

ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С МЕТАСТАЗАМИ В ТЕЛА ПОЗВОНКОВ, ВЫЗЫВАЮЩИМИ БОЛЕВОЙ СИНДРОМ, С ПОМОЩЬЮ РАДИОЧАСТОТНОЙ АБЛЯЦИИ, ВЕРТЕБРОПЛАСТИКИ И КОМБИНАЦИИ ДАННЫХ МЕТОДОВ

Гагиев А.З., Назаров А.С., Кудзиев А.В., Олейник Е.А., Воеводкина А.Ю., Орлов А.Ю.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, e-mail: alexsandr.gagiev@gmail.com

Тела позвонков – часто встречаемая локализация метастазирования «материнской» опухоли у онкологических больных. Доминирующим клиническим проявлением у данных пациентов является локальный болевой синдром. Рациональный выбор помощи для данных пациентов представляется нерешенной проблемой онкологии, травматологии и ортопедии. Возможным альтернативным методом лечения метастазов в тела позвонков (МТП) служит радиочастотная абляция (РЧА) – мини-инвазивный метод, при котором переменный ток подается к опухолевому образованию, вызывая местное нагревание и последующий некроз ткани. Однако сама по себе РЧА может изменить биомеханику и микроанатомию тела позвонка, тем самым увеличивая риск их переломов и нестабильности позвоночника после процедуры. Целью настоящего исследования является выявление преимуществ и недостатков при лечении пациентов с МТП, вызывающим болевой синдром, с помощью РЧА, вертебропластики и комбинации данных методов. Был проведен систематический обзор, и было отобрано 25 статей. Результаты показывают, что РЧА является эффективной и безопасной альтернативой традиционной лучевой терапии для лечения МТП без показаний к хирургическому вмешательству, но стабильность позвоночника представляется серьезной проблемой в данном контексте. Хотя РЧА имеет неоспоримое преимущество в отношении контроля боли и местного роста опухоли, сама по себе РЧА увеличивает риск нестабильности позвоночника и последующих переломов и коллапсов тел позвонков. Проведение в комбинации с РЧА вертебропластики показало синергичный положительный эффект на боль и улучшение стабильности позвоночника.

Ключевые слова: метастазы в тела позвонков, вертебропластика, радиочастотная абляция, термическая абляция, мини-инвазивная спинальная хирургия.

TREATMENT OF PATIENTS WITH SPINE METASTASIS THAT CAUSE PAIN SYNDROME USING RADIOFREQUENCY ABLATION, VERTEBROPLASTY AND A COMBINATION OF THESE METHODS

Gagiev A.Z., Nazarov A.S., Kudziev A.V., Oleynik E.A., Voevodkina A.Yu., Orlov A.Yu.

«National Medical Research Center named after V.A. Almazov» of the Ministry of Health of Russia, St. Petersburg, e-mail: alexsandr.gagiev@gmail.com

Vertebral bodies are a common localization of metastasis in cancer patients. The dominant clinical manifestation in these patients is local pain syndrome. The rational choice of care for these patients is an insidious problem for many specialists. A possible alternative treatment for vertebral metastases (VM) is radiofrequency ablation (RFA), a minimally invasive method in which alternating current is applied to the tumor formation, causing local heating and subsequent necrosis. However, RFA itself can alter the biomechanics and microanatomy of the vertebral body, thereby increasing the risk of vertebral fractures and spinal instability after the procedure. The purpose of this study is to identify the advantages and disadvantages in the treatment of patients with metastatic lesions of the vertebral bodies causing pain syndrome using RFA, vertebroplasty and a combination of these methods. A systematic review was conducted and 25 articles were selected. The results show that RFA is an effective and safe alternative to traditional radiotherapy for the treatment of VM without indications for surgery, but spinal stability is a serious problem in this context. Although RFA has an undeniable advantage in terms of pain control and local tumor growth, but RFA itself increases the risk of spinal instability and subsequent fractures and collapses of vertebral bodies. Performing vertebroplasty in combination with RF has shown a synergistic positive effect on pain and improved spinal stability.

Keywords: spine metastasis, vertebroplasty, radiofrequency ablation, thermal ablation, minimally invasive spinal surgery.

По данным аутопсии, метастазы тел позвонков (МТП) определяются более чем у 70% онкологических больных [1, 2] Метастатическое поражение тел позвонков встречается

наиболее часто среди пациентов со злокачественными новообразованиями молочной железы, легких, почек и простаты. Из-за богатого кровоснабжения позвоночник является третьей по распространенности локализацией метастазирования и единственным местом костного метастазирования при поздних стадиях рака [3]. По мере старения населения логично ожидать увеличения частоты встречаемости поражений позвоночника, а онкологические причины будут составлять большую долю в данной совокупности.

В клинической картине метастатического поражения позвоночного столба преобладает локальный болевой синдром, негативно влияющий на качество жизни [4].

Наличие МТП свидетельствует о запущенности онкологической патологии, что заставляет прибегнуть к паллиативному лечению, основными целями которого являются уменьшение болевого синдрома и улучшение качества жизни.

Патогенез болевого синдрома при МТП – многофакторный процесс, который и по сей день остается предметом дискуссий, поскольку обусловлен сочетанием нестабильности тел позвонков, локального высвобождения опухолевыми клетками провоспалительных цитокинов с увеличением активности остеокластов и вовлечением периостальных нервных окончаний [5].

Лечение онкологических заболеваний трансформировалось на протяжении последних 40 лет с помощью онкологов, радиологов-онкологов и хирургов, работающих вместе для увеличения продолжительности жизни и уменьшения времени госпитализации пациентов, страдающих данной патологией [6].

Лучевая терапия (ЛТ) является золотым стандартом лечения метастазов позвоночника в случаях отсутствия нестабильности и/или компрессии спинного мозга. Тем не менее, ЛТ имеет недостатки, такие как: длительность периода с момента начала терапии до уменьшения болевого синдрома, наличие радиорезистентных опухолей и высокая частота рецидивов боли с ограниченной возможностью повторного лечения [7].

Одними из альтернативных методов лечения метастатического поражения тел позвонков и его последствий являются радиочастотная абляция (РЧА), вертебропластика и сочетание этих методов.

Цель исследования: выявление преимуществ и недостатков при лечении пациентов с метастатическим поражением тел позвонков, вызывающим болевой синдром, с помощью РЧА, вертебропластики и комбинации данных методов.

Материалы и методы исследования

Поиск литературы осуществлялся в базе данных PubMed за период с 2004 по 2022 гг. с использованием поисковых запросов, ключевых слов и логических операторов. Для поиска публикаций в базах данных использовались следующие ключевые слова: spine metastasis,

vertebroplasty, cement augmentation, minimally invasive surgery, radiofrequency ablation. Дата последнего поиска литературы: 26.11.2023.

Критерии включения в исследование были следующими:

- 1) исследования, описывающие наличие метастатического поражения тел позвонков;
- 2) исследования, в которых проводилось лечение пациентов с болевым синдромом с помощью РЧА, вертебропалстики или сочетания данных методов;
- 3) исследования с периодом наблюдения более 6 месяцев;
- 4) исследования, в которые входили только пациенты старше 18 лет.

Критерии исключения были следующими:

- 1) исследования, описывающие наличие первичных опухолей тел позвонков;
 - 2) исследования, описывающие лечение пациентов со стенозом позвоночного канала;
 - 3) исследования, описывающие лечение исключительно альтернативными методами лечения.
- Количество пациентов в публикациях не являлось фактором отбора.

В результате поиска в базе данных PubMed была найдена 271 публикация. После первичной оценки названий и тезисов публикаций было исключено 246 работ. Таким образом, для анализа полного текста остались 25 публикаций.

В данных исследованиях применялись шкалы оценки эффективности лечения: шкала ВАШ, индекс качества жизни Освестри, числовая рейтинговая шкала боли (NRS-11), опросник функциональной оценки терапии рака (FACT-G7).

Результаты исследования и их обсуждение

Прошек и иные [8] в 2009 году оценили эффекты термической абляции на восьми пациентах с метастатическими поражениями позвонков, продемонстрировав улучшение как по шкале ВАШ, так и по индексу качества жизни Освестри после лечения соответственно в 100% и 48,4% случаев без каких-либо серьезных осложнений или наличия местного рецидива при последующем наблюдении. В обеих группах (только РЧА и РЧА в комбинации с применением костного цемента) боль значительно уменьшилась (среднее уменьшение боли 51,7%). Качество жизни улучшилось до 61%. Все процедуры прошли без побочных эффектов и осложнений. Визуализационные методы показали полную абляцию метастаза у всех пациентов. Местного прогрессирования опухоли не наблюдалось.

В 2019 году Сайед и иные [9] при лечении 30 пациентов с метастатическим поражением позвонков использовали только РЧА, демонстрируя улучшение показателей по числовой рейтинговой шкале боли (NRS-11) и по опроснику функциональной оценки терапии рака (FACT-G7). После лечения у всех пациентов отмечается значительно более быстрый эффект уменьшения боли при РЧА по сравнению со стандартной лучевой терапией.

Исследование Йылдижан и иных [10] от 2021 года показывает результат лечения 66 пациентов с помощью РЧА и РЧА в комбинации с вертебропластикой. Средний балл по ВАШ до процедуры составлял $8,3 \pm 1,07$ в группе РЧА. Оценка боли снизилась до $4,42 \pm 1,08$, а у 69,6% пациентов наблюдалось значительное улучшение качества жизни (с 79,3 до 29,7% по индексу Освестри). Средний балл по ВАШ в группе «РЧА + вертебропластика» составил $7,44 \pm 1,06$ до процедуры и $2,31 \pm 1,42$ после. Средний индекс Освестри до лечения в группе «РЧА + вертебропластика» составлял 78,5%, а после лечения улучшился до 14,2%. В связи с этим автор пришел к выводу, что сочетание РЧА и вертебропластики для купирования болевого синдрома и предотвращения распространения опухолевого процесса у пациентов с метастазами в тела позвонков более успешно, чем лишь вертебропластика.

В 2004 году Масала и иные [11] провели лечение трех пациентов с МТП с помощью комбинации РЧА и цементной вертебропластики, продемонстрировав последовательное улучшение состояния по ВАШ у всех включенных пациентов со средним снижением на 6 пунктов по данной шкале после лечения. Аналогичным образом Рейес и иные [12] в 2017 году пролечили 72 очага метастатических поражений у 49 пациентов с помощью комбинированной терапии, показав среднее снижение по шкале ВАШ после лечения на 4,6 балла и по индексу Освестри на 14,5%.

Стабильность позвоночника, а также контроль боли являются основными элементами, которые следует учитывать при оценке лечебной тактики пациентов с МТП. Предварительная оценка стабильности позвоночника имеет решающее значение для определения того, должна ли стратегия лечения быть хирургической или консервативной [13, 14, 15]. В оценке данного критерия помогает шкала Spinal Instability Neoplastic Score (SINS). Тем не менее, оценка стабильности позвоночника не менее важна и после абляционного лечения, такого как РЧА.

Важным критерием для выбора тактики того или иного метода лечения метастатического поражения тел позвонков является предполагаемая продолжительность жизни, которая оценивается по шкале Токухаши. Пример алгоритма принятия решений, основанный на данном параметре, представлен Мейером и иными [16] в исследовании 2023 года (рис. 1).

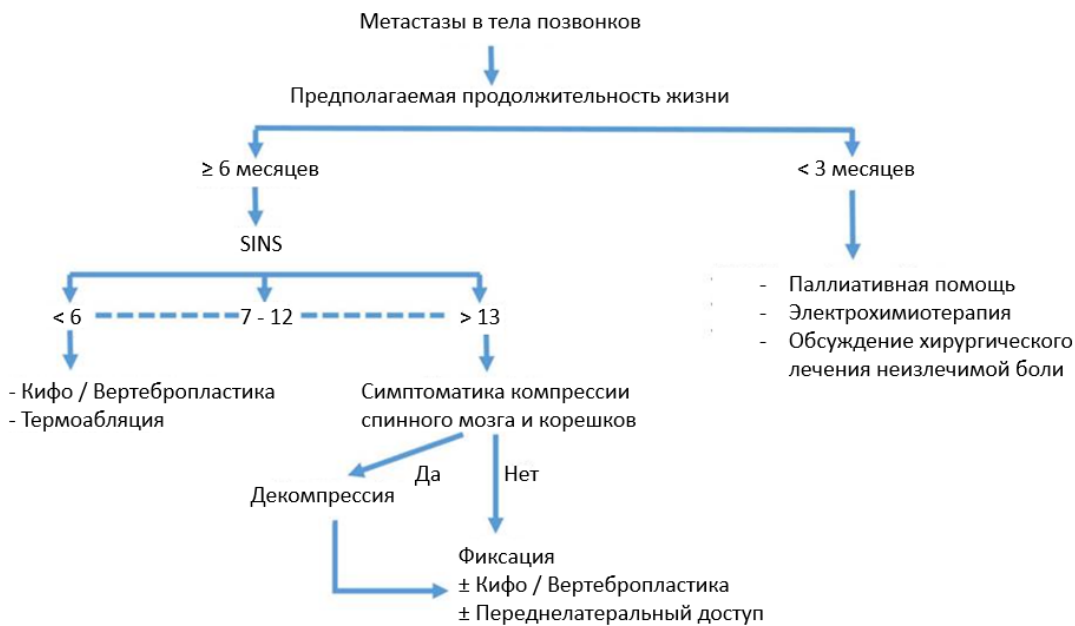


Рис. 1 Адаптированный алгоритм принятия решений при лечении пациентов с метастатическим поражением тел позвонков, используемый Мейером и иными [16]

Разработанный Кванг-Ву Парк и иными [17] в 2021 году алгоритм принятия решений (рис. 2), который включает в себя расширенные возможности мини-инвазивных методов лечения метастазов в тела позвонков, предполагает более комплексный подход. Наиболее важным принципом в данной схеме является как можно раннее начало химиотерапии, поскольку метастазирование служит проявлением системного процесса. Использование стереотаксической радиохирургии и мини-инвазивной хирургии снижает тяготы пациентов, связанные с госпитализацией и восстановлением после лечения, что улучшает качество жизни.



Рис. 2. Адаптированный новый алгоритм лечения пациентов с метастазами в тела позвонков, разработанный Кванг-Ву Парк и иными [17]

Радиочастотная абляция – мини-инвазивный метод, при котором переменный ток подается в опухолевое образование и местно, вызывая нагревание и в дальнейшем некроз опухоли. Процедура проходит под местной анестезией. Радиочастотная абляция является эффективной и безопасной альтернативой традиционной лучевой терапии для лечения метастазов тел позвонков в отсутствие показаний к хирургическому вмешательству. Несколько исследований уже продемонстрировали преимущества данного метода с точки зрения уменьшения боли как при доброкачественных, так и при злокачественных онкологических поражениях позвоночника.

Основные механизмы уменьшения болевого синдрома все еще обсуждаются. Разрушение периостальных сенсорных нервных волокон и уменьшение опухолевой массы, предотвращение передачи и стимуляции нервных волокон соответственно, по-видимому, представляют собой основные краеугольные камни эффективности в контроле боли при помощи данного метода [18]. Преимущества РЧА включают низкий уровень осложнений, короткую продолжительность процедуры и короткий период госпитализации, что уменьшает уровень дискомфорта пациента. Быстрый эффект облегчения боли после РЧА делает этот метод особенно подходящим для пациентов с короткой продолжительностью жизни. Более того, процедуру РЧА можно повторять и сочетать с другими стратегиями лечения, такими как лучевая терапия или цементная вертебропластика [19].

Несмотря на то что РЧА является эффективным и безопасным для облегчения боли методом, при его выполнении наблюдается тенденция к созданию или ухудшению стабильности позвоночника. Некроз опухоли создает полость в теле позвонка, тем самым изменяя микроанатомию соседних здоровых костных трабекул, а также распределение осевой и радиальной нагрузки, что приводит к повышенному риску развития взрывных переломов или коллапса позвонка [20].

Цементная вертебропластика (ЦВП) – малоинвазивный метод лечения, при котором костный цемент вводится чрескожно в тело позвонка. Галиберт и иные использовали этот метод впервые в 1987 году для укрепления тела позвонка, разрушенного гемангиомой. Поскольку краткосрочные результаты в виде облегчения болевого синдрома, повышения стабильности тел позвонков были очевидны, а низкая частота периоперационных осложнений внушала оптимистичность, показания для данной процедуры распространились и на лечение метастатических поражений тел позвонков.

Инъекция цемента, такого как полиметилметакрилат (ПММА), обладающего высокой устойчивостью к сжатию, в тело позвонка помогает сохранить механическую стабильность и высоту тела позвонка после патологических переломов и его повреждений.

Кроме того, методы вертебропластики показали преимущества в уменьшении боли благодаря многофакторным механизмам. Трабекулярная стабилизация вместе с экзотермической реакцией и местной химической токсичностью ПММА приводят к снижению стимуляции прилегающих периостальных нервных волокон, что способствует уменьшению интенсивности механической боли в спине [18, 21]. Возможность использования только вертебропластики при лечении метастатических поражений тел позвонков четко не оценена. Несмотря на уже доказанные преимущества в отношении контроля боли и стабильности позвоночника, данных о противоопухолевых эффектах цементной вертебропластики все еще недостаточно. Ян и иные в 2011 году выдвинули гипотезу, что противоопухолевые эффекты инъекции ПММА могут быть результатом цитотоксического и микрососудистого ишемического эффекта, вторичного по отношению к экзотермическим реакциям цемента в кости [22]. Балестрино и иные в 2020 году опубликовали результаты исследования, направленного на изучение противоопухолевого действия цементной вертебропластики [23]. После патологоанатомического исследования цемент-индуцированный некроз опухоли не был обнаружен ни разу. Наоборот, была обнаружена реакция на инородное тело вокруг цемента внутри опухоли.

Отсутствие рандомизированных контролируемых исследований, сравнивающих противоопухолевые эффекты цементной вертебропластики и РЧА и частоту рецидивов опухолей, не позволяет сформулировать адекватные показания к использованию только ЦВП в лечении метастазов в позвоночник. Более того, без каких-либо предшествующих процедур абляции опухолевой массы наличие гетерогенной патологической ткани в теле позвонка может изменить распределение цемента, что приведет к худшему эффекту облегчения боли и стабилизации позвоночника [24]. Утечка костного цемента является частым осложнением при ЦВП, о котором сообщается в 4,8–39% случаев, хотя чаще всего оно протекает бессимптомно, за исключением менее распространенной эпидуральной или внутриканальной экстрavasации, которая может проявляться симптомами стеноза спинного мозга или корешков, что в конечном итоге требует хирургического вмешательства [21, 25].

Комбинация радиочастотной абляции и цементной вертебропластики. Представленные выше исследования показывают синергичный эффект совместного использования РЧА и ЦВП на контроль боли у пациентов с метастатическим поражением позвоночника. Кроме того, сочетание РЧА и вертебропластики, по-видимому, также улучшает постоперационную стабильность позвоночника. Было предложено несколько механизмов для выяснения синергического эффекта комбинированной терапии. Взаимодополняемость абляционных и реконструктивных подходов, вероятно, основана на балансе между желательными и нежелательными эффектами каждого из методов лечения.

Изолированно РЧА создает костную полость в теле позвонка, что имеет как преимущества в отношении местного контроля опухоли и облегчения боли, так и недостатки с точки зрения стабильности позвоночника и риска постоперационного коллапса. А сама по себе вертебропластика помогает восстановить местную механическую стабильность позвоночника, хотя и с потенциальным риском субоптимального эффекта, вызванного наличием опухолевой массы, мешающей распределению цемента и потенциально способствующей утечке цемента. При комбинированном подходе костная полость, полученная в результате уменьшения объема опухолевой массы, позволяет улучшить распределение вводимого цемента, что приводит к оптимальному укреплению и стабилизации тела позвонка. Кроме того, микротромбоз перитуморальной венозной сети, полученный при термическом повреждении РЧА, способствует снижению риска венозной утечки костного цемента при цементной вертебропластике [20].

Заключение

Стабильность позвоночника после РЧА является серьезной проблемой в контексте лечения метастатических поражений тел позвонков. Хотя РЧА имеет неоспоримое преимущество в отношении контроля боли и местного рецидива опухоли, сама по себе РЧА увеличивает риск нестабильности позвоночника и последующих переломов и коллапсов тел позвонков. В свою очередь, цементная вертебропластика показала синергичный положительный эффект на боль в спине и улучшение стабильности позвоночника, особенно при эффективном распределении цемента в области поражения.

Сочетание РЧА и цементной вертебропластики может быть полезным для пациентов с метастазами в позвоночник, поскольку каждый метод может обеспечить разные, а значит, более комплексные эффекты для улучшения качества жизни пациентов с наличием метастазов в телах позвонков.

Список литературы

1. Заборовский Н.С., Кострицкий С.В., Пташников Д.А., Широкоград В.И. Метастатическое поражение позвоночника на фоне почечно-клеточного рака: результаты лечения и выживаемость после удаления опухоли // Хирургия позвоночника. 2017. Т.14. №4. С. 110-116.
2. Широкоград В.И., Кострицкий С.В., Заборовский Н.С., Пташников Д.А. Комбинированное лечение метастазов почечно-клеточного рака в позвоночник // Онкоурология. 2017. Т.13. №2. С. 43-48.

3. Harel R., Angelov L. Spine metastases: current treatments and future directions // *European Journal of Cancer*. 2010. Vol. 46. Is.15. P. 2696-2707. DOI: 10.1016/j.ejca.2010.04.025.
4. Smorgick Y., Mirovsky Y., Shalmon E., Lotan R., Dotan A., Anekstein Y. Diagnosis and treatment of spine metastases // *Harefuah*. 2007. Vol. 146. Is. 5. P. 358-363, 405-406.
5. Giammalva G.R., Costanzo R., Paolini F., Benigno U.E., Porzio M., Brunasso L., Basile L., Guli C., Pino M.A., Gerardi R.M., et al. Management of Spinal Bone Metastases with Radiofrequency Ablation, Vertebral Reinforcement and Transpedicular Fixation: A Retrospective Single-Center Case Series // *Frontiers in Oncology*. 2022. Vol. 11. DOI: 10.3389/fonc.2021.818760.
6. Sullivan P.Z., Niu T., Abinader J.F., Syed S., Sampath P., Telfeian A., Fridley J., Klinge P., Camara J., Oyelese A., Gokaslan Z.L. Evolution of surgical treatment of metastatic spine tumors // *Journal of Neuro-Oncology*. 2022. Vol. 157. Is. 2/ P. 277-283. DOI: 10.1007/s11060-022-03982-0.
7. Arrigoni F., de Cataldo C., Bruno F., Palumbo P., Zugaro L., di Staso M., Gravina G.L., Barile A., Masciocchi C. Ablation, consolidation and radiotherapy for the management of metastatic lesions of the spine: Impact on the quality of life in a mid-term clinical and diagnostic follow-up in a pilot study // *Medical Oncology*. 2020. Vol. 37. № 6. DOI: 10.1007/s12032-020-01378-6.
8. Proschek D., Kurth A., Proschek P., Vogl T.J., Mack M.G. Prospective pilot-study of combined bipolar radiofrequency ablation and application of bone cement in bone metastases // *Anticancer Research*. 2009. Vol. 29. Is.7. P. 2787-2792.
9. Sayed D., Jacobs D., Sowder T., Haines D., Orr W. Spinal Radiofrequency Ablation Combined with Cement Augmentation for Painful Spinal Vertebral Metastasis: A Single-Center Prospective Study // *Pain Physician*. 2019. Vol. 22. Is. 5. P. 441-449.
10. Yildizhan S., Boyaci M.G., Rakip U., Aslan A., Canbek I. Role of radiofrequency ablation and cement injection for pain control in patients with spinal metastasis // *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021. Vol. 22. № 912. DOI: 10.1186/s12891-021-04799-0.
11. Masala S., Roselli M., Massari F., Fiori R., Ursone A., Fossile E., Laudisi A., Simonetti G. Radiofrequency Heat Ablation and Vertebroplasty in the treatment of neoplastic vertebral body fractures // *Anticancer Research*. 2004. Vol. 24. Is. 5B. P. 3129-3133.
12. Reyes M., Georgy M., Brook L., Ortiz O., Brook A., Agarwal V., Muto M., Manfre L., Marcia S., Georgy B.A. Multicenter clinical and imaging evaluation of targeted radiofrequency ablation (t-RFA) and cement augmentation of neoplastic vertebral lesions // *Journal of NeuroInterventional Surgery*. 2018. Vol. 10. Is. 2. P. 176–182. DOI: 10.1136/neurintsurg-2016-012908.

13. Fox S., Spiess M., Hnenny L., Fourney D.R. Spinal Instability Neoplastic Score (SINS): Reliability Among Spine Fellows and Resident Physicians in Orthopedic Surgery and Neurosurgery // *Global Spine Journal*. 2017. Vol. 7. Is. 8. P. 744–748. DOI: 10.1177/2192568217697691.
14. Cofano F., di Perna G., Zenga F., Ducati A., Baldassarre B., Ajello M., Marengo N., Ceroni L., Lanotte M., Garbossa D. The Neurology-Stability-Epidural compression assessment: A new score to establish the need for surgery in spinal metastases // *Clinical Neurology and Neurosurgery*. 2020. Vol. 195. № 105896. DOI: 10.1016/j.clineuro.2020.105896.
15. Fourney D.R., Frangou E.M., Ryken T.C., DiPaola C.P., Shaffrey C.I., Berven S.H., Bilsky M.H., Harrop J.S., Fehlings M.G., Boriani S., et al. Spinal Instability Neoplastic Score: An Analysis of Reliability and Validity from the Spine Oncology Study Group // *Journal of Clinical Oncology*. 2011. Vol. 29. Is. 22. P. 3072–3077. DOI: 10.1200/JCO.2010.34.3897.
16. Meyer M., Farah K., Aurélie T., Graillon T., Dufour H., Fuentes S. Management of Spinal Metastasis by Minimally Invasive Surgical Techniques: Surgical Principles and Indications-A Literature Review // *Journal of Clinical Medicine*. 2023. Vol. 12. Is. 16. P. 51-65. DOI: 10.3390/jcm12165165.
17. Kawngwoo Park, Seong Son, Sang Gu Lee, En Kyung Cho, Hee Kyung Ahn, In Keun Park, Sun Jin Sym, Young Saing Kim. An updated algorithm for the treatment of spinal metastasis // *Journal of the Korean Society of Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2021. Vol. 17. Is. 2. P. 70-77. DOI:10.52662/jksfn.2021.00087.
18. Lv N., Geng R., Ling F., Zhou Z., Liu M. Clinical efficacy and safety of bone cement combined with radiofrequency ablation in the treatment of spinal metastases // *BMC Neurology*. 2020. Vol. 20. № 418. DOI: 10.1186/s12883-020-01998-5.
19. Colonna S., Bianconi A., Cofano F., Prior A., Di Perna G., Palmieri G., Zona G., Garbossa D., Fiaschi P. Radiofrequency Ablation in Vertebral Body Metastasis with and without Percutaneous Cement Augmentation: A Systematic Review Addressing the Need for SPINE Stability Evaluation // *Diagnostics*. 2023. Vol. 13. Is. 6. №1164. DOI: 10.3390/diagnostics13061164.
20. Pezeshki P.S., Davidson S., Murphy K., McCann C., Slodkowska E., Sherar M., Yee A.J., Whyne C.M. Comparison of the effect of two different bone-targeted radiofrequency ablation (RFA) systems alone and in combination with percutaneous vertebroplasty (PVP) on the biomechanical stability of the metastatic spine // *European spine journal*. 2016. Vol. 25. Is. 12. P. 3990–3996. DOI: 10.1007/s00586-015-4057-0.
21. Lane M.D., Le H.B.Q., Lee S., Young C., Heran M.K.S., Badii M., Clarkson P.W., Munk P.L. Combination radiofrequency ablation and cementoplasty for palliative treatment of

painful neoplastic bone metastasis: Experience with 53 treated lesions in 36 patients // *Skeletal radiology*. 2011. Vol. 40. Is. 1. P. 25–32. DOI: 10.1007/s00256-010-1010-5.

22. Yang H.L., Sun Z.Y., Wu G.Z., Chen K.W., Gu Y., Qian Z.L. Do vertebroplasty and kyphoplasty have an antitumoral effect? *Medical Hypotheses*. 2011. Vol. 76. Is. 1. P. 145–146. DOI: 10.1016/j.mehy.2010.09.018.

23. Balestrino A., Boriani S., Cecchinato R., Parafioriti A., Gambarotti M., Gasbarrini A. Vertebroplasty shows no antitumoral effect on vertebral metastasis: a case-based study on anatomopathological examinations // *European Spine Journal*. 2020. Vol. 29. Is. 12. P. 3157-3162. DOI: 10.1007/s00586-020-06555-9.

24. He Y., Han S., Wu C., Ge F., Wang J. Comparison of the postoperative pain change and spinal stenosis rate between percutaneous vertebroplasty combined with radiofrequency ablation and with ¹²⁵I particle implantation in the treatment of metastatic spinal cord compression: A retrospective study // *Journal of interventional medicine*. 2021. Vol. 4. Is. 4. P. 197–202. DOI: 10.1016/j.jimed.2021.10.002.

25. Murali N., Turmezei T., Bhatti S., Patel P., Marshall T., Smith T. What is the effectiveness of radiofrequency ablation in the management of patients with spinal metastases? A systematic review and meta-analysis // *Journal of orthopaedic surgery and research*. 2021. Vol. 16. № 659. DOI: 10.1186/s13018-021-02775-x.