicators.

Фадеева Людмила Михайловна, ведущий инженер отделения рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (499) 972-85-86. Электронная почта: lmfm@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-3240-5585

Вклад автора: существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, получение данных или их анализ и интерпретацию.

Fadeeva Liudmila Mikhailovna, Leading Engineer of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. 4th Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (499) 972-85-86. E-mail: lmfm@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-3240-5585

Author's contribution: significant contribution to the concept and design of the study, data acquisition or analysis and interpretation.

Захарова Наталья Евгеньевна, доктор медицинских наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник, отделение рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (499) 972-85-86. Электронная почта: nzakharova@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-0516-3613

Вклад автора: утверждение окончательного варианта публикации — принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Zakharova Natalia Evgen'evna, M. D. Med., Professor of the Russian Academy of Sciences, Leading Research Fellow, Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (499) 972-85-86. E-mail: nzakharova@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-0516-3613

Author's contribution: approval of the final version of the publication — taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Пронин Игорь Николаевич, доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, заведующий отделением рентгеновских и радиоизотопных методов диагностики ФГАУ «НМИЦ нейрохирургии им. академика Н. Н. Бурденко» Минздрава России.

Адрес: 125047, г. Москва, ул. 4-я Тверская-Ямская, д. 16.

Тел.: +7 (499) 972-85-86. Электронная почта: pronin@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-4480-0275

Вклад автора: утверждение окончательного варианта публикации — принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Pronin Igor` Nikolaevich, M. D. Med., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of Department of X-ray and Radioisotope Diagnostic Methods, N. N. Burdenko National Medical Research Center of Neurosurgery, Ministry of Healthcare of Russia.

Address: 16, ul. Tverskaya-Yamskaya, Moscow, 125047, Russia.

Phone number: +7 (499) 972-85-86. E-mail: pronin@nsi.ru

ORCID.org/0000-0002-4480-0275

Author's contribution: approval of the final version of the publication — taking responsibility for all aspects of the work, the integrity of all parts of the article and its final version.

Дата поступления статьи в редакцию издания: 14.12.2021 г.

Дата одобрения после рецензирования: 25.12.2021 г.

Дата принятия статьи к публикации: 25.12.2021 г.