

УДК 616-001+617.3

3.1.8 Травматология и ортопедия

DOI: 10.37903/vsgma.2025.3.16 EDN: KIMXVW

**ПРИМЕНЕНИЕ ИМПЛАНТОВ ИЗ МАГНИЕВЫХ БИОРЕЗОРБИРУЕМЫХ СПЛАВОВ
В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ****© Семенистый М.Н.^{1, 5}, Очкуренко А.А.^{1, 4}, Овсянкин А.В.^{2, 3}, Семенистая О.А.⁵,
Османов Д.И.⁶, Захарин Р.Г.², Ефременко Д.Н.²**¹Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10²Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Россия, 214019, Смоленск, пр-т Строителей, 29³Смоленский государственный медицинский университет, Россия, 214019, Смоленск, ул. Крупской, 28⁴Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Россия, 125993, Москва, ул. Баррикадная, 2/1⁵Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова ДЗМ, Россия, 123001, Москва, ул. Садовая-Кудринская, 15⁶Российский университет медицины, Россия, 127994, Москва, пер. Рахмановский, 3*Резюме*

Цель. Изучить и проанализировать актуальные данные о современных магниевых фиксаторах, оценить преимущества их клинического применения, выявить риски и проблемы при использовании в ортопедии и травматологии.

Методика. Обзор подготовлен с использованием баз литературных сведений elibrary.ru, GoogleScholar и PubMed. Литературный обзор представляет собой несистематический анализ.

Результаты. Для снижения послеоперационных осложнений широко применяются различные импланты, состоящие из биорезорбируемых материалов. В современной травматологии и ортопедии магниевые металлофиксаторы применяются наряду с классическими фиксирующими системами из полимерных и керамических материалов.

Заключение. В проанализированных источниках описаны технические, биохимические и биофизиологические аспекты применения магниевых фиксаторов в клинической практике.

Ключевые слова: биорезорбируемые фиксаторы, магниевые металлофиксаторы, магниевые винты

**THE USE OF IMPLANTS MADE OF MAGNESIUM BIORESORBABLE ALLOYS
IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS. LITERATURE REVIEW****Semenisty M.N.^{1, 5}, Ochurenko A.A.^{1, 4}, Ovsyankin A.V.^{2, 3}, Semenistaya O.A.⁵, Osmanov D.I.⁶, Zakharin R.G.², Efremenko D.N.²**¹N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, 10, Priorova St., 127299, Moscow, Russia²Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, 29, Stroiteley ave., 214031, Smolensk, Russia³Smolensk State Medical University, 28, Krupskoy St., 214019, Smolensk, Russia⁴Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 2/1, Barrikadnaya St., building 1, 125993, Moscow, Russia⁵N.F. Filatov Children's City Clinical Hospital, 15, Sadovaya-Kudrinskaya St., 123001, Moscow, Russia⁶Russian University of Medicine, 3, Rakhmanovsky lane, 127994, Moscow, Russia*Abstract*

Objective. The aim of the study was to assess and analyze current data on modern magnesium fixators, evaluate the advantages of their clinical use, identify risks and problems when used in Orthopedics and Traumatology.

Methods. The review was prepared using publication databases elibrary.ru, Google Scholar and PubMed. This literature review is not a systematic analysis.

Results. Various implants consisting of bioresorbable materials are widely used to reduce postoperative complications. In modern traumatology and orthopedics, magnesium metal fixators are applied along with classical fixing systems made of polymer and ceramic materials.

Conclusion. The analyzed sources describe technical, biochemical and physiological aspects of the use of magnesium fixators in clinical practice.

Keywords: bioresorbable fixators, magnesium metal fixators, magnesium screws

Введение

В современной травматологии и ортопедии применяется множество имплантов, направленных на фиксацию костных структур при остеосинтезе переломов или ортопедических остеотомиях. Наиболее классическими являются фиксаторы из стали или титановых сплавов. Однако, удаление таких фиксирующих компонентов требует повторного оперативного вмешательства, что приводит к риску инфекционных осложнений, увеличивает срок лечения и реабилитации пациента. Исходя из прочностных характеристик, такие имплантаты имеют совершенно отличные от нативной кости механические показатели плотности и упругости, что приводит к шунтированию нагрузок и нарушению биологических процессов. Как следствие – происходит потеря костной массы в зоне имплантации и формируется риск вторичного перелома [12, 23]. Стоит отметить, что при износе металлофиксатора в зоне перелома происходит процесс коррозии, что сопровождается высвобождением токсинов и микрочастиц из имплантата и как итог – воспалительный остеолитиз зоны перелома [1, 18]. Кроме того, применение имплантов из титана, стали, кобальта или хрома существенно затрудняет выполнение магнитно – резонансной томографии в этой зоне [3, 12, 19, 25]. Решением этой проблемы является применение имплантов из резорбируемых материалов, которые не требуют удаления после консолидации костных структур. На сегодняшний день, биорезорбируемые импланты представлены в виде полимерных материалов и сплавов на основе магния или цинка. Подавляющее большинство биоабсорбируемых фиксаторов, выполнены из поли-L-лактида (PLA), полигликолида (PGA), полидиоксанона (PDO) или их производных и сополимеров [21, 28]. Полимерные фиксаторы могут не обладать необходимой механической прочностью, в то время как фиксирующие элементы из магния обладают необходимым прочностным запасом [8, 11, 19, 36]. Впервые клиническое применение биоразлагаемых имплантов было описано в начале XX в. В период 1980-х годов были описаны критерии для биорезорбируемых имплантов: 1) резорбируемый имплантат должен обладать необходимыми прочностными качествами для начальной фиксации структур; 2) биоабсорбируемый профиль импланта должен сохранять механическую прочность на всем периоде консолидации и реструктуризации зоны применения; 3) фиксатор должен резорбироваться с достаточной скоростью, в ином случае – он будет аналогичен классическому и подвержен деструкции и миграции, наиболее оптимальный срок для сохранения механической прочности – 12 недель [2, 31]; 4) безопасность материала изготовления: не иметь канцерогенности, токсичности, пирогенности или антигенного качества [9].

Таким образом, применение биорезорбируемых фиксаторов (а именно из сплавов на основе магния) в широкой практике позволило потенциально снизить риск инфекционных осложнений [3, 9].

Цель исследования – изучить и проанализировать актуальные данные о современных магниевых фиксаторах, оценить преимущества их клинического применения, выявить риски и проблемы при использовании в ортопедии и травматологии.

Методика

Поиск и отбор источников проведён с использованием баз данных медицинской литературы и поисковых ресурсов elibrary.ru, PubMed (MEDLINE), GoogleScholar по следующим ключевым словам: «биорезорбируемые импланты», «импланты из магниевых сплавов», «магниевые металлофиксаторы». Критериями включения: рандомизированные исследования, клинические случаи, систематические обзоры и метаанализ. Критерии исключения: статьи без полнотекстового представления, дублирующиеся публикации.

Биохимия и физиология. Первое описание применения имплантов из магния датируется 1906 г., когда А. Lambotte провел остеосинтез при помощи магниевой пластины и фиксирующих компонентов из стали. На восьмой день эксперимента было проведено удаление частей резорбированной пластины. Следующим этапом А. Lambotte приступил к проведению подобного опыта на животных. Он обнаружил тотальную резорбцию имплантата через 8-10 месяцев с момента фиксации [1].

В 2013 г. были клинически протестированы и одобрены к применению более чем в 20 странах импланты из сплава магния MgYREZr, производства MAGNEZIX® CS (Syntellix AG, Ганновер, Германия). Был разработан и протестирован компрессионный винт диаметром 3,2 мм и длиной от 10 до 40 мм с шагом в 2 мм (рис.) [3].

Основным элементом сплава является магний, который присутствует естественным образом в организме, принимает непосредственное участие в костном метаболизме, не обладает токсичностью, при этом высвобождение ионов магния (Mg^{2+}) не приводит к побочным эффектам [12, 15, 20]. Также стоит отметить, что магний обладает достаточной механической прочностью для соответствия критериям биорезорбируемых материалов, указанных выше. Кроме того, при резорбции металлофиксатора не происходит воспалительной реакции на инородное тело, не формируются кисты и процесс остеолиза также не наблюдался [5, 22, 28]. Сплав MgYREZr по механическим характеристикам близок к нативной кортикальной костной ткани. Удельная плотность составила 1,74 г/см³, а модуль упругости 41-45 ГПа, при этом удельная плотность кортикальной костной ткани составила 2,1 г/см³ а модуль Юнга 10-40 ГПа [12, 22].

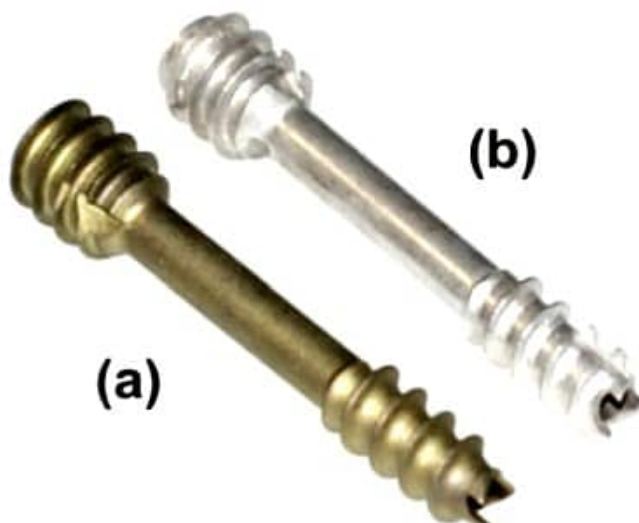


Рис. Компрессионные винты Герберта: а – из титанового сплава (Königsee Implantate GmbH, AmSand 4, 07426 Allendorf, Germany); б – из сплава MgYREZr (Syntellix AG Schiffgraben 11, 30159 Hannover, Germany) [36]

Таким образом, магний и сплавы на его основе являются наиболее перспективными материалами имплантатов для временной фиксации ввиду превосходной биоразлагаемости, биосовместимости и механической совместимости с костной тканью [12, 26, 38]. Ряд публикаций описывают остеоиндуктивную функцию магниевых фиксаторов ввиду идентичных показателей плотности и упругости [4, 19, 36].

Проблемы и решение. Несмотря на вышеописанные преимущества, магниевые имплантаты имеют ряд недостатков.

1. Ввиду высокой скорости резорбции и появления точечной коррозии потеря прочностных механических характеристик происходит слишком быстро. Это приводит к формированию зон высокого напряжения в области имплантации фиксатора. Таким образом, имплантат подвергается деструкции раньше, чем консолидируется костная ткань [7, 12, 16].
2. Биорезорбция магния сопровождается выделением водорода, который неизбежно скапливается в мягких тканях вокруг имплантированного фиксатора. Доказано, что 1 грамм магния способен генерировать до 1 литра газа при своей коррозии. Это может привести к замедленному

заживлению мягких тканей вокруг имплантата и как следствие – к некротическим изменениям. На сегодняшний день эта проблема остается нерешенной [2, 12, 13, 17, 21, 27, 29, 37].

3. Биodeградация магниевого сплава происходит путем ферментативного гидролиза (в отличие от полимерного имплантата, которые резорбируются на мономеры и в итоге удаляются из организма в виде углекислого газа и воды). [21] В области коррозии имплантата формируется участок повышения pH (защелачивания), который так же негативно влияет на заживление мягких тканей [12, 21, 24, 30].

Для улучшения характеристик имплантов и решения вышеуказанных проблем предложен ряд методик по улучшению процесса изготовления материала, совершенствованию процесса обработки и покрытия готовых изделий. Эти мероприятия позволили добиться более контролируемой коррозии имплантата и как следствие – оптимизации срока резорбции. Последующие исследования выявили, что до 10% от массы фиксатора корродируют имплантата в срок до 6 недель, при этом срок тотальной деградации имплантов на животных составляет около 1 года [3, 6, 34, 35]. В ряде литературных источников описаны единичные клинические случаи, подтверждающие остеогенную функцию магния. В частности, в зоне резорбции имплантата формируется благоприятная среда (биомиметическая матрица), которая инициирует процесс формирования костной ткани в сопровождении с кальцификацией. Формирование костного слоя на поверхности имплантата позволяет своевременно заменять деструктированный имплантат неокостью в течение одного года [1, 14, 33]. Это позволяет отнести магниевые металлофиксаторы как к группе биорезорбируемых, так и к категории биоактивных фиксаторов одновременно [2, 19, 37].

Теоретический аспект применения магниевых металлофиксаторов весьма широкий: фиксация костных фрагментов среднего и малого размера, а также все виды винтовой фиксации в небольших костях. Кроме того, производитель и литературные данные описывают фиксацию внутри- и внесуставных переломов, различного вида остеотомии и замедленно консолидирующихся переломов [3]. Имеются литературные данные о положительных результатах лечения нестабильности плечевого сустава (операция Latarjet), и применения в плечевой хирургии с хорошим клиническим результатом [9]. В 2023 г. опубликована статья, сравнивающая титановый имплантат и магниевый винт в хирургическом лечении Hallux Valgus. Автор описывает клинический результат лечения 24 пациентов с вальгусной деформацией переднего отдела стопы как эквивалентный контрольной группе из 12 пациентов после коррекции классическими металлофиксаторами из титана [36]. Группа авторов из Южной Кореи приводит исследование 53 пациентов с неконсолидирующимся переломом ладьевидной кости, которым был выполнен остеосинтез магниевыми винтами. Через 1 год наблюдения отмечается полная консолидация зоны перелома с тотальной резорбцией винта и замещением его канала неокостью. При этом, болевого синдрома или контрактуры лучезапястного сустава не наблюдалось [14]. Подобные работы проводились и в Китайской Народной республике, подтверждая преимущество магниевых имплантов над аналогами [2, 10].

Заключение

Прогнозируется, что в течение ближайших 20 лет магниевые сплавы найдут уверенное применение в травматологии и ортопедии ввиду своих выдающихся качеств [2, 32]. Биорезорбируемые металлофиксаторы имеют большое преимущество перед классическими имплантатами ввиду отсутствия необходимости удаления их после консолидации костных структур. Они более соответствуют механическим и биологическим критериям в сравнении с полимерными. Однако, ввиду отсутствия долгосрочных исследований и результатов требуется проведение крупных проспективных и длительных испытаний с длительным периодом наблюдения.

Литература (references)

1. Киселевский М.В., Анисимова Н.Ю., Полоцкий Б.Е. и др. Биоразлагаемые магниевые сплавы-перспективные материалы медицинского назначения (обзор) // Современные технологии в медицине. – 2019. – Т. 11, №3. – С. 146–157. [Kiselevsky M.V., Anisimova N.Yu., Polotsky B. i dr. *Sovremennyye Tehnologii v Medicine*. Modern technologies in medicine. – 2019. – V. 11, N3. – P. 146-157. (in Russian)]

2. Хлусов И.А., Митриченко Д.В., Просолов А.Б. и др. Краткий обзор биомедицинских свойств и применения магниевых сплавов для биоинженерии костной ткани // Бюллетень сибирской медицины. – 2019. – Т. 18, №2. – С. 274–286. [Khlosov I.A., Mitrichenko D.V., Prosolov A.B. i dr. *Byulleten' sibirskoi meditsiny*. Bulletin of Siberian Medicine. – 2019. – V.18, N2. – P. 274-286. (in Russian)]
3. Biber R., Pauser J., Brem M. et al. Bioabsorbable metal screws in traumatology: A promising innovation // Trauma Case Reports. – 2017. – V. 8, N1. – P. 11-15.
4. Bondarenko A., Angrisani N., Meyer-Lindenberg A. et al. Magnesium-based bone implants: Immunohistochemical analysis of peri-implant osteogenesis by evaluation of osteopontin and osteocalcin expression // Journal of Biomedical Materials Research - Part A. – 2014. – V. 102, N 5. – P. 1449-1457.
5. Bostman O., Pihlajamaki H. Adverse Tissue Reactions to Bioabsorbable Fixation Devices // Clinical Orthopaedics And Related Research Number. – 2000. – V. 371, N1. – P. 216-227.
6. Erdmann N., Angrisani N., Reifenrath J. et al. Biomechanical testing and degradation analysis of MgCa0.8 alloy screws: A comparative in vivo study in rabbits // Acta Biomaterialia. – 2011. – V. 7, N3. – P. 1421-1428.
7. Gonzlez S., Pellicer E., Suriach S. et al. Biodegradation-Engineering and Technology. – London: InTech, 2013.
8. Hagelstein S., Seidenstuecker M., Kovacs A. et al. Fixation Performance of Bioabsorbable Zn-6Ag Pins for Osteosynthesis // Materials. – 2022. – V. 15, N9. – P. 1-10.
9. Haslhofer D.J., Gotterbarm T., Klasan A. High Complication Rate and High Percentage of Regressing Radiolucency in Magnesium Screw Fixation in 18 Consecutive Patients // Journal of Personalized Medicine. – 2023. – V. 13, N2. – P. 1-9.
10. Hermawan H. Updates on the research and development of absorbable metals for biomedical applications // Progress in Biomaterials. – 2018. – V. 7, N2. – P. 93-110.
11. Houa L., Lia Z., Pana Y. et al. In vitro and in vivo studies on biodegradable magnesium alloy // Progress in Natural Science: Materials International. – 2014. – V. 24, N5. – P. 466-471.
12. Kamrani S., Fleck C. Biodegradable magnesium alloys as temporary orthopaedic implants: a review // BioMetals. – 2019. – V. 32, N2. – P. 185-193.
13. Kuhlmann J., Bartsch I., Willbold E. et al. Fast escape of hydrogen from gas cavities around corroding magnesium implants // Acta Biomaterialia. – 2013. – V. 9, N10. – P. 8714-8721.
14. Lee J.W., Han H.S., Han K.J. et al. Long-term clinical study and multiscale analysis of in vivo biodegradation mechanism of Mg alloy // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. – 2016. – V. 113, N 3. – P. 716-721.
15. Li L., Gao J., Wang Y. Evaluation of cyto-toxicity and corrosion behavior of alkali-heat-treated magnesium in simulated body fluid // Surface and Coatings Technology. – 2004. – V. 185, N1. – P. 92–98.
16. Li T., He Y., Zhang H. et al. Microstructure, mechanical property and in vitro biocorrosion behavior of single-phase biodegradable Mg-1.5Zn-0.6Zr alloy // Journal of Magnesium and Alloys. – 2014. – V. 2, N2. – P. 181-189.
17. Liu C., Ren Z., Xu Y. et al. Biodegradable Magnesium Alloys Developed as Bone Repair Materials: A Review // Scanning. – 2018. V. 1, N1. – P. 1-16.
18. Lukyanova E., Anisimova N., Martynenko N. et al. Features of in vitro and in vivo behaviour of magnesium alloy WE43 // Materials Letters. 2018. – V. 215. – P. 308-311.
19. Luthringer B. J. C., Feyerabend F., Römer R. W. Magnesium-Based Implants: A Mini-Review // Magnesium Research. – 2014. – V.27, N4. – P. 142-154.
20. Maguire M. E., Cowan J. A. Magnesium chemistry and biochemistry // Biometals. – 2002. – V.15, N 3. – P.203-210.
21. May H., Alper Kati Y., Gumussuyu G. et al. Bioabsorbable magnesium screw versus conventional titanium screw fixation for medial malleolar fractures // Journal of Orthopaedics and Traumatology. – 2020. – V. 21, N9. – P. 1-9.
22. Meier R., Panzica M. First results with a resorbable MgYREZr compression screw in unstable scaphoid fractures show extensive bone cysts // Handchir Mikrochir Plast Chir. – 2020. – V.21, N1. – P. 37-41.
23. Nagels J., Stokdijk M., Rozing P. M. Stress shielding and bone resorption in shoulder arthroplasty // Journal of shoulder and elbow surgery. – 2003. – V.12, N1. – P. 35-39.
24. Ng W. F., Chiu K. Y., Cheng F. T. Effect of pH on the in vitro corrosion rate of magnesium degradable implant material // Materials Science and Engineering C. – 2010. – V.30, N6. – P. 898-903.
25. Pisecky L., Luger M., Klasan A. et al. Bioabsorbable implants in forefoot surgery: a review of materials, possibilities and disadvantages // EFORT Open Reviews. – 2021. – V.6, N12. – P. 1132-1139.
26. Radha R., Sreekanth D. Insight of magnesium alloys and composites for orthopedic implant applications – a review // Journal of Magnesium and Alloys. – 2017. – V.5, N3. – P. 286–312.
27. Rahim M. I., Ullah S., Mueller P. P. Advances and Challenges of Biodegradable Implant Materials with a Focus on Magnesium-Alloys and Bacterial Infections // Metals. – 2018. – V.8, N7. – P. 532-545.
28. Raikin S. M., Ching A. C. Bioabsorbable fixation in foot and ankle // Foot and Ankle Clinics. – 2005. – V.10, N4. – P. 667-684.

29. Seal C. K., Vince K., Hodgson M. A. Biodegradable surgical implants based on magnesium alloys - A review of current research // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2009. – V.4, N1. – P. 1-4.
30. Song G., Song S. A possible biodegradable magnesium implant material // Advanced Engineering Materials. – 2007. – V.9, N4. – P. 298-302.
31. Staiger, M. P., Pietak, A. M., Huadmai, J. et al. Magnesium and its alloys as orthopedic biomaterials: A review // Biomaterials. – 2006. – V.27, N9. – P. 1728-1734.
32. Tan L., Xiaoming Y., Peng W. et al. Biodegradable Materials for Bone Repairs: A Review // Journal of Materials Science and Technology. – 2013. – V.29, N6. – P. 503-513.
33. Trincă L. C., Fântânariu M., Solcan C. et al. In vivo degradation behavior and biological activity of some new Mg-Ca alloys with concentration's gradient of Si for bone grafts // Applied Surface Science. – 2015. – P.140–150.
34. Waizy H., Diekmann J., Weizbauer A. et al. In vivo study of a biodegradable orthopedic screw (MgYREZr-alloy) in a rabbit model for up to 12 months // Journal of Biomaterials Applications. – 2014. – V.28, N5. – P. 667-675.
35. Weizbauer A., Modrejewski C., Behrens S. et al. Comparative in vitro study and biomechanical testing of two different magnesium alloys // Journal of Biomaterials Applications. – 2014. – V.28, N8. – P. 1264-1273.
36. Windhagen H., Radtke K., Weizbauer A. et al. Biodegradable magnesium-based screw clinically equivalent to titanium screw in hallux valgus surgery: short term results of the first prospective, randomized, controlled clinical pilot study // BioMedical Engineering OnLine. – 2020. – V.19, N1. – P. 86-87.
37. Witte F., Kaese V., Haferkamp H. et al. In vivo corrosion of four magnesium alloys and the associated bone response // Biomaterials. – 2005. – V.26, N17. – P. 3557-3563.
38. Zivic F., Grujović N., Manivasagam G. et al. The Potential of Magnesium Alloys as Bioabsorbable/Biodegradable Implants for Biomedical Applications Tribology in Industry. The Potential of Magnesium Alloys as Bioabsorbable // Biodegradable Implants for Biomedical Applications. – 2014. – V. 36. – P. 67-73.

Информация об авторах

Семенистый Максим Николаевич – врач травматолог-ортопед КДО ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, врач травматолог-ортопед отделения детской хирургии №2 ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» ДЗМ. E-mail: semenisty_max@mail.ru

Очкуренко Александр Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии, доцент ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России. E-mail: cito-omo@mail.ru

Овсянкин Анатолий Васильевич – кандидат медицинских наук, доцент, главный врач ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Смоленск), заведующий кафедрой травматологии и ортопедии с военно-полевой хирургией ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России. E-mail: ovsjankin@rambler.ru

Семенистая Оксана Александровна – врач травматолог-ортопед Городского пункта неотложной травматологической помощи ГБУЗ «Детская городская клиническая больница им. Н.Ф. Филатова» ДЗМ. E-mail: ksenia_16.07.90@mail.ru

Османов Даниил Игоревич – клинический ординатор кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России. E-mail: osmanoff.danyu@yandex.ru

Захарин Роман Георгиевич – кандидат медицинских наук, заведующий отделением травматологии и ортопедии №3 ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Смоленск). E-mail: Roman.Zakharin@orthosmolensk.ru

Ефременко Дмитрий Николаевич – врач травматолог-ортопед ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Смоленск)

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 30.05.2025

Принята к печати 25.09.2025