



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья.

УДК 616.72-018.3

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-2-24-32>

Роль высокоразрешающей магнитно-резонансной томографии на разных стадиях субхондрального перелома недостаточности в коленном суставе

А. П. Иванков*,¹, П. В. Селиверстов²

¹ ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 1»

² ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»

Реферат

История субхондрального перелома недостаточности коленного сустава тесно связана с ранее существующим диагнозом — спонтанный остеонекроз (SONK). Ранее считалось, что субхондральные линейные или полулунные патологические изменения на магнитно-резонансных томограммах у пожилых пациентов с остеопорозом являются результатом произошедшего спонтанного остеонекроза, но позднее было установлено, что небольшая часть пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости первоначально имеют перелом недостаточности, осложнившийся затем вторичным остеонекрозом. Основными методами диагностики субхондрального перелома недостаточности являются рентгенография и магнитно-резонансная томография. Магнитно-резонансная томография продемонстрировала высокую информативность при субхондральном переломе недостаточности коленного сустава.

Ключевые слова: субхондральный перелом недостаточности, магнитно-резонансная томография, стрессовые переломы, спонтанный остеонекроз.

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-

* **Иванков Александр Петрович**, врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 1».

Адрес: 664053, г. Иркутск, ул. Баумана, д. 216/1, кв. 10.

Тел: + 7 (924) 606-30-93. Электронная почта: ivankovap16@gmail.com

ORCID.org/0000-0002-2383-6359

Ivankov Aleksandr Petrovich, Radiologist of MRI Department Regional State Institution of Healthcare «Irkutsk City Clinical Hospital No. 1».

Address: 216/1-10, ul. Bauman, 664046, Irkutsk, Russia.

Phone number: + 7 (924) 606-30-93. E-mail: ivankovap16@gmail.com

ORCID.org/0000-0002-2383-6359

© А. П. Иванков, П. В. Селиверстов.

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.

The Role of high-resolution Magnetic Resonance Imaging at Different Stages of Subchondral Insufficiency Fracture in the Knee

A. P. Ivankov¹, P. V. Seliverstov²

¹ Regional State Institution of Healthcare «Irkutsk City Clinical Hospital No. 1», Russia

² Federal State Scientific Institution «Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology», Russia

Abstract

The history of subchondral insufficiency fracture of knee is closely related to a pre-existing diagnosis of spontaneous osteonecrosis (SONK). Previously, it was believed that subchondral linear or lunate pathological changes on magnetic resonance imaging in elderly patients with osteoporosis are the result of spontaneous osteonecrosis that has occurred, but it was later found that a small proportion of patients with osteonecrosis of the femoral head initially have a failure fracture, then complicated by secondary osteonecrosis. The main methods for diagnosing subchondral insufficiency fracture are radiography and magnetic resonance imaging. Magnetic resonance imaging has demonstrated high information content in subchondral insufficiency fracture of knee.

Key words: Subchondral Insufficiency Fracture, Magnetic Resonance Imaging, Stress Fractures, Spontaneous Osteonecrosis, Radiotherapy, Multi Fractioning.

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

Субхондральный перелом недостаточности (СПН) — это новый тип стрессового перелома, возникающий обычно у лиц старше 50–55 лет при обычной

(нормальной) повторяющейся нагрузке на сустав [4].

Причина данного перелома в сниженной прочности трабекул субхондрального

костного мозга опорных отделов какого-либо мыщелка коленного сустава, чаще медиального мыщелка [4, 7].

Этиология субхондрального перелома недостаточности не до конца выяснена и часто связана с нарушениями костной минеральной плотности (остеопороз, остеопения), но часть пациентов имеют нормальные цифры Т-критерия по данным остеоденситометрии [8].

История диагноза перелома недостаточности связана с тем, что в ряде случаев исследователи во главе с Т. Yamamoto (2000) [12] обнаружили неклассическую диагностическую картину при подозрении на остеонекроз головки бедренной кости, что впоследствии оказалось переломом недостаточности. И последующие исследования Т. Yamamoto et al. (2000, 2008) показали, что в коленном суставе у пациентов с предполагаемым диагнозом «спонтанный остеонекроз» первичным был именно перелом недостаточности, который возникал за счет ослабления трабекул в субхондральном отделе кости, а остеонекроз был вторичным и необязательным процессом [12–14].

Необходимо отметить, что на начальных стадиях перелома недостаточности процесс, при правильном ведении пациента, не осложняется, а остеонекроз и субхондральный коллапс (уплощение суставной поверхности) вторичны и, по сути, являются осложнением собственно перелома недостаточности. Поэтому ведущая роль отдается ранней диагностике данного типа перелома [6].

Осложнения субхондрального перелома недостаточности влекут за собой возникновение вторичного остеоартроза с последующей инвалидизацией пациента [5, 6].

Основными методами ранней диагностики субхондрального перелома недостаточности являются первичная рентгенография и магнитно-резонансная томография (МРТ) [3].

Рентгенография коленного сустава имеет ограниченные возможности, так как не позволяет четко визуализировать отек и зону субхондрального перелома на ранней и развернутой стадиях процесса, а лишь способна визуализировать стадию осложнений перелома [3].

В данном случае магнитно-резонансная томография является методом выбора, так как имеет большие возможности в оценке состояния как костной, так и мягких тканей сустава и позволяет визуализировать все признаки стрессового перелома недостаточности в различные его стадии, в том числе ранней [3, 5, 6].

Цель: определение роли и эффективности магнитно-резонансной томографии при субхондральном переломе недостаточности в коленном суставе.

МРТ-семиотика субхондрального перелома недостаточности

Диагностические МРТ-критерии субхондрального перелома недостаточности включают: диффузный отек костного мозга пораженного мыщелка сустава [5, 6] (рис. 1), гипоинтенсивную линию перелома на Т1-взвешенных изображениях (Т1-ВИ) и жидкость-чувствительных режимах (Т2- и PD-ВИ с жироподавлением — FS) (рис. 2), гипоинтенсивное на Т1-ВИ и PD-FS-ВИ (Т2-FS-ВИ) утолщение в зоне кортикального слоя кости, соответствующее склерозу, грануляционной ткани и костной мозоли (рис. 3).

При наличии осложнений субхондрального перелома в виде вторичного остеонекроза имеется риск последую-

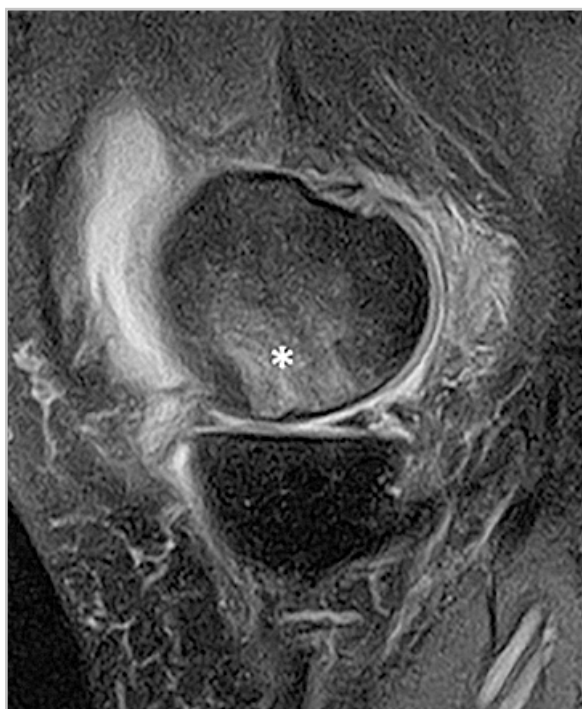


Рис. 1. МР-томограмма (PD-FS-ВИ). Субхондральный отек при переломе недостаточности (звездочка)

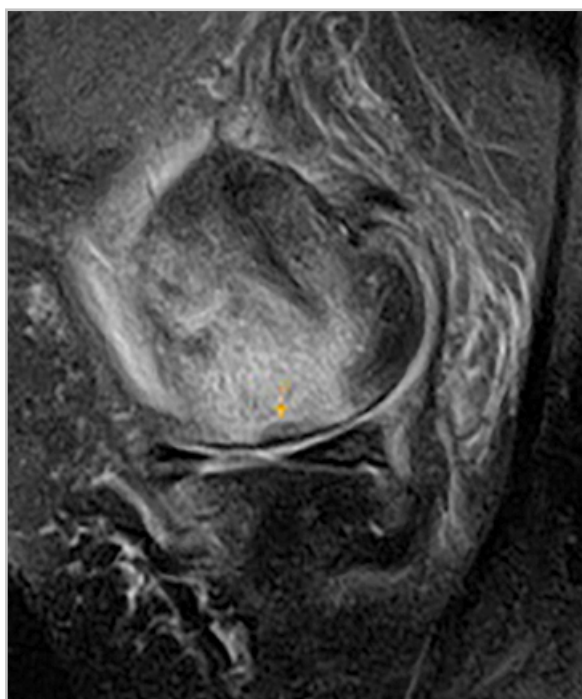


Рис. 2. МР-томограмма (PD-FS-ВИ). Субхондральный перелом недостаточности. Линия перелома (указана стрелкой)

щего разрушения трабекул с исходом в коллапс (уплощение) суставной поверхности пораженного мыщелка сустава. Зона вторичного остеонекроза на жидкость-чувствительных томограммах PD-FS-ВИ (T2-FS-ВИ) визуализируется как участок повышения сигнала в зоне между линией перелома и субхондральным кортикальным слоем кости [5] (рис. 4). Субхондральный коллапс (уплощение) пораженной суставной поверхности в зоне перелома выглядит как участок импрессионной деформации суставной поверхности (рис. 5).

Материалы и методы

Было обследовано 35 пациентов с субхондральным переломом недостаточности коленного сустава на разных стадиях процесса.

С целью клинического контроля диагноза пациентам выполнялось контрольное МРТ через 2 мес с повторной

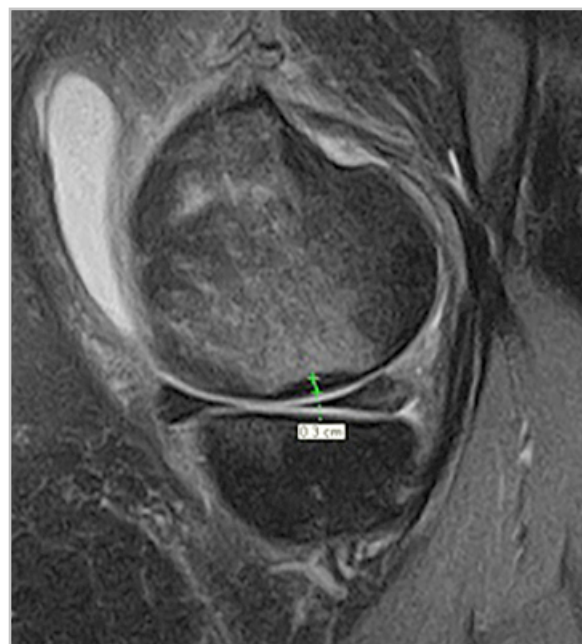


Рис. 3. МР-томограмма (PD-FS-ВИ). Гипоинтенсивное «утолщение» при переломе недостаточности (измерено)

консультацией травматолога-ортопеда. МР-исследование было проведено на томографе 1,5 Тл (Toshiba) с использованием стандартной коленной катушки.

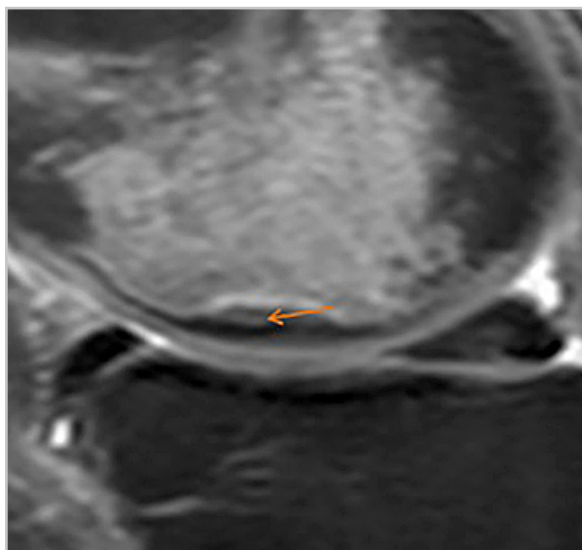


Рис. 4. МР-томограмма. Зона вторичного остеонекроза в виде участка повышения сигнала на PD-FS-BI (указана стрелкой)

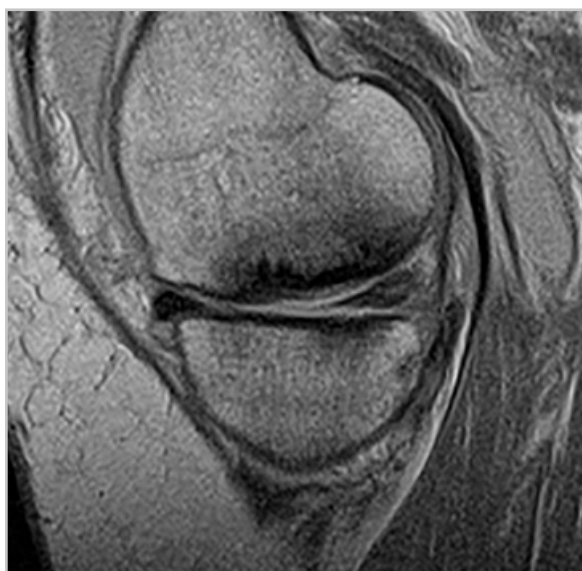


Рис. 5. МР-томограмма (PD-BI). Субхондральный коллапс при субхондральном переломе недостаточности. Визуализируются зона импрессии суставной поверхности и выраженные субхондральные склеротические изменения

Параметры и режимы сканирования: PD-BI, PD-FS-BI, T1-BI, в коронарной, сагитальной и аксиальной плоскостях, матрица изображений 288×384 , поле обзора 15 см. У 11 пациентов была обнаружена ранняя стадия субхондрального перелома (до 3 суток от начала заболевания), 14 пациентов имели развернутую стадию заболевания, 10 пациентов — стадию осложнений. Соотношение мужчин и женщин было почти равным — 47,0 % мужчин и 53,0 % женщин. Средний возраст исследуемых пациентов 61,5 года (от 51 до 82 лет). По формулам были вычислены чувствительность, специфичность и общая точность метода МРТ на ранней стадии, развернутой стадии и стадии осложнений. Формулы расчета следующие:

$$\text{чувствительность (Se)} - \text{Se} = \frac{PS}{PS + NS},$$

$$\text{специфичность (Sp)} - \text{Sp} = \frac{NH}{NH + PH},$$

$$\text{точность (Ac)} - \text{Ac} = \frac{PS + NH}{PS + NH + PH + NS},$$

где PS — истинно положительные результаты; PH — ложноположительные результаты; NH — истинно отрицательные результаты; NS — ложноотрицательные результаты.

Результаты и их обсуждение

Самой распространенной локализацией перелома недостаточности в коленном суставе являлся медиальный мыщелок бедренной кости (74 %), на втором месте по частоте встречаемости — латеральный мыщелок бедренной кости (14 %). В медиальных отделах тибияльного плато локализовались 8,1 % поражений, и

только 3,9 % локализовались в латеральных отделах тибиаляного плато.

Локализация переломов недостаточности была преимущественно центральной (на коронарных сканах) — 78,4 %, в периферических отделах у 21,6 % пациентов.

На сагиттальных МР-томограммах зона перелома локализовалась также преимущественно центрально (средняя треть мыщелка) — 80,2 %, в 18,3 % — в задних отделах мыщелка и только 1,5 % — в передней трети мыщелка (табл. 1).

При переломах недостаточности у пациентов в 100,0 % случаев был обнаружен синовит и в 89,0 % — перифокальный отек окружающих мягких тканей. Довольно часто перелом недостаточности сочетался с разрывом мениска, в наших наблюдениях 84,4 % пациентов имели разрыв прилежащего мениска, чаще медиального (79,8 %), реже латерального (20,2 %). Зона хондромалиции прилежащей суставной поверхности

была обнаружена у 94,9 % пациентов (табл. 2).

Информативность МРТ-исследования складывалась из расчета чувствительности, специфичности и точности метода на трех этапах: ранней стадии, развернутой стадии и на стадии осложнений субхондрального перелома недостаточности (СПН). Были получены следующие результаты (табл. 3).

На ранней стадии, при наличии субхондрального отека и формирования линии перелома, МРТ-метод продемонстрировал высокую чувствительность и 100 % специфичность с довольно высокой общей точностью — 81 %.

В развернутую стадию у одного пациента был выявлен ложноположительный результат, когда вместо деформирующего остеоартроза был диагностирован перелом недостаточности, следовательно, специфичность составила только 50 %. Тем не менее чувствительность и точность на данной стадии перелома имели высокие показатели.

Таблица 1

Локализация перелома недостаточности по отделам мыщелков (n = 35)

Проекция	Передние отделы мыщелка, %	Центральные отделы мыщелка, %	Задние отделы мыщелка, %
Сагиттальная	1,5	80,2	18,3
Коронарная	9,1	78,4	12,5

Таблица 2

Частота сопутствующей патологии в нашей выборке (n = 35)

Патология коленного сустава	Частота, %
Синовит	100,0
Отек мягких тканей	89,0
Разрыв мениска	84,4
Хондромалиция	94,9

Таблица 3

Информативность метода МРТ на разных стадиях СПН

Критерии	Ранняя стадия, %	Развернутая стадия, %	Стадия осложнений, %
Чувствительность	90,0	91,6	100,0
Специфичность	100,0	50,0	50,0
Точность	81,0	85,0	90,0

На стадии осложнений у одного пациента был ложноположительный результат в связи с тем, что субхондральный коллапс пораженного мыщелка может быть исходом остеоартроза или острого импрессионного перелома. Поэтому специфичность метода МРТ в стадию осложнений не столь высокая. Однако чувствительность и точность на данной стадии также были высокими.

Таким образом, метод магнитно-резонансной томографии демонстрирует высокие цифры информативности на разных стадиях субхондрального перелома недостаточности коленного сустава.

Заключение

Субхондральный стрессовый перелом недостаточности коленного сустава — актуальная медицинская проблема, которая требует качественной ранней диагностики. Методом выбора при субхондральном переломе недостаточности является высокоразрешающая магнитно-резонансная томография коленного сустава, которая демонстрирует высокие показатели чувствительности и общей точности. Субхондральный перелом недостаточности часто сочетается с хондромалицией суставной поверхности пораженного мыщелка и разрывом прилежащего мениска. Таким образом, необходимо проведение дальнейших исследований данной ме-

дицинской проблемы для более углубленного ее изучения.

Список литературы / References

1. Allam E., Boychev G., Aiyedipe S., Morrison W., Roedl J., Singer A. et al. Subchondral insufficiency fracture of the knee: unicompartmental correlation to meniscal pathology and degree of chondrosis by MRI. *Skeletal Radiology*. 2021; 50(11):2185–2194. doi: 10.1007/s00256-021-03777-w
2. Barras L., Pareek A., Parkes C., Song B., Camp C., Saris D. et al. Post-arthroscopic Subchondral Insufficiency Fractures of the Knee Yield High Rate of Conversion to Arthroplasty. *Arthroscopy*. 2021; 37(8):2545–2553. doi: 10.1016/j.arthro.2021.03.029
3. Bencardino J., Stone T., Shah N., Small K., Weissman B. ACR Appropriateness Criteria Stress (Fatigue/Insufficiency) Fracture, Including Sacrum, Excluding Other Vertebrae. *JACR*. 2017; 14–5. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2017.02.035>
4. Gaillard F., Saber M. Subchondral insufficiency fracture of the knee. Reference article, *Radiopaedia.org*. 2021. <https://doi.org/10.53347/rID-2079>
5. Gorbachova T., Melenevsky Y., Cohen M., Cerniglia B. Osteochondral Lesions of the Knee: Differentiating the Most Common Entities at MRI. *RadioGraphics*; 2018; 38:1478–1495. <https://doi.org/10.1148/rg.2018180044>

6. *Lee S., Saifuddin A.* Magnetic resonance imaging of subchondral insufficiency fractures of the lower limb. *Skeletal Radiology*. 2018; 48:1011–1021. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-3160-4>
7. *Nicoletti D.* Subchondral insufficiency fracture — knee. Case study, *Radiopaedia.org*. 2021; <https://radiopaedia.org/cases/67293>
8. *Nelson F., Craig J., Francois H., Azuh O., Oyetakin-White P., King B.* Subchondral insufficiency fractures and spontaneous osteonecrosis of the knee may not be related to osteoporosis. *Arch. Osteoporos*. 2014; 9:194. doi: 10.1007/s11657-014-0194-z
9. *Ohtsuru T., Yamamoto T., Murata Y., Morita Y., Munakata Y., Kato Y. et al.* Incidence of osteonecrosis and insufficiency fracture of the hip and knee joints based on MRI in 300 renal transplant patients. *Hip International*. 2018; <https://doi.org/10.1177/1120700018808693>
10. *Pareek A., Parkes C., Bernard C., Camp C., Saris D., Stuart M. et al.* Spontaneous Osteonecrosis/Subchondral Insufficiency Fractures of the Knee High Rates of Conversion to Surgical Treatment and Arthroplasty. *J. of Bone and Joint Surgery*. 2020. doi:10.2106/JBJS.19.00381
11. *Weerakkody Y., Deng F.* Subchondral insufficiency fracture. Reference article, *Radiopaedia.org*. 2021. <https://radiopaedia.org/articles/65145>
12. *Yamamoto T., Schneider R., Bullough P. G.* Insufficiency subchondral fracture of the femoral head. *Am. J. Surgery Pathology*. 2000; 24(3):464-8. doi: 10.1097/00000478-200003000-00017
13. *Yamamoto T., Bullough P. G.* Spontaneous osteonecrosis of the knee: the result of subchondral insufficiency fracture. *J. Bone Joint Surgery Am*. 2000; 82(6):858–66. doi: 10.2106/00004623-200006000-00013
14. *Yamamoto T., Iwamoto Y., Schneider R., Bullough P. G.* Histopathological prevalence of subchondral insufficiency fracture of the femoral head. *Annals Rheumatology Diseases*. 2008; 67(2):150–3. doi: 10.1136/ard.2006.066878

Сведения об авторах

Иванков Александр Петрович, врач-рентгенолог кабинета магнитно-резонансной томографии ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 1».

Адрес: 664053, г. Иркутск, ул. Баумана, д. 216/1, кв. 10.

Тел: + 7 (924) 606-30-93. Электронная почта: ivankovap16@gmail.com

ORCID.org/0000-0002-2383-6359

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

Ivankov Aleksandr Petrovich, Radiologist of MRI Department Regional State Institution of Healthcare «Irkutsk City Clinical Hospital No. 1».

Address: 216/1-10, ul. Bauman, 664046, Irkutsk, Russia.

Phone number: + 7 (924) 606-30-93. E-mail: ivankovap16@gmail.com

ORCID.org/0000-0002-2383-6359

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

Селиверстов Павел Владимирович, доктор медицинских наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», заведующий лабораторией лучевой диагностики НКО нейрохирургии.

Адрес: 664046, Иркутск, бульвар Постышева, 18А-2.
Тел: + 7 (902) 511-75-79. Электронная почта: pavv2001@mail.ru
ORCID.org/0000-0002-4050-9157

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

Seliverstov Pavel Vladimirovich, M. D. Med. Sciences', Senior Researcher Laboratory Radiology NCO neurosurgery Federal State Scientific Institution «Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology».

Address: 18A-2, b. Postyshev, 664046, Irkutsk, Russia.

Phone number: + 7 (902) 511-75-79. E-mail: pavv2001@mail.ru

ORCID.org/0000-0002-4050-9157

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

Дата поступления статьи в редакцию издания: 08.11.2021 г.

Дата одобрения после рецензирования: 21.11.2021 г.

Дата принятия статьи к публикации: 21.11.2021 г.