

# ЭМБОЛИЯ ЦЕМЕНТОМ ВЕТВЕЙ ЛЕГОЧНОЙ АРТЕРИИ ПОСЛЕ ТРАСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОСТНОГО ЦЕМЕНТА

Давыдов Д. В., Гизатуллин Ш. Х., Колобаева Е. Г.,  
Антохов В. П., Филлимонов М. С.

ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н. Н. Бурденко», Москва

PULMONARY CEMENT EMBOLISM AFTER PEDICLE SCREW CEMENT FIXATION

Davydov D. V., Gizatullin Sh. Kh., Kolobaeva E. G., Antokhov V. P., Fillimonov M. S.

Main Military Clinical Hospital n. a. N. N. Burdenko, Moscow

**РЕЗЮМЕ.** Применение костного цемента в хирургии позвоночника в большинстве случаев не приводит к клинически значимым осложнениям, остаётся бессимптомным, однако иногда может приводить к серьезным клиническим последствиям с картиной эмболии цементом. Наиболее широко в литературе освещены последствия вертебропластики по поводу гемангиом, травм, остеопороза. В то же время осложнения, связанные с аугментацией винтов при транспедикулярной фиксации упоминаются редко. В статье представлены два клинических случая эмболии цементом ветвей легочной артерии после транспедикулярной фиксации. Описаны клинические проявления, диагностический поиск причин гемодинамических и дыхательных нарушений. Приведен краткий обзор литературы по осложнениям, профилактике и лечению осложнений применения костного цемента. Уверенная дифференциальная диагностика причин развившейся клинической картины затруднительна. Выявляемые цементные эмболы легочной артерии, как правило, не имеют клинического значения.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** легочная эмболия, костный цемент, транспедикулярная фиксация.

**ABSTRACT.** The use of bone cement in spinal surgery in most cases does not lead to clinically significant complications and remains asymptomatic, but sometimes it can lead to serious clinical consequences of cement embolism. The consequences of vertebroplasty for hemangiomas, trauma, osteoporosis are most widely covered in the literature. At the same time, the complications associated with cement strengthening of screws during pedicle fixation are poorly covered. The article presents two clinical cases of symptomatic cement embolism of the branches of the pulmonary artery after pedicle screws fixation. Clinical manifestations, differential diagnosis of the causes of hemodynamic and respiratory disorders are described. There is a brief review of the literature on complications, prevention and treatment of complications from the use of bone cement.

Differential diagnosis of the causes of the clinical manifestations is difficult. Revealed cement pulmonary embolism are usually of no clinical significance.

**KEY WORDS:** pulmonary embolism, bone cement, pedicle screw cement fixation.

## Введение.

Применение костного цемента (КЦ) прочно вошло в клиническую практику, и в настоящий момент полиметилметакрилат (ПММА) широко применяется в хирургии позвоночника с целью поддержания высоты и укрепления костных структур позвонка, купирования болевого синдрома на фоне опухолевого процесса, травмы, остеопороза, а также для повышения опороспособности позвонков при транспедикулярной фиксации (ТПФ) [1–6]. В ряде исследований проанализированы биомеханические характеристики аугментированных транспедикулярных винтов и продемонстрировано значительное увеличение прочности фиксации при остеопорозе. Использование цемента увеличивает прочность на отрыв и биомеханическую стабильность с 96 до 278 %. При этом применение ПММА при вертебропластике и кифопластике имеет ряд осложнений, связанных с утечкой цемента и широко освещенных в литературе. В то же время, лишь в нескольких клинических исследованиях сообщается об осложнениях после цементной аугментации транспедикулярных винтов [7,8,9,10].

В статье представлено два клинических случая легочной эмболии после ТПФ с применением КЦ, наблюдаемых в нейрохирургическом центре ФГБУ ГВКГ им. академика Н. Н. Бурденко.

## Клинический случай № 1

Пациентка М., 61 года госпитализирована в нейрохирургический центр 11.09.2020 года по поводу выраженных болей в поясничной области с иррадиацией в правую ногу по заднебоковой поверхности бедра и голени, слабость и онемение в правой ноге.

Основной диагноз: Дегенеративно-дистрофическое заболевание позвоночника. Остеохондроз, спондилоартроз, спондилез поясничного отдела позвоночника. Дегенеративный стеноз позвоночного канала на уровне L3-L5 позвонков. Нестабильность сегмента L5-S1 позвонков с правосторонней радикулопатией L4-S1. Операция 27.08.2019 г.: ТПФ на уровне L5-S1 позвонков.

Сопутствующий диагноз: Ишемическая болезнь сердца. Стенокардия напряжения 2 ФК. Гипертоническая болезнь 3 стадии, артериальная гипертензия 3 степени, риск 4. ОНМК по ишемическому типу

(анамнестически). Мочекаменная болезнь, конкремент правой почки.

Консервативная терапия оказалась неэффективной. При магнитно-резонансной томографии пояснично-крестцового отдела позвоночника выявлен дегенеративный стеноз на уровне L3-L5 позвонков. Было принято решение об оперативном лечении. В ходе ультразвукового исследования вен нижних конечностей, признаков тромбоза выявлено не было. Проведено стандартное предоперационное обследование, при котором патологии, влияющей на тактику оперативного лечения и анестезии, выявлено не было. Оценка больной по ASAII/2, по шкале Caprini 5 баллов (высокий риск симптомных венозных тромбозомболических осложнений (ВТЭО) при отсутствии профилактики).

Была проведена общая комбинированная анестезия с интубацией трахеи и ИВЛ в положении на животе. Интраоперационно применялись механические методы профилактики ВТЭО. Выполнен демонтаж ранее установленной конструкции, реконструкция позвоночного канала, дискэктомия L3-L5, установка межтеловых кейджей L3-L5, реконструкция L5-S1 слева, транспедикулярная стабилизация L3-S1. При демонтаже ранее установленной конструкции отмечается подвижность винтов, что указывало на нестабильность всей конструкции. В дужки L3-S1 позвонков установлены перфорированные винты. Все 8 винтов augmented КЦ по 2 мл во избежание расшатывания конструкции. Операция проводилась под контролем рентгеноскопии, утечки КЦ выявлено не было. Интраоперационно, на этапе доступа отмечалась выраженная кровоточивость тканей, по поводу чего было введено 1000 мг транексамовой кислоты. Также в течение первого часа анестезии отмечалась тенденция к гипотонии, в связи с чем, была начата инфузия дофамина 4–5 мкг/кг/мин. К окончанию оперативного вмешательства гемодинамика стабилизировалась, что позволило прекратить инотропную поддержку. Кровопотеря составила 300 мл.

В раннем послеоперационном периоде признаков недостаточности органов и систем не наблюдалось. Пациентка экстубирована на фоне восстановления ясного сознания, стабильной гемодинамики и эффективного дыхания.

Через 8 часов после операции у пациентки появились жалобы на слабость, чувство нехватки воздуха, дискомфорт в эпигастрии. Клинически, при сохранении ясного сознания, отмечалось снижение сатурации до 90 % при дыхании воздухом, цианоз лица, шеи, грудной клетки, тахипное до 25 в мин, тахикардия 115 в мин, гипотония 78/50 мм рт. ст. Болевой синдром отсутствовал. На ЭКГ регистрировался синусовый ритм, нарушение внутрижелудочковой проводимости, элевация сегмента ST в правых грудных отведениях, которая регрессировала на последующих ЭКГ в течение 2 часов. Лабораторно повышение уровня креатинкиназы до 472 Ед/л, тропонин количественно менее 50 нг/л, остальные показатели

в пределах референсных значений. При рентгенографии органов грудной клетки определялось рентгенконтрастное древовидное включение в проекции S2, S3 правого легкого (рис. 1). При ЭХО-КГ признаков легочной гипертензии и зон гипокинезии миокарда не выявлено.



Рисунок 1. Рентгенконтрастное древовидное включение.

На фоне инфузии норадреналина в дозах до 300 нг/кг/мин, инсуффляции увлажненного кислорода 4 л/мин гемодинамика стабилизировалась, сатурация нормализовалась 96 %, частота дыхания снизилась до 16 в мин. Нормализовался цвет кожи. Учитывая данные обследования, анамнез была предположена легочная эмболия КЦ. Начато введение низкомолекулярного гепарина в терапевтической дозе (0,8 мг эноксапарина 2 раза в сутки).

При выполнении компьютерной томографии (КТ) легких выявлены гиперденсные (1968 Н) линейные включения в просвете проксимальных отделов сегментарных и субсегментарных ветвей легочной артерии (ЛА) в S2, S3 правого легкого и в S3, левого легкого. При болюсном контрастировании выявлен тромб-наездник в главной правой легочной артерии с распространением преимущественно пристеночных тромботических масс в субсегментарные ветви верхней, артерии средней и более массивно в сегментарные и субсегментарные ветви S8, S9, S10 нижней долей правого легкого (рис. 2, 3).

На вторые сутки терапии явления дыхательной и сердечно-сосудистой недостаточности регрессировали, что позволило отказаться от кислородотерапии и вазопрессоров. В тот же день при выполнении ультразвукового исследования вен верхних, нижних конечностей для верификации источника тромбоза легочной артерии (ТЭЛА) был выявлен тромбоз глубоких вен левой ноги с флотацией верхушки тромба на протяжении 9 см в просвете левых поверхностной и общей бедренных вен. В связи с этим был установлен кава-фильтр, при динамическом контроле которого, обнаружен неокклюзивный тромбоз фильтра на 3 сутки послеоперационного периода. При подготовке к операции проходимость вен нижних конечностей оценивалась и признаков тромбоза выявлено не было.



Рисунок 2. Гиперденсные включения на КТ



Рисунок 3. Дефекты наполнения. ТЭЛА.

При последующем КТ контроле отмечалась положительная динамика тромбозов легких.

Пациентка была выписана домой на фоне пероральной терапии антикоагулянтами с регрессом болевого синдрома в поясничной области.

#### Клинический случай № 2

Пациент Т., 74 лет, госпитализирован в нейрохирургический центр 27.10.2020 года по поводу боли в поясничном отделе позвоночника с иррадиацией в обе ноги по наружной поверхности бедер, преимущественно справа, слабость, онемение в правой ноге.

Основной диагноз: Вторичный дегенеративный стеноз позвоночного канала на уровне L4-L5 позвонков. Дегенеративно-дистрофическое заболевание позвоночника, с преимущественным поражением пояснично-крестцового отдела. Операция от 18.11.2019 г. Реконструкция позвоночного канала на уровне L3-L4 позвонков с передней стабилизацией межтеловым кейджем. Стабилизация сегмента транспедикулярной 4-х винтовой системой на уровнях L3-L4 позвонков. Операция 25.09.2020 г. Реконструкция позвоночного канала на уровне L2-L3 позвонков, ТПФ, дискэктомия на уровне L2-L3 позвонков с последующей установкой межтелового кейджа.

Сопутствующий диагноз: Гипертоническая болезнь 3 стадии, артериальная гипертензия 3 степени, риск ССО 4. Ишемическая болезнь сердца. Атеросклеротический кардиосклероз. Постоянная форма фибрилляции предсердий. Стенокардия напряжения, 2 ФК. Постинфарктный кардиосклероз (2013 г). Ревматизм. Комбинированный порок сердца: митральная недостаточность, аортальная недостаточность. Протезирование митрального клапана в 2013 г. Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) 2А стадии, ФК2 по NYHA. Оценка по шкале ASAIII/2.

В анамнезе 18.11.2019 г под контролем рентгеноскопии была выполнена реконструкция позвоночного канала, дискэктомия L3-L4, транспедикулярная стабилизация с помощью полиаксиальных винтов, в которые, для большей стабилизации на фоне выраженного остеопороза было введено по 2 мл КЦ. В послеоперационном периоде в течение года болевой синдром рецидивировал, нарастал. На контрольной КТ поясничного отдела определялись протрузии межпозвоночных дисков L1-S1 позвонков. Был повторно госпитализирован 15.09.2020 года, проведена реконструкция позвоночного канала на уровне L2-L3 позвонков, ТПФ, дискэктомия на уровне L2-L3 позвонков с последующей установкой межтелового кейджа. В обоих случаях периоперационный период проходил без особенностей.

В течение госпитализации в период предоперационного обследования у пациента появились жалобы на чувство нехватки воздуха, отеки ног, лица. Имело место снижение сатурации до 88 % при отсутствии тахипноэ, гипотонии, тахикардии. Дыхательная недостаточность потребовала инсуффляции увлажненного кислорода через носовые катетеры 3 л/мин, при этом сатурация достигала 95–97 %.

Проводилась дифференциальная диагностика между тромбозом мелких ветвей (ЛА), внутрибольничной пневмонией, декомпенсацией хронической сердечной недостаточности на фоне нерегулярной кардиотропной терапии. На ЭКГ – фибрилляция предсердий, нормосистолия. При выполнении ЭХО-КГ обращает внимание выраженная дилатация левого предсердия, снижение фракция выброса левого желудочка до 50 %, тромботических масс в просвете камер сердца не выявлено. Тромбоз вен верхних, нижних конечностей не выявлено. При выполнении КТ легких в просвете правой ЛА с распространением

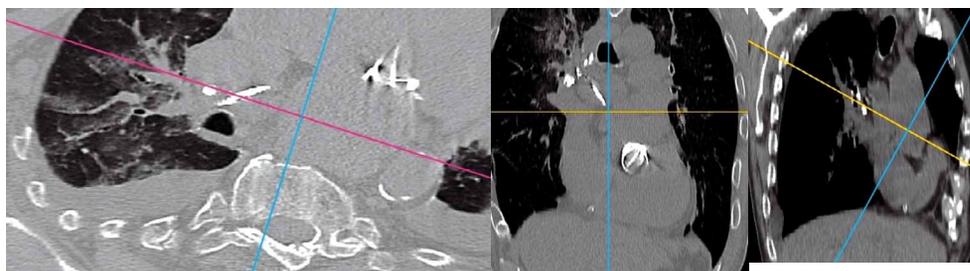


Рисунок 4. Инородное тело в просвете правой легочной артерии

в верхнедолевую ветвь выявлено внутриспросветное инородное тело металлической плотности, протяженностью 55 мм, диаметром 3 мм с расширением на дистальном конце до 9 мм (рис. 4). Кроме инородного тела была выявлена неоднородность паренхимы легких мозаичного характера за счет облаковидного уплотнения в S 1/2, S 10 левого легкого, S 5, S 8 правого легкого. При проведении ангиографии аналогичные, металлической плотности рентгенконтрастные образования обнаружены паравертебрально в сегменте L3-L4 позвонков при наличии КЦ в телах L3-L4 позвонков. Еще одно образование в паравертебральном сплетении на уровне L3-L4 позвонков. Констатирована эмболия ЛА КЦ из паравертебральных вен после ТПФ с применением КЦ, проведенной в ноябре 2019 г.

Клиническая картина более вероятно обусловлена декомпенсацией ХСН и двусторонней пневмоний. Диагноз скорректирован: Хроническая сердечная недостаточность 2Б стадии, ФК 3 по NYHA. Инородное тело ЛА. Двусторонняя внебольничная пневмония нетяжелого течения. Дыхательная недостаточность 1 степени. Оценка по ASA IV/2. Принято решение о переносе планового оперативного вмешательства.

По поводу инородного тела ЛА была предпринята безуспешная попытка эндоваскулярной экстракции петлей – инородное тело плотно фиксировано к стенке правой ЛА. Была произведена коррекция терапии ХСН, начато лечение пневмонии.

На фоне консервативной терапии хроническая сердечная недостаточность регрессировала до стадии 2А и 2 ФК по NYHA, рентгенологические признаки пневмонии и явления дыхательной недостаточности (ДН) исчезли – сатурация при дыхании атмосферным воздухом 95–97 %. Оценка по ASA II/2.

Положительная динамика течения ХСН и ДН позволила провести реконструкцию позвоночного канала на уровне L4-L5 позвонков, микродискэктомию на уровне L4-L5 позвонков, спондилодез аутокостью, ТПФ, продление стабилизирующей конструкции L2-L5 позвонков. Проведена общая комбинированная анестезия с интубацией трахеи и ИВЛ. Течение анестезии было гладким. Периоперационный период протекал без особенностей.

С регрессом болевого синдрома выписан для проведения восстановительного лечения.

### Обсуждение

За годы применения ПММА в хирургии позвоночника, выявился ряд осложнений, встречающихся не так уж и редко – от долей процента до более 70 %, среди которых превалирует экстравертебральная утечка КЦ [7].

Гемодинамические осложнения, такие как гипотензия, легочная гипертензия и десатурация, нарушения ритма вплоть до остановки сердца хорошо известны при ортопедических операциях, таких как эндопротезирование суставов, и описаны как синдром имплантации костного цемента. Обсуждается несколько механизмов, включающих диффузную микроэмболизацию легких, высвобождение гистамина, активацию комплемента и индуцированную вазоплегию. Среди осложнений при введении ПММА в тело позвонка превалирует экстравертебральная утечка КЦ, и, хотя в большинстве случаев она не имеет клинического значения, иногда может приводить к серьезным клиническим последствиям вплоть до остановки кровообращения [3,4,6–12].

Применение КЦ сопряжено с риском утечки в паравертебральные мягкие ткани, в межпозвоночный диск или в позвоночный канал с поражением фораминальной области, в эпидуральное пространство с развитием симптомов корешковой компрессии, неврологического дефицита или боли. Локальная утечка ПММА встречается с частотой более 80 %, но в большинстве случаев не вызывает никаких симптомов [3,4,6,7,10,11,12,23].

Выделяющееся при полимеризации тепло может вызывать ишемию и радикулопатию [5,7,9,13]. Кроме того, применение костного цемента может вызвать анафилактическую реакцию, которая в тяжелых случаях заканчивается нарушением кровообращения.

Также применение ПММА может быть связано с такими осложнениями, как системная эмболия [6,13,14]: жировая эмболия [15], эмболия легочной артерии [5,6,13,14,16–19], повреждение сердца [20,21]. Эпидуральное кровотечение встречается исключительно редко, как и прямая артериальная эмболия КЦ [22]. Легочная эмболия встречается у 3–26 % пациентов [7,10,12,14,16,17,18]. При этом симптомное течение легочной эмболии цементом наблюдается только у 1,4–3 % пациентов с экстравертебральной утечкой [7,8,9].

В случае симптомного течения эмболии, клинические проявления наблюдаются в разные временные

промежутки от момента введения цемента, что может потребовать немедленных реанимационных мероприятий [7], до дней, недель и даже лет. При этом у пациентов появляется легкая одышка и дискомфорт в груди [5]. Показатели пульсоксиметрии могут быть ниже 80 %, несмотря на ингаляцию кислорода [17], снижается рСО<sub>2</sub> на выдохе. Болевой синдром и электрокардиографические отклонения могут отсутствовать [21].

Имеются наблюдения, что при рентгеноскопическом контроле обнаружить какую-либо экстравертебральную утечку не удавалось более чем у половины пациентов с цементными эмболами ЛА. Это свидетельствует о том, что даже для специалистов, имеющих большой опыт в вертебропластике, цементные эмболы не только распространены, но и часто не распознаются [16,17]. При оценке с использованием компьютерной томографии (КТ), которая значительно превосходит интраоперационную рентгеноскопию или послеоперационную рентгенографию по информативности, частота утечки составила от 63 % до 87 % [6].

Основными предикторами утечки КЦ во время аугментации транспедикулярных винтов называются вязкости цемента, объем, сила и скорость введения, многоуровневая ТПФ с аугментацией, особенно на торакальном и тораколумбальном уровнях [8].

В исследовании Janssen I. et al. посвященном рискам утечки КЦ при аугментации винтов среднее количество цементно-усиленных винтов у пациентов, перенесших легочную эмболию, составило 9,8 +/- 8 3,5 (диапазон 6–18). У пациентов с бессимптомной утечкой цемента в паравертебральные вены использовали 8,3 винтов +/- 3,5 (диапазон 2–20), а пациенты без осложнений 7,2 +/- 2,8 (диапазон 2–14) винтов в среднем [9].

В экспериментальном исследовании Tang Y et al. показали, что стабильность винта существенно не улучшается, когда объем ПММА превышает 2,8 мл на каждый винт [12].

Пациенты, получавшие ПДКВ 15 см вод. Ст. Во время наложения цемента, имели более низкую частоту тромбозов легочной артерии и значительно меньшее количество локальных утечек по сравнению с пациентами с ПДКВ 0–5 см вод за счет уменьшения общего венозного возврата [8, 24].

По мнению ряда авторов, с целью профилактики утечки КЦ возможно применение ряда мер. Следует тщательно следить за консистенцией КЦ, которая должна приближаться к пастообразной и неукоснительно руководствоваться инструкцией к применению ПММА, вводить цемент медленно, малыми объемами, планировать траекторию и размеры транспедикулярных винтов с помощью предоперационной КТ для достижения точной установки, последовательно подтверждать введение цемента рентгеноскопией [12]. Применять вентилизацию с ПДКВ до 15 см вод. ст. во время введения цемента [24]. Мониторирование СО<sub>2</sub> в конце выдоха – чувствительный маркер для определения эмболии ЛА. Введение цемента следует прекращать при снижении концентрации СО<sub>2</sub> в конце выдоха [7].

Оптимальная стратегия лечения цементной эмболии ЛА не ясна. Многие пациентам с цементной эмболией получают терапию антикоагулянтами, исходя из предположения, что цемент может оказывать тромбогенное действие. С другой стороны, доказательств того, что КЦ является тромбогенным, или что рутинная антикоагулянтная терапия дает положительный эффект, не являются убедительным, а выбор антикоагулянта и оптимальная продолжительность лечения не определены. О тромбозах эмболии у пациентов с цементной эмболией сообщалось нечасто, и в этих случаях тромб мог быть вызван обструкцией сосудов и венозным застоем, а не образованием тромба непосредственно на поверхности цемента. Таким образом, роль рутинных антикоагулянтов у пациентов с цементной эмболией неясна. [25,26]

Очередная редакция 2019 года рекомендаций Европейского общества кардиологов по диагностике и лечению острой легочной эмболии указывает на необходимость удаления при возможности внутрисосудистых инородных тел, поскольку они могут вызвать дальнейший тромбоз и сепсис [27].

В представленных клинических случаях наблюдалась картина, характерная для тромбоза легочной артерии. И с получением первых результатов рентгенологических исследований причина клинической картины не вызвала сомнений – эмболия КЦ, который послужил субстратом для дальнейшего развития ТЭЛА. Однако детальное обсуждение полученных результатов обследования заставило сомневаться в первоначальных выводах.

Так как литературе нет убедительных данных о тромбогенных свойствах ПММА [26], в первом клиническом случае есть основания рассматривать причиной сердечно-сосудистой и дыхательной недостаточности в послеоперационном периоде ТЭЛА, источником которой был тромбоз глубоких вен левой нижней конечности, а эмболия цементом была лишь сопутствующим, клинически незначимым состоянием.

Во втором клиническом случае при проведении КТ легких, кроме инородного тела, были выявлены рентгенологические признаки пневмонии. Клиническая картина, таким образом, более вероятно обусловлена декомпенсацией ХСН и двусторонней пневмонией. Длительно существовавшее и инородное тело в правой ЛА не имело клинического значения. На фоне кардиотропной и антибактериальной терапии состояние пациента стабилизировалось, что позволило выполнить оперативное вмешательство с положительным эффектом.

Стоит отметить, что ни в первом, ни во втором случае при проведении рентгеноскопии интраоперационно и КТ поясничного отдела позвоночника в послеоперационном периоде, утечки цемента в паравертебральные вены и мягкие ткани выявлено не было. Лишь при проведении ангиографии во втором случае была выявлена паравертебральная утечка КЦ.

**Заключение.**

Использование КЦ в современной нейрохирургии играет заметную роль. Одним из возможных последствий этого метода является утечка КЦ. Большинство таких случаев остаются бессимптомными, но в некоторых из них развивается клиническая картина эмболии ЛА. В представленных клинических случаях наблюдалось симптомное течение эмболии ЛА после ТПФ с применением ПММА с разной степенью выраженности и в разные сроки послеоперационного периода. В обоих случаях нельзя с уверенностью дифференцировать причину развившейся клинической картины. Учитывая редкость симптомного течения эмболии цементом, следует настороженно относиться к ее проявлениям и не прекращать диагностический поиск с тем, чтобы не упустить другой жизнеугрожающей патологии.

**ORCID авторов:**

Давыдов Денис Владимирович,  
ORCID: 0000-0001-5449-9394  
Гизатуллин Шамиль Хамболович,  
ORCID: 0000-0002-2953-9902  
Колобаева Екатерина Георгиевна,  
ORCID: 0000-0002-4252-7084  
Антохов Владимир Петрович,  
ORCID: 0000-0003-1946-5337  
Филимонов Максим Сергеевич,  
ORCID: 0000-0003-4241-2874

**Список литературы:**

1. Saracen A., Kotwica Z. Complications of percutaneous vertebroplasty. An analysis of 1100 procedures performed in 616 patients. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95 (24): e3850. DOI: 10.1097/MD.0000000000003850.
2. Galibert P., Deramond H., Rosat P., Le Gars D. Preliminary note on the treatment of vertebral angioma by percutaneous acrylic vertebroplasty. *Neurochirurgie*. 1987;33 (2): 166–168
3. Khosla A, Diehn FE, Rad AE, Kallmes DF. Neither subendplate cement deposition nor cement leakage into the disk space during vertebroplasty significantly affects patient outcomes. *Radiology* 2012;264:180–6.
4. Kotwica Z, Saracen A. Early and long-term outcomes of vertebroplasty for single osteoporotic fractures. *Neurol Neurochir Pol* 2011;45:431–5.
5. Синопальников А.И., Тюрин И.Е., Швайко С.Н., Шейх Ж.В., Морозова Л.В., Смирнов И.П. Эмболия легочной артерии полиметилметакрилатом (костным цементом) при проведении чрескожной вертебропластики (обзор литературы и описание клинических случаев). *Пульмонология*. 2019; 29 (3): 353–359. DOI: 10.18093/0869-0189-2019-29-3-353-359
6. Hsieh MK, Kao FC, Chiu PY, et al. Risk factors of neurological deficit and pulmonary cement embolism after percutaneous vertebroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* (2019) 14:406 <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1459-4>
7. Ulusoy OL, Kahraman S, Karalok I, Kaya E, Enercan M, Sever C, et al. Pulmonary cement embolism following cement-augmented fenestrated pedicle screw fixation in adult spinal deformity patients with severe osteoporosis (analysis of 2978 fenestrated screws). *Eur Spine J* 2018;27: 2348–2356.
8. Rahimizadeh A, Hassani V, Soufiani H, Rahimizadeh A, Karimi M, Asgari N. Symptomatic pulmonary cement embolism after pedicle screw polymethylmethacrylate cement augmentation: A case report and review. *Surg Neurol Int*. 2020 Feb 7;11:18.
9. Janssen I, Ryang YM, Gempt J, Bette S, Gerhardt J, Kirschke JS, Meyer B. Risk of cement leakage and pulmonary embolism by bone cement-augmented pedicle screw fixation of the thoracolumbar spine. *Spine J*. 2017 Jun;17(6):837–844.
10. Mueller JU, Baldauf J, Marx S, Kirsch M, Schroeder HW, Pillich DT. Cement leakage in pedicle screw augmentation: a prospective analysis of 98 patients and 474 augmented pedicle screws. *J Neurosurg Spine* 2016;25: 103–109.
11. Saracen A, Kotwica Z. Treatment of multiple osteoporotic vertebral compression fractures by percutaneous cement augmentation. *IntOrthop*2014;38:2309–12.
12. Tang YC, Guo HZ, Guo DQ, Luo PJ, Li YX, Mo GY, Ma YH, Peng JC, Liang D, Zhang SC. Effect and potential risks of using multilevel cement-augmented pedicle screw fixation in osteoporotic spine with lumbar degenerative disease. *BMC MusculoskeletDisord*. 2020 Apr 28;21(1):274.
13. Парфенов В.Е., Мануковский В.А., Кандыба Д.В. и др. Осложнения чрескожной вертебропластики. *Нейрохирургия*. 2008; (2): 48–53.
14. Rothermich MA, Buchowski JM, Bumpass DB, Patterson GA. Pulmonary cement embolization after vertebroplasty requiring pulmonary wedge resection. *Clin OrthopRelat Res* 2014; 472: 1652–7.
15. Achmadzai H, Campbell S, Archis C, Clark WA. Fat embolism following percutaneous vertebroplasty: case report. *Spine J* 2014;14: E 1–5.
16. Luetmer MT, Bartholmai BJ, Rad AE, Kallmes DF. Asymptomatic and unrecognized cement pulmonary embolism commonly occurs with vertebroplasty. *AJNR Am J Neuroradiol*2011;32:654–7.
17. Duran C, Sirvanci M, Aydogan M, et al. Pulmonary cement embolism: a complication of percutaneous vertebroplasty. *Acta Radiol* 2007;48:854–9.
18. Geraci G, Lo Iacono G, Lo Nigro Ch, et al. Asymptomatic bone cement pulmonary embolism after vertebroplasty: case report and literature review. *Case Rep Surg* 2013;2013:591432.
19. Загородников Н.И., Халивопуло И.К., Сотников А.В., Ардашева Е.И. Успешное хирургическое лечение сердечной эмболии костным цементом после вертебропластики тела L2 позвонка. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2019; 8 (4S): 130–134. DOI: 10.17802/2306-1278-2019-8-4S-130–134

20. Kim MH, Lee AS, Min SH, Yoon SH. Risk factors of new compression fractures in adjacent vertebrae after percutaneous vertebroplasty. *AsianSpine J* 2011;5:180–7.
21. Yang JH, Kim JW, Park HO, et al. Intracardiac foreign body (bone cement) after percutaneous vertebroplasty. *Korean J Thorac CardiovascSurg* 2013;46:72–5.
22. Matouk C, Krings T, Ter Brugge KG, Smith R. Cement embolization of a segment artery after percutaneous vertebroplasty: a potentially catastrophic vascular complication. *IntervNeuroradiol* 2012;18:358–62.
23. Lee JJ, Choi AL, Yie MY, et al. CT evaluation of local leakage of bone cement after percutaneous kyphoplasty and vertebroplasty. *Acta Radiol* 2010;51:649–54.
24. El Saman A, Kelm A, Meier S, Sander AL, Eichler K, Marzi I, et al. Intraoperative PEEP-ventilation during PMMA-injection for augmented pedicle screws: Improvement of leakage rate in spinal surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2013;39:461–8.
25. Akinola B, Lutchman L, Barker P, Rai A. Pulmonary cement embolism during cement augmentation of pedicle screw fixation: A case report. *J OrthopSurg (HongKong)* 2010;18:364–6
26. Henderson R. Expert's comment concerning Grand Rounds case entitled "Intracardiac bone cement embolism as a complication of vertebroplasty: management strategy" by Hatzantonis C, Czyz M, Pyzik R, Boszczyk BM. *European Spine Journal*. 2017;26(12):3206–8. DOI: 10.1007/s00586-017-5089-4
27. Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS): supplementary data *European Heart Journal* (2019) 00, 119 ESC GUIDELINES doi:10.1093/eurheartj/ehz405