

ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1415>

Возможности применения бесконтрастной МР-перфузии в дифференциальной диагностике опухоли мягких тканей

© Богомолов Д.Ю.¹, Мозокина К.С.¹, Мухаматуллина Э.З.¹, Капустин В.В.^{1, 2*}¹ ООО «АрПи Канон Медикал Системз», отдел клинического применения медицинского оборудования; 115054 Москва, ул. Валуевская, д. 26, Российская Федерация² ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России; 127473 Москва, ул. Делегатская, д. 20, стр. 1, Российская Федерация

Бесконтрастная МР-перфузия «меченых спинов артериальной крови» («ASL-перфузия») – это МР-технология качественной и количественной оценки перфузионных свойств тканей, основанная на маркировке спинов протонов артериальной крови радиочастотными импульсами и последующем их измерении при прохождении через зону интереса. Наибольший клинический опыт применения ASL-перфузии накоплен в диагностике заболеваний центральной нервной системы, однако в последние годы появились работы, показывающие эффективность использования данной методики в оценке перфузии скелетных мышц и диагностике опухолей мягких тканей.

Представлены два клинических наблюдения (опухоль мягких тканей и посттравматические неопухолевые изменения), демонстрирующие возможности применения указанной методики для бесконтрастной оценки характера васкуляризации патологических изменений в мягких тканях бедра.

Ключевые слова: опухоли мягких тканей, мультипараметрическая магнитно-резонансная томография, ASL-перфузия

Конфликт интересов. Все авторы являются сотрудниками компании ООО «АрПи Канон Медикал Системз».

Для цитирования: Богомолов Д.Ю., Мозокина К.С., Мухаматуллина Э.З., Капустин В.В. Возможности применения бесконтрастной МР-перфузии в дифференциальной диагностике опухоли мягких тканей. *Медицинская визуализация*. 2023; 27 (4): 179–185. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1415>

Поступила в редакцию: 17.10.2023. Принята к печати: 20.11.2023. Опубликовано online: 7.12.2023.

Possibility of contrast-free MR-perfusion using in differential diagnosis of soft tissue tumor

© Daniil Y. Bogomolov¹, Ksenia S. Mozokina¹,
Elvira Z. Mukhamatullina¹, Vladimir V. Kapustin^{1, 2*}¹ RP Canon Medical Systems, LLC, Application Department; 26, Valovaya str., Moscow 115054, Russian Federation² A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 20/1, Delegatskaya str., Moscow 127473, Russian Federation

Contrast-free MR-perfusion of "labeled arterial blood spins" ("ASL-perfusion") is an MR-technology for qualitative and quantitative assessment of tissue perfusion properties based on of arterial blood proton spins labeling by radiofrequency pulses and their subsequent measurement when passing through the area of interest. The most of ASL-perfusion application clinical data referred to central nervous system diseases diagnostics, but some works showing the effectiveness of this technique in assessment of skeletal muscle perfusion and diagnostics of soft tissue tumors appeared recently.

Two presented clinical cases (soft tissue tumor and post-traumatic benign changes) demonstrate the possibility of this technique usage to assess vascularization of pathological changes in hip soft tissues.

Keywords: soft tissue tumors, multiparametric magnetic resonance imaging, ASL-perfusion



Conflict of interest. All authors are employees of RP Canon Medical Systems, LLC (Moscow).

For citation: Bogomolov D.Y., Mozokina K.S., Mukhamatullina E.Z., Kapustin V.V. Possibility of contrast-free MR-perfusion using in differential diagnosis of soft tissue tumor. *Medical Visualization*. 2023; 27 (4): 179–185. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1415>

Received: 17.10.2023.

Accepted for publication: 20.11.2023.

Published online: 7.12.2023.

Введение

Магнитно-резонансная томография (МРТ) позволяет получать важную диагностическую информацию на этапах выявления, планирования лечения и динамического наблюдения за пациентами с различными злокачественными новообразованиями (ЗНО) [1, 2].

Наиболее распространенным методом оценки васкуляризации тканей является динамическая контрастно-усиленная МРТ (ДКУМРТ), которая требует предварительного введения контрастного препарата (КП) на основе гадолиния [3]. Однако в последние годы все большее распространение в клинической практике получает еще одна методика МР-перфузии, так называемая ASL-перфузия, основанная на маркировке спинов протонов артериальной крови радиочастотными импульсами и последующем измерении их прохождения через зону интереса [4, 5]. К очевидным преимуществам данной МР-технологии относятся простота выполнения, небольшое время получения изображений, отсутствие необходимости в венозном доступе и использования дорогостоящих МР-контрастных препаратов. При этом становится возможным как получение абсолютных количественных показателей перфузии в физиологических единицах (мл/100 г/мин), так и отображение получаемой информации в виде карт перфузии [6].

На сегодняшний день наибольший опыт клинического применения ASL-перфузии накоплен в области МР-исследований головного мозга [7, 8]. Вместе с тем имеются работы, посвященные применению этой технологии в диагностике целого ряда ЗНО различных локализаций [9–14]. Что касается МР-исследований опорно-двигательного аппарата, то показано, что ASL-перфузия позволяет проводить качественную и количественную оценку перфузии скелетных мышц [15, 16]. Также в литературе имеются немногочисленные на сегодняшний день исследования, посвященные применению данной методики в диагностике опухолей мягких тканей [17, 18].

Материал и методы

Представляем два клинических наблюдения пациентов с МР-картиной опухоли мягких тканей бедра и неопухолевых посттравматических изменений. В обоих наблюдениях были использованы

протоколы мультипараметрической МРТ (мпМРТ) для рутинного исследования мягких тканей в режимах T2ВИ (fast spin echo – FSE), T1ВИ (FSE), PD FS-ВИ (FSE с применением селективного жироподавления), STIR-ВИ (FSE), WFSВИ (FFE T1 с методом Диксон), ДВИ ($b = 1000 \text{ с/мм}^2$) (SE_EPI). С целью уточняющей диагностики были применены программы динамического контрастирования в режимах FFE3D, а также 3D-T1ВИ (FFE) для постконтрастной серии. Постпроцессинговая обработка в обоих случаях осуществлялась на станции обработки изображений Vitrea с ядром Olea версии 7.14.4 с встроенным методом обработки карт проницаемости – Extended Tofts. Также в обоих наблюдениях была применена программа бесконтрастной ASL-перфузии (“ASL”).

Пациентка №1, возраст 36 лет. Поступила в многопрофильный стационар с жалобами на боли в области левого бедра в покое. Травм в анамнезе не было. По направлению хирурга для уточнения диагноза была выполнена мпМРТ с внутривенным контрастированием мягких тканей бедра. Данное исследование было проведено на МР-томографе Vantage Orian 1,5 Тл (Canon, Япония) с использованием встроенной катушки для спины и катушки для тела (отделение лучевой диагностики больницы Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан). После получения информированного согласия пациентки анонимизированные исходные данные МРТ были предоставлены заведующей отделением врачом-радиологом высшей квалификационной категории Элибаевой Э.С.

В мягких тканях левого бедра, в структуре большой приводящей мышцы, было выявлено солидное новообразование округлой формы до 5 см в диаметре с зоной перифокального отека. На основании изменений сигнальных характеристик на T1-, T2ВИ, изотропных ДВИ (b -фактор 1000 с/мм^2) и ИКД-картах данное образование было расценено как опухоль. При ДКУМРТ новообразование демонстрировало раннее интенсивное накопления КП с последующим заметным вымыванием.

Постобработка полученных изображений проводилась на рабочей станции Vitrea с построением цветовых карт и расчетом показателей ASL-перфузии. В аксиальной плоскости сканирования были выбраны три зоны интереса (ROI), аналогичные таковым при выполнении КУМРТ: 1 – в неизмененных участках мышц бедра, отме-

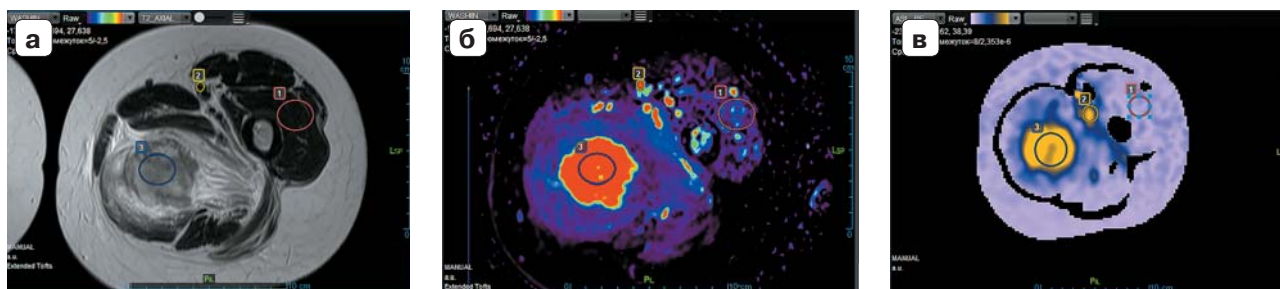
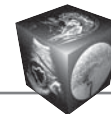


Рис. 1. Пациентка №1, аксиальные МР-изображения на уровне патологического новообразования. **а** – аксиальное T2ВИ с отображением зон интереса; **б** – ДКУ-MPT (карта “Wash-in”), где ткани с ранним интенсивным накоплением контрастного препарата картируются красным цветом; **в** – карта ASL-перфузии, где ткани с высокими скоростями артериального кровотока картируются желтым цветом.

Fig. 1. Patient No.1, axial MR images at the tumor plane. **a** – axial T2WI with mapping of areas of interest; **б** – DCE-MRI (“Wash-in” map), where tissues with early intensive accumulation of contrast agent were mapped in red color; **в** – ASL-perfusion map, where tissues with high velocities of arterial blood flow were mapped in yellow color.

чена красным цветом; 2 – в артериальном сосуде на уровне плоскости сканирования, отмечена желтым цветом; 3 – в тканях новообразования, отмечена синим цветом (рис. 1).

Показатели скорости кровотока в интактной мышечной ткани и в опухолевом образовании составили 0,023 и 0,287 мл /100 г/мин соответственно, что согласовывалось с данными ДКУМРТ и также подтверждало опухолевую природу выявленных изменений.

Пациент №2, возраст 58 лет. Поступил в многопрофильный стационар с жалобами на боль в области правого бедра при ходьбе. Травматический характер повреждения пациент отрицает. Для уточнения диагноза по направлению травматолога было выполнено мультипараметрическое МР-исследование мягких тканей бедра с внутривенным контрастным усилением. Исследование было проведено на МР-томографе производства Vantage Elan 1,5 Тл (Canon, Япония) с использованием встроенной катушки для спины и катушка

для тела. Данное МР-исследование было выполнено в рентгенодиагностическом отделении Центральной городской больницы №1 г. Королева (ГБУЗ МО “Королевская городская больница”). После получения информированного согласия пациента анонимизированные исходные данные МРТ были предоставлены заведующим отделением врачом-радиологом Соколовским А.А.

В задних отделах правого бедра визуализировалась зона изменения сигнальных характеристик мягких тканей в виде образования вытянутой формы (протяженностью около 20 см), по локализации соответствовавшая расположению полуперепончатой и полусухожильной мышц бедра. На основании изменений сигнальных характеристик на T1-, T2ВИ, изотропных ДВИ (b-фактор 1000 с/мм²) и ИКД-картах было высказано предположение о посттравматическом характере выявленных изменений с наличием геморрагических участков на разных стадиях формирования гематомы. Проведение ДКУМРТ показало, что показатели проницаемости (“Permiability”) в области выявленных изменений были значительно

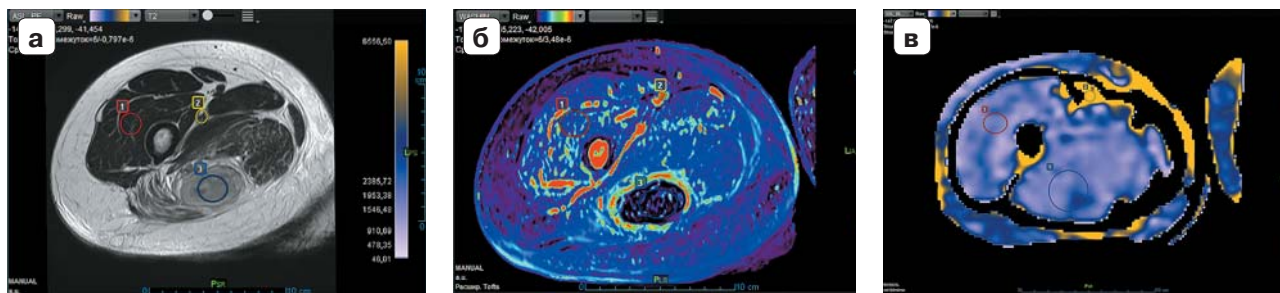


Рис. 2. Пациент №2, аксиальные МР-изображения на уровне посттравматических изменений. **а** – аксиальное T2ВИ с отображением зон интереса; **б** – ДКУ-MPT (карта “Wash-in”), где ткани с ранним интенсивным накоплением контрастного препарата картируются красным цветом; **в** – карта ASL-перфузии, где ткани с высокими скоростями артериального кровотока картируются желтым цветом.

Fig. 2. Patient No.2, axial MR images at the posttraumatic changes plane. **a** – axial T2WI with mapping of areas of interest; **б** – DCE-MRI (“Wash-in” map), where tissues with early intensive accumulation of contrast agent were mapped in red color; **в** – ASL-perfusion map, where tissues with high velocities of arterial blood flow were mapped in yellow color.



ниже (в 6–7 раз) по сравнению с неизменными мышцами бедра. Так же, как и в предыдущем наблюдении, в дальнейшем была дополнительно проведена постобработка полученных изображений на рабочей станции Vitrea с выполнением ASL-перфузии. В аксиальной плоскости сканирования были выбраны три зоны интереса (ROI): 1 – в неизменных участках мышц бедра, отмечена красным цветом; 2 – в артериальном сосуде на уровне плоскости сканирования, отмечена желтым цветом; 3 – в тканях новообразования, отмечена синим цветом (см. рис. 2).

Показатели скорости кровотока в здоровой ткани и патологически измененной приблизительно сопоставимы (0,045 и 0,033 мл/100 г/мин соответственно) и значительно ниже скорости кровотока в артериальном сосуде на уровне сканирования (0,381 мл/100 г/мин), что, как и результаты ДКУМРТ, свидетельствовало в пользу травматического характера выявленных изме-

нений (гематома). Положительная динамика при дальнейшем динамическом наблюдении подтвердила травматическую природу выявленных изменений.

Обсуждение

При сопоставлении МР-картины на аксиальных Т2ВИ было заметно сходство сигнальных характеристик патологических изменений в обоих наблюдениях (рис. 3).

На Т1ВИ в коронарной плоскости патологические изменения в обоих наблюдениях в целом были изоинтенсивны окружающим мышцам, однако у пациента №2 периферические отделы были отчетливо гиперинтенсивны в предполагаемом участке разрыва мышц и формирования гематомы (рис. 4).

Построение в обоих наблюдениях карты проницаемости (“K-trans”), напротив, выявило значи-

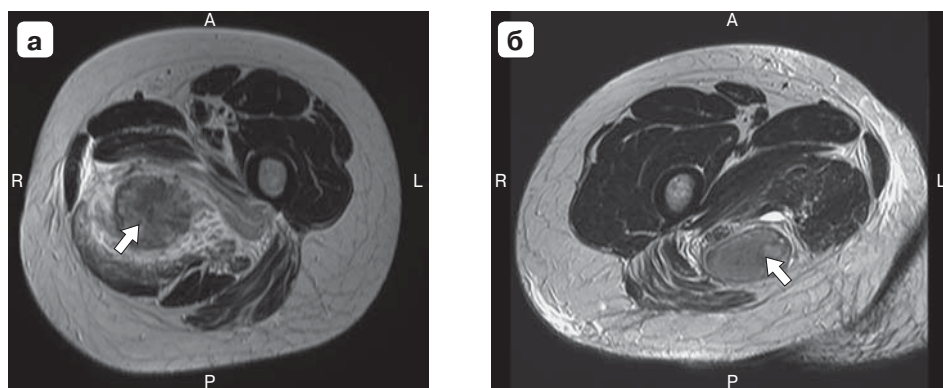


Рис. 3. Сравнительная МР-картина бедра на аксиальных Т2ВИ. **а** – МР-изображение пациентки №1 со злокачественным новообразованием (стрелка); **б** – МР-изображение пациента №2 с посттравматической гематомой (стрелка).

Fig. 3. Comparative MR images of the femur on axial T2WI. **a** – MRI of patient No.1, with soft tissue neoplasm (arrow); **б** – MRI of patient No.2 with posttraumatic hematoma (arrow).

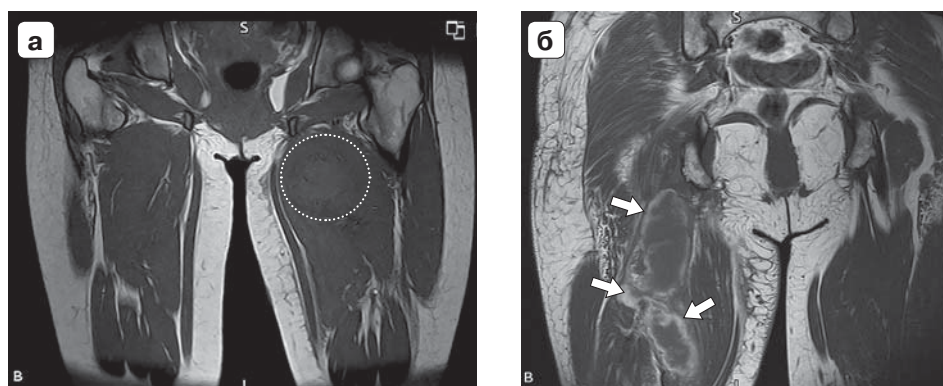


Рис. 4. Сравнительная МР-картина на коронарных Т1ВИ. **а** – МР-изображение пациентки №1 со злокачественным новообразованием левого бедра (зона образования обведена пунктирной линией); **б** – МР-изображение пациента №2 с посттравматической гематомой в мягких тканях бедра справа (стрелки).

Fig. 4. Comparative MR images on coronal T1WI. **a** – MRI of patient No. 1 with soft tissue neoplasm of the left femur (the mass is circled by a dotted line); **б** – MR image of patient No.2 with posttraumatic hematoma in the right femur soft tissues (arrows).

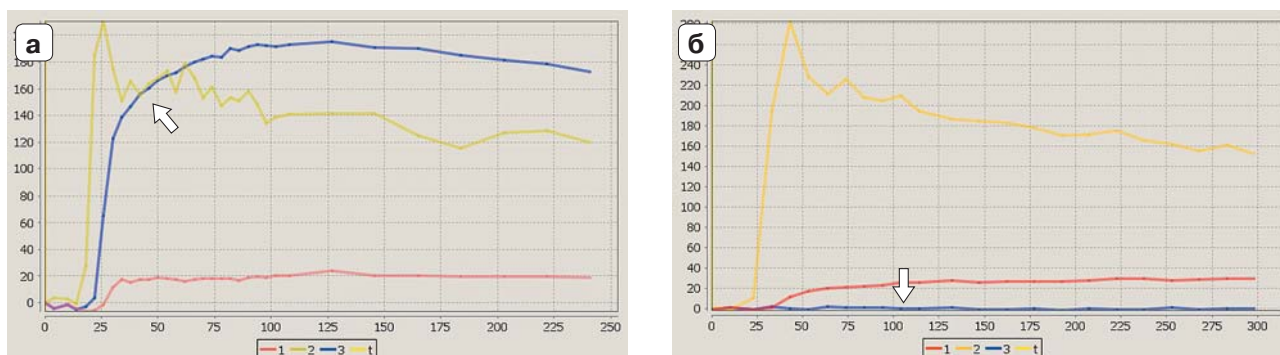
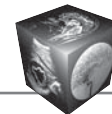


Рис. 5. Фармакокинетические кривые, построенные по картам “K-trans”, в зонах интереса. **а** – пациентка №1; **б** – пациент №2. Динамика контрастирования артериального сосуда – желтая кривая, в неизмененных мышцах бедра – красная, в зонах патологических изменений – синяя кривая (стрелки).

Fig. 5. Pharmacokinetic curves plotted by K-trans maps in the zones of interest. **a** – patient No. 1; **b** – patient No. 2. Dynamic contrast of the arterial vessels – yellow curves, normal hip muscles – red curves, pathological regions – blue curves (arrows).

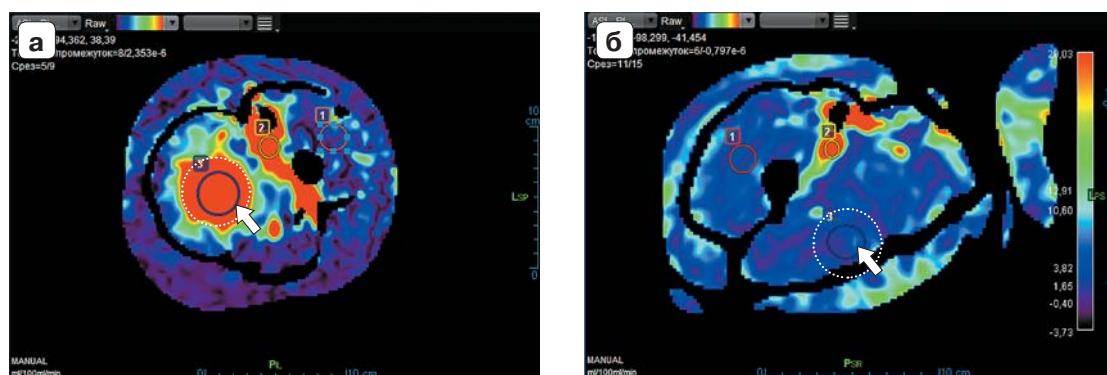


Рис. 6. Сравнение карт скорости кровотока (мл/100 г/мин) ASL-перфузии в областях патологических изменений в обоих наблюдениях (обведены пунктирной линией, ROI указаны стрелками). **а** – пациентка №1; **б** – пациент №2.

Fig. 6. Comparison of blood flow velocity maps (ml/100 g/min) of ASL-perfusion in the areas of pathologic changes in both observations (circled by dotted line, ROI are indicated by arrows). **a** – patient No. 1; **b** – patient No. 2.

тельные различия в характере контрастирования областей патологических изменений. Так, у пациентки №1 со злокачественным новообразованием отмечалось быстрое интенсивное накопление КП (сопоставимое с таковым в артериальном сосуде) с заметным последующим вымыванием (wash-out). А у пациента №2 накопление КП в области посттравматических изменений практически отсутствовало (рис. 5).

При сравнении карт скорости кровотока на основе ASL-перфузии также была наглядно видна и количественно подтверждалась разница в показателях артериального кровотока между здоровой тканью и пораженными участками (рис. 6).

Таким образом, дополнительная диагностическая информация о характере васкуляризации в областях патологических изменений, полученная при помощи бесконтрастной ASL-перфузии, была сходна с результатами выполненной в обоих наблюдениях ДКУМРТ.

Закключение

Представленные наблюдения демонстрируют возможность применения данных ASL-перфузии для дифференциальной диагностики ЗНО мягких тканей.

Участие авторов

Богомолов Д.Ю. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, анализ и интерпретация полученных данных, участие в научном дизайне, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Мозокина К.С. – анализ и интерпретация полученных данных, обзор публикаций по теме статьи, участие в научном дизайне, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

Мухаматуллина Э.З. – подготовка и редактирование текста, участие в научном дизайне, подготовка опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.



Капустин В.В. – концепция и дизайн исследования, обзор публикаций по теме статьи, написание текста, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи, утверждение окончательного варианта статьи.

Authors' participation

Bogomolov D.Y. – concept and design of the study, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, participation in scientific design, writing text, approval of the final version of the article.

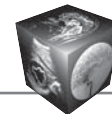
Mozokina K.S. – analysis and interpretation of the obtained data, review of publications, participation in scientific design, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

Mukhamatullina E.Z. – text preparation and editing, participation in scientific design, preparation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Kapustin V.V. – concept and design of the study, review of publications, writing text, creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article, approval of the final version of the article.

Список литературы [References]

1. Lin C.H., Hsieh, T.J., Chou Y.C., Chen C.K.H. Feasibility of Arterial Spin Labeling Magnetic Resonance Imaging for Musculoskeletal Tumors with Optimized Post-Labeling Delay. *Diagnostics*. 2022; 12: 2450. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12102450>
2. Barrett T., Brechbiel M., Bernardo M., Choyke P.L. MRI of tumor angiogenesis. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2007; 26: 235–249. <https://doi.org/10.1002/jmri.20991>
3. Sujana P., Skrok J., Fayad L.M. Review of dynamic contrast-enhanced MRI: Technical aspects and applications in the musculoskeletal system. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2018; 47: 875–890. <https://doi.org/10.1002/jmri.25810>
4. Ferréa J.C., Bannier E. Raoulta H. et al. Arterial spin labeling (ASL) perfusion: Techniques and clinical use. *Diagnostic Interventional. Imaging*. 2013; 94: 1211–1223.
5. Watts J.M., Whitlow C.T., Maldjian J.A. Clinical applications of arterial spin labeling. *NMR Biomed*. 2013; 26: 892–900. <https://doi.org/10.1002/nbm.2904>
6. Madhuranthakam A.J., Yuan Q., Pedrosa I. Quantitative Methods in Abdominal MRI: Perfusion Imaging. *Top Magn. Reson. Imaging*. 2017; 26 (6): 251–258. <https://doi.org/10.1097/RMR.0000000000000145>
7. Warmuth C., Gunther M., Zimmer C. Quantification of blood flow in brain tumors: Comparison of arterial spin labeling and dynamic susceptibility-weighted contrast-enhanced MR imaging. *Radiology*. 2003; 228: 523–532. <https://doi.org/10.1148/radiol.2282020409>
8. Duyn J.H., van Gelderen P., Talagala L., Koretsky A., de Zwart J.A. Technological advances in MRI measurement of brain perfusion. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2005; 22 (6): 751–753. <https://doi.org/10.1002/jmri.20450>
9. Kawashima M., Katada Y., Shukuya T. et al. MR perfusion imaging using the arterial spin labeling technique for breast cancer. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2012; 35: 436–440. <https://doi.org/10.1002/jmri.22882>
10. Li X., Metzger G.J. Feasibility of Measuring Prostate Perfusion with Arterial Spin Labeling *NMR Biomed*. 2013; 26 (1): 51–57. <https://doi.org/10.1002/nbm.2818>
11. Cai W., Li F., Wang J. et al. A comparison of arterial spin labeling perfusion MRI and DCE-MRI in human prostate cancer. *NMR Biomed*. 2014; 27 (7): 817–825. <https://doi.org/10.1002/nbm.3124>
12. Fujima N., Kudo K., Tsukahara A. et al. Measurement of tumor blood flow in head and neck squamous cell carcinoma by pseudo-continuous arterial spin labeling: Comparison with dynamic contrast-enhanced MRI. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2015; 41 (4): 983–991. <https://doi.org/10.1002/jmri.24885>
13. Winter J.D., St Lawrence K.S., Cheng, H.L. Quantification of renal perfusion: Comparison of arterial spin labeling and dynamic contrast-enhanced MRI. *J. Magn. Reson. Imaging*. 2011; 34 (3): 608–615. <https://doi.org/10.1002/jmri.22660>
14. Nery F., Buchanan C.E., Hartevelde A.A. et al. Consensus-based technical recommendations for clinical translation of renal ASL MRI. *Magnetic Resonance Materials in Phys., Biol. and Med*. 2020; 33: 141–161. <https://doi.org/10.1007/s10334-019-00800-z>
15. Englund E.K., Rodgers Z.B., Langham M.C. et al. Measurement of Skeletal Muscle Perfusion Dynamics With Pseudo-Continuous Arterial Spin Labeling (pCASL): Assessment of Relative Labeling Efficiency at Rest and During Hyperemia, and Comparison to Pulsed Arterial Spin Labeling (PASL). *Magn. Reson. Imaging*. 2016; 44 (4): 929–939. <https://doi.org/10.1002/jmri.25247>
16. Baligand C., Hirschler L., Veeger T.T.J. et al. A split-label design for simultaneous measurements of perfusion in distant slices by pulsed arterial spin labeling. *Magn. Reson. Med*. 2021; 86: 2441–2453.
17. Xu L., Xu L., Zhu H. Evaluation of three-dimensional arterial spin labeling perfusion imaging for the pathological investigation of musculoskeletal tumors. *Exp. Ther. Med*. 2018; 15 (6): 5029–5034. <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6030>
18. Lin C.H., Hsieh, T.J., Chou Y.C., Chen C.K.H. Feasibility of Arterial Spin Labeling Magnetic Resonance Imaging for Musculoskeletal Tumors with Optimized Post-Labeling Delay. *Diagnostics*. 2022; 12 (10): 2450. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12102450>



Для корреспонденции*: Капустин Владимир Викторович – e-mail: wwkapustin@yandex.ru

Богомолов Даниил Юрьевич – главный специалист по применению медицинского оборудования ООО “АрПи Канон Медикал Системз”, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-3897-7267>

Мозокина Ксения Сергеевна – специалист по применению медицинского оборудования ООО “АрПи Канон Медикал Системз”, Москва. <https://orcid.org/0009-0009-6665-7148>

Мухаматуллина Эльвира Зилауровна – руководитель отдела применения медицинского оборудования ООО “АрПи Канон Медикал Системз”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-2770-2200>

Капустин Владимир Викторович – доктор мед. наук, доцент, профессор кафедры лучевой диагностики ФГБОУ ВО “Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова” Минздрава России; руководитель отдела научно-практического сотрудничества ООО “АрПи Канон Медикал Системз”, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-3771-1354>

Contact*: Vladimir V. Kapustin – e-mail: wwkapustin@yandex.ru

Daniil Y. Bogomolov – M.D., Key Application Specialist of Application Department of RP Canon Medical Systems, LLC, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-3897-7267>

Ksenia S. Mozokina – M.D. Application Specialist of Application Department of RP Canon Medical Systems, LLC, Moscow. <https://orcid.org/0009-0009-6665-7148>

Elvira Z. Mukhamatullina – M.D., Head of Application Department of RP Canon Medical Systems, LLC, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-2770-2200>

Vladimir V. Kapustin – Doct. of Sci. (Med.), Assistant Professor, Professor, Division of Radiology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry; Head of Scientific and Practical Collaboration Department of RP Canon Medical Systems, LLC, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-3771-1354>