

УДК 617-089.844

DOI 10.34014/2227-1848-2022-1-56-64

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ИМПРЕГНИРОВАННОЙ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИИ В АСПЕКТЕ КЛИНИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ В ГНОЙНОЙ ОСТЕОЛОГИИ

И.М. Ефремов, В.И. Мидленко

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия

В области гнойной хирургии использование костного цемента на основе полиметилметакрилата (ПММА) является общепризнанным. В научной литературе содержатся весьма противоречивые данные о физико-механических свойствах импрегнированной полимерной композиции, в частности о температуре процесса полимеризации ПММА и путях ее снижения, в т.ч. за счет введения антимикробных препаратов для профилактики и лечения инфекционных осложнений у пациентов после травм и оперативных вмешательств на опорно-двигательном аппарате.

*Цель исследования: оценить в эксперименте *in vitro* температуру экзотермической реакции полимеризации костного цемента на основе ПММА и возможные пути ее снижения.*

*Материалы и методы. Выполнено 8 серий опытов *in vitro*. В каждой серии после смешивания компонентов полимерной композиции изготавливали вручную диск диаметром 45–50 мм, толщиной 5–7 мм. Измерение температуры протекающей экзотермической реакции проводили на поверхности диска при помощи бесконтактного инфракрасного термометра ADA TempPro 300 в режиме постоянного сканирования.*

*Результаты. Температура экзотермической реакции полимеризации костного цемента на основе ПММА Synicet 1 составила $92,8 \pm 1,6$ °C (*min* – 91,2 °C, *max* – 94,9 °C), а на основе Palacos®MV+G – $92,7 \pm 1,2$ °C (*min* – 91,1 °C, *max* – 93,8 °C). Уменьшение количества мономера до 50 % от исходного значения (соотношение полимера и мономера 4:1) с одновременным добавлением препарата «Секстафаг» (10 мл) привело к резкому снижению температуры экзотермической реакции более чем на 30 °C.*

*Выводы. Одним из способов уменьшения температуры экзотермической реакции *in vitro* является изменение соотношения порошка полимера и жидкого мономера в сторону уменьшения количества вводимого в состав полимерной композиции мономера.*

Ключевые слова: костный цемент, бактериофаги, полиметилметакрилат, экзотермическая реакция.

Введение. В медицине использование костного цемента (КЦ) на основе полиметилметакрилата (ПММА) является общепризнанным. КЦ применяют в различных областях хирургии, в частности при эндопротезировании суставов, онкопротезировании, пункционной вертебропластике, краниопластике, костной пластике дефектов костей различной этиологии, костной патологии [1]. Одним из направлений использования КЦ на основе ПММА является гнойная остеология [2–9].

С целью импрегнации акрилового КЦ используют только термостабильные антибиотики, так как температура экзотермической реакции полимеризации достигает высоких

цифр, что может привести к инактивации антимикробного препарата [10, 11].

Согласно ГОСТ ISO 5833–2011 «Имплантаты для хирургии. Акрилцементы» (введен в действие 01.01.2013) температура экзотермической реакции полимеризации акрилового КЦ не должна превышать 90 ± 5 °C. Однако в научной литературе встречаются весьма противоречивые данные о температуре процесса полимеризации акрилового КЦ различных коммерческих фирм. Так, Р.М. Тихилов и В.М. Шаповалов (2008) в руководстве по эндопротезированию тазобедренного сустава указывают данные о температуре полимеризации различных марок акрилового КЦ в интер-

вале от 36 до 69 °С [12]. Н.В. Загородний (2012) в монографии, посвященной эндопротезированию тазобедренного сустава, приводит данные о температуре экзотермической реакции, достигающей 120–140 °С и зависящей от различных факторов, в т.ч. от толщины цементной мантисы [13]. А.Е. Лоскутов и Е.В. Васильченко (2013), ссылаясь на зарубежных авторов, говорят о температуре полимеризации от 80 до 124 °С [14]. По сведениям Г.В. Куропаткина и И.Ф. Ахтямова (2014), температура экзотермической реакции на границе контакта «цемент – кость» составляет 60–80 °С [1]. А.Г. Самохин и соавт. (2018) приводят данные о «штатной» температуре экзотермической реакции полимеризации акрилового КЦ в 50–70 °С [15].

По мнению Н.К. Вознесенского и соавт. (2012), температура экзотермической реакции полимеризации ПММА, регистрируемая в центре полимерной композиции и зависящая от объема используемого ПММА, достигает 123±2 °С, температура губчатой костной ткани на границе «цемент – кость» – 80±3 °С, а на расстоянии (глубине) 2,5 мм от зоны контакта «цемент – кость» – 47,5 °С в течение более двух минут [16].

Однако в большинстве случаев авторы ссылаются на зарубежные исследования. Кроме того, несмотря на многочисленные возможности применения акрилового КЦ, в отечественной литературе крайне ограничено количество исследований, посвященных его физико-химическим свойствам.

Цель исследования. Оценить в эксперименте *in vitro* температуру экзотермической реакции полимеризации костного цемента на основе полиметилметакрилата и возможные пути ее снижения.

Материалы и методы. Проведена серия опытов *in vitro* с использованием КЦ на основе ПММА Synicem 1 (Франция), КЦ на основе ПММА Palacos®MV+G (Германия), одноразовой вакуумной системы для смешивания и введения костного цемента Synimix V (Франция), бесконтактного инфракрасного термометра ADA TemPro 300 (Китай), гигрометра психрометрического ВИТ-2 (Россия), коммерческого препарата бактериофагов

«Секстафаг» (серия П773, дата выпуска 08.2015, ФГУП «НПО Микроген», Россия), антибактериальных препаратов цефотаксим и гентамицин, секундомера электронного.

В ходе исследования проведены 8 серий по 4 опыта. В первой серии проводили ручное смешивание компонентов упаковки КЦ Synicem 1 в стеклянной таре. Во второй серии – ручное смешивание компонентов упаковки КЦ Synicem 1 с антибактериальным препаратом цефотаксим (масса препарата – 10 % от массы упаковки КЦ). В третьей серии проводили ручное смешивание компонентов упаковки КЦ Synicem 1 с антибактериальным препаратом цефотаксим (20 % от массы упаковки КЦ). В четвертой серии – ручное смешивание компонентов упаковки КЦ Synicem 1 с раствором антибиотика гентамицин (480 мг антибиотика). В пятой серии проводили ручное смешивание предварительно охлажденных до 5 °С компонентов упаковки КЦ Synicem 1. В шестой серии – ручное смешивание в стеклянной таре компонентов упаковки КЦ Synicem 1 с раствором коммерческого препарата бактериофагов «Секстафаг» (50 % от объема мономера). В седьмой серии – ручное смешивание компонентов упаковки КЦ Synicem 1, но количество мономера было уменьшено на 50 % и составило 10 мл; дополнительно в полимерную композицию добавили раствор коммерческого препарата бактериофагов «Секстафаг» (10 мл). В восьмой серии экспериментов проводили ручное смешивание компонентов упаковки КЦ (40 г) Palacos®MV+G в стеклянной таре.

Исследования во всех сериях эксперимента проводили в операционной с температурой окружающей среды от 22,4 до 23 °С, измеряемой при помощи гигрометра психрометрического ВИТ-2. В каждой серии после смешивания компонентов полимерной композиции изготавливали вручную (лепили) диск диаметром 45–50 мм, толщиной 5–6 мм. Измерение температуры протекающей экзотермической реакции осуществляли на поверхности диска при помощи бесконтактного инфракрасного термометра ADA TemPro 300 в режиме постоянного сканирования, прибор был направлен перпендикулярно поверхности

диска и находился на расстоянии 30 см от его поверхности. При этом фиксировали максимальную температуру протекающей экзотермической реакции (°C).

Для статистической обработки результатов использовали компьютерный пакет Statistica for Windows 10.0. Данные представляли в зависимости от вида распределения: при нормальном распределении – в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое, SD – стандартное отклонение; при распределении, отличном от нормального, – в виде Me (ИКР), где Me – медиана, ИКР – интерквартильный размах (25 процентиль – 75 процентиль). Достоверность различий между параметрами определяли с помощью параметрического

критерия t Стьюдента для непарных переменных и непараметрического критерия Манна – Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Средняя температура экзотермической реакции полимеризации КЦ на основе ПММА Synicem 1 составила $92,8 \pm 1,6$ °C (min – 91,2 °C, max – 94,9 °C), на основе Palacos® MV+G – $92,7 \pm 1,2$ °C (min – 91,1 °C, max – 93,8 °C) (табл. 1). В литературе приводятся данные о немедленном ожоге костной ткани при температуре 72 °C [1]. В связи с этим очевидно, что экзотермическая реакция полимеризации КЦ на основе ПММА, вероятнее всего, приведет к термическому ожогу костной ткани.

Таблица 1
Table 1

Температура экзотермической реакции полимеризации костного цемента, полученная в ходе исследования, °C

Temperature of exothermic reaction of bone cement polymerization, obtained during the study, °C

Серия, № Series, No	Опыт № 1 Experiment No 1	Опыт № 2 Experiment No 2	Опыт № 3 Experiment No 3	Опыт № 4 Experiment No 4	Среднее значение в серии Series average
1	91,2	94,9	92,3	92,8	$92,8 \pm 1,6$
2	88,9	90,8	89,2	90,1	$89,8 \pm 0,9$
3	79,3	90	89,4	84	$85,7 \pm 5,0$
4	90,6	87,1	86,4	87,2	$87,8 \pm 1,9$
5	89,7	89,6	88,3	95,8	$90,9 \pm 3,4$
6	88,1	87,3	87,9	90,5	$88,5 \pm 1,4$
7	58,2	55,2	57,0	55,6	$56,5 \pm 1,3$
8	92,4	93,8	91,1	93,5	$92,7 \pm 1,2$

Добавление в состав полимерной композиции акрилового КЦ антибактериального препарата в виде порошка объемом 10 или 20 % от массы упаковки, или 12 мл раствора гентами-

цина, или 10 мл раствора бактериофагов приводит к снижению температуры экзотермической реакции полимеризации. Достоверное снижение среднего показателя температуры экзотер-

мической реакции полимеризации по сравнению с данными, полученными в 1-й серии экспериментов, наблюдалось во 2-й ($92,8 \pm 1,6$ и $89,8 \pm 0,9$ °C соответственно, $p_{1-2}=0,004$), 3-й ($92,8 \pm 1,6$ и $85,7 \pm 5,0$ °C, $p_{1-3}=0,04$), 4-й ($92,8 \pm 1,6$ и $87,8 \pm 1,9$ °C, $p_{1-4}=0,004$) и 7-й ($92,8 \pm 1,6$ и $56,5 \pm 1,3$ °C, $p_{1-7}<0,001$) сериях.

Также отмечалась тенденция к снижению среднего показателя температуры экзотермической реакции полимеризации в 5-й серии, однако отличия от данных 1-й серии были недостоверны ($92,8 \pm 1,6$ и $90,9 \pm 3,4$ °C, $p_{1-5}=0,4$).

Таким образом, добавление антибактериальных препаратов: цефотаксима 10 и 20 % и гентамицина – приводит к снижению среднего показателя температуры экзотермической реакции полимеризации костного цемента на 3, 7 и 5 °C соответственно. Также отмечалось достоверное снижение среднего показателя температуры экзотермической реакции полимеризации костного цемента при добавлении коммерческого препарата бактериофагов «Секстафаг» на 4 °C и уменьшение на 36 °C при уменьшении количества мономера.

По литературным данным, одним из способов снижения температуры процесса полимеризации КЦ на основе ППМА является предварительное охлаждение его компонентов [1]. Однако в проведенном нами исследовании предварительное охлаждение компонентов КЦ на основе ПММА Synicem 1 до 5 °C (6-я серия исследования) привело к достоверному снижению среднего показателя температуры экзотермической реакции по сравнению с данными 1-й серии всего лишь на 4 °C ($92,8 \pm 1,6$ и $88,5 \pm 1,4$ °C соответственно, $p_{1-6}=0,03$). В то же время предварительное охлаждение компонентов приводит к увеличению рабочего времени и времени застывания КЦ на основе ПММА. Предварительное охлаждение компонентов КЦ целесообразно проводить при неконтролируемой температуре в операционной, когда есть угроза раннего застывания полимерной композиции, а также при добавлении большого количества антибактериальных препаратов (вследствие срыва процесса полимеризации).

Не исключено, что предварительное охлаждение компонентов эндопротеза, армирующих элементов или специальных пресс-форм для изготовления антимикробных спейсеров будет способствовать снижению температуры полимеризации, однако это необходимо подтвердить экспериментально.

В литературе имеется указание на снижение температуры экзотермической реакции полимеризации КЦ при изменении соотношения мономера и полимера от 1:2 до 1:3 [1]. Согласно проведенному нами исследованию *in vitro* уменьшение количества мономера до 50 % от исходного (заводского) значения, когда соотношение полимера и мономера становится равным 4:1, с одновременным добавлением препарата «Секстафаг» (10 мл) приводит к резкому снижению температуры экзотермической реакции полимеризации: средний показатель температуры экзотермической реакции полимеризации в 7-й серии по сравнению с данными, полученными в 1-й серии, снижен на 36 °C.

При изготовлении антимикробных спейсеров необходимо знать температуру полимеризации КЦ *in vitro*, а не на границе «цемент – кость», так как процесс полимеризации протекает вне организма человека, и рассеивание тепловой энергии будет зависеть от окружающей среды. Приведен перечень термостабильных антибиотиков, которые можно добавлять в ПММА с целью придания полимерной композиции антимикробных свойств [17, 18].

Помимо этого, необходимо отметить выявленный эффект «вскипания» поверхности полимеризующейся массы при добавлении в КЦ 12 мл раствора антибиотика (гентамицина сульфат) или 10 мл раствора бактериофага (серия 4 и серия 5). Данный эффект отмечен при достижении максимальной температуры экзотермической реакции полимеризации и, вероятнее всего, обусловлен расширением, а возможно, и закипанием добавленных растворов антимикробных веществ. Однако выход газа с разрывом поверхности «диска» не происходит, хотя его поверхность деформируется (рис. 1).



Рис. 1. Внешний вид образцов костного цемента:

- А – застывшего костного цемента Synicem 1 без добавления антибактериальных препаратов;
- Б – застывшего костного цемента Synicem 1 с добавлением 480 мг раствора гентамицина (отмечается деформация поверхности);
- В – застывшего костного цемента Palacos®MV+G

Fig. 1. Bone cement samples:

- A – solid bone cement Synicem 1 without antibacterial drugs;
- B – solid bone cement Synicem 1 with 480 mg of gentamicin solution (surface deformation is observed);
- B – solid bone cement Palacos®MV+G

Это необходимо учитывать, так как возможно формирование «макрополостей» и нарушение механических свойств застывшей полимерной композиции. В результате чего

возможно разрушение спейсера, антимикробного покрытия штифта, «цементной мантии» эндопротеза или спейсера (рис. 2).



Рис. 2. Макрополость в застывшем костном цементе Synicem 1 (интрамедуллярный спейсер без армирования; формирование спейсера при помощи силиконовой трубки)

Fig. 2. Macrocavity in solid bone cement Synicem 1 (intramedullary spacer without reinforcement; spacer formation with silicone tube)

Заключение. Одним из способов уменьшения температуры экзотермической реакции *in vitro* является изменение соотношения порошка полимера и жидкого мономера в сторону уменьшения количества вводимого в со-

став полимерной композиции мономера. Полученные экспериментальные данные целесообразно учитывать в рутинной клинической практике для предупреждения развития инфекционных периоперационных осложнений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Куропаткин Г.В., Ахтямов И.Ф. Костный цемент в травматологии и ортопедии. 2-е изд., доп. и перераб. Казань; 2014. 188.
2. Ефименко Н.А., Грицюк А.А., Середа А.П., Давыдов Д.В., Самойлов А.С. Профилактика инфекций области хирургического вмешательства в травматологии и ортопедии: использование антибиотиков в костном цементе. Инфекции в хирургии. 2009; 2: 15–27.
3. Иванов П.А., Соколов В.А., Бялик Е.И., Диденко О.А., Неведров А.В. Применение интрамедуллярных штифтов с активным антибактериальным покрытием при лечении тяжелых открытых переломов и их последствий. Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2009; 1: 13–18.
4. Пахомов И.А. Реконструктивно-пластическое хирургическое лечение хронического остеомиелита пяточной кости, осложненного коллапсом мягких тканей. Гений ортопедии. 2011; 3: 28–32.
5. Конев В.А., Божкова С.А., Нетьлько Г.И., Афанасьев А.В., Румакин В.П., Полякова Е.М., Рукина А.Н., Парфеев Д.Г. Результаты применения фосфомицина для импрегнации остеозамещающих материалов при лечении хронического остеомиелита. Травматология и ортопедия России. 2016; 22 (2): 43–56. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-43-56.
6. Reinhard Schnettler, Hans-Ulrich Steinau. Septic Bone and Joint Surgery. 2010. 313.
7. Комаров Р.Н., Митрофанов В.Н., Новиков А.В., Королев С.Б. Тактика лечения инфекционных осложнений после эндопротезирования тазобедренного сустава. Травматология и ортопедия России. 2016; 22 (4): 25–34. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34.
8. Павлов В.В., Садовой М.А., Прохоренко В.М. Современные аспекты диагностики и хирургического лечения пациентов с перипротезной инфекцией тазобедренного сустава (обзор литературы). Травматология и ортопедия России. 2015; 1: 116–128. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128.
9. Преображенский П.М., Божкова С.А., Каземирский А.В., Гончаров М.Ю. Результаты этапного лечения пациентов с перипротезной инфекцией после эндопротезирования коленного сустава. Травматология и ортопедия России. 2017; 23 (1): 98–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107.
10. Божкова С.А., Новокшионова А.А., Конев В.А. Современные возможности локальной антибиотикотерапии перипротезной инфекции и остеомиелита (обзор литературы). Травматология и ортопедия России. 2015; 3 (77): 92–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-3-92-107.
11. Григоричева Л.Г., ред. Инфекции опорно-двигательного аппарата. Основные принципы, профилактика, диагностика и лечение. Барнаул; 2017. 250.
12. Тихилов Р.М., Шаповалов В.М. Руководство по эндопротезированию тазобедренного сустава. СПб.: РНИИТО им. Р.Р. Вредена; 2008. 324.
13. Загородний Н.В. Эндопротезирование тазобедренного сустава. Основы и практика: руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2012. 704.
14. Лоскутов А.Е., Васильченко Е.В. Костный цемент в эндопротезировании тазобедренного сустава (обзор литературы). Літопис травматології та ортопедії. 2013; 1-2: 25–26.
15. Самохин А.Г., Козлова Ю.Н., Корнеев Д.В., Таранов О.С., Федоров Е.А., Павлов В.В., Морозова В.В., Тикунова Н.В. Экспериментальное исследование антибактериальной активности литического стафилококкового бактериофага rh20 и литического бактериофага синегнойной палочки rh57 при моделировании их импрегнации в ортопедические полимерные конструкции из полиметилметакрилата (костного цемента). Вестник Российской академии медицинских наук. 2018; 73 (1): 59–68. DOI: 10.15690/vgramn905.
16. Вознесенский Н.К., Богданов В.Н., Дорохович С.Д., Забарянский Ю.Г., Кураченко Ю.А., Матусевич Е.С., Левченко В.А., Мардынский Ю.С., Вознесенская Н.Н. Моделирование температурных полей в костной ткани позвонков при стабилизирующей вертебропластике. Радиационная онкология и ядерная медицина. 2012; 2: 37–45.

17. Тихилова Р.М., Божковой С.А., Шубнякова И.И., ред. Материалы Второй Международной согласительной конференции по скелетно-мышечной инфекции. СПб.: РНИИТО им. Р.Р. Вредена; 2019. 314.
18. Божкова С.А., Полякова Е.М., Афанасьев А.В., Лабутин Д.В., Ваганов Г.В., Юдин В.Е. Фосфомицин – возможности применения для локальной терапии перипротезной инфекции. Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2016; 18 (3): 104–112.

Поступила в редакцию 01.10.2021; принята 03.02.2022.

Авторский коллектив

Ефремов Иван Михайлович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: efremov-im@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4625-8424>.

Мидленко Владимир Ильич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной хирургии, анестезиологии, реаниматологии, урологии, травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет». 432017, Россия, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42; e-mail: kafsvmp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4358-8484>.

Образец цитирования

Ефремов И.М., Мидленко В.И. Исследование физико-механических свойств импрегнированной полимерной композиции в аспекте клинического применения в гнойной остеологии. Ульяновский медико-биологический журнал. 2022; 1: 56–64. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-1-56-64.

STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER-IMPREGNATED COMPOSITION IN CLINICAL PURULENT OSTEOLOGY

I.M. Efremov, V.I. Midlenko

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

Bone cement, or PMMA (polymethyl methacrylate) is often used in purulent surgery. Scientific literature contains very contradictory data on the physical and mechanical properties of polymer-impregnated compositions, in particular, on the temperature of the PMMA polymerization process and the ways to reduce it, such as introduction of antimicrobial drugs for prevention and treatment of infectious complications in patients after injuries and musculoskeletal surgery.

The aim of the study is to conduct an in vitro experiment and to evaluate the temperature of the exothermic polymerization reaction of bone cement (PMMA) and possible ways to reduce it.

Materials and Methods. The authors conducted 8 series of experiments in vitro. In each series, a disk (45–50 mm in diameter, 5–7 mm thick) was made by hand after mixing the components of the polymer composition. The temperature of the ongoing exothermic reaction was measured on the disk surface using a non-contact infrared thermometer ADA TemPro 300 in a continuous scanning mode.

Results. The temperature of the exothermic polymerization reaction of PMMA Synicem 1-based bone cement was 92.8 ± 1.6 °C (min 91.2 °C, max 94.9 °C), and Palacos®MV+G-based bone cement 92.7 ± 1.2 °C (min 91.1 °C, max 93.8 °C). Reducing the monomer amount by 50 % (polymer / monomer ratio was equal to 4:1) and simultaneously introducing “Sextaphage” (10 ml) led to a sharp temperature decrease of the exothermic reaction by more than 30 °C.

Conclusions. One of the ways to reduce the temperature of the exothermic reaction in vitro is to change the ratio of polymer powder and liquid monomer, reducing the amount of monomer introduced into the polymer composition.

Key words: bone cement, bacteriophages, polymethyl methacrylate, exothermic reaction.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

References

1. Kuropatkin G.V., Akhtyamov I.F. *Kostnyy tsement v travmatologii i ortopedii* [Bone cement in traumatology and orthopedics]. 2-e izd., dop. i pererab. Kazan'; 2014. 188 (in Russian).
2. Efimenko N.A., Gritsyuk A.A., Sereda A.P., Davydov D.V., Samoylov A.S. Profilaktika infektsiy oblasti khirurgicheskogo vmeshatel'stva v travmatologii i ortopedii: ispol'zovanie antibiotikov v kostnom tsemente [Prevention of surgical site infections in traumatology and orthopedics: Antibiotics in bone cement]. *Infektsii v khirurgii*. 2009; 2: 15–27 (in Russian).
3. Ivanov P.A., Sokolov V.A., Byalik E.I., Didenko O.A., Nevedrov A.V. Primenenie intramedullyarnykh shtiftov s aktivnym antibakterial'nym pokrytiem pri lechenii tyazhelykh otkrytykh perelomov i ikh posledstviy [Intramedullary nails with an active antibacterial coating in the treatment of severe open fractures and their after-effects]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2009; 1: 13–18 (in Russian).
4. Pakhomov I.A. Rekonstruktivno-plasticheskoe khirurgicheskoe lechenie khronicheskogo osteomielita pyatochnoy kosti, oslozhnennogo kollapsom myagkikh tkaney [Reconstructive and plastic surgical treatment of chronic calcaneal osteomyelitis complicated by soft tissue collapse]. *Geniy ortopedii*. 2011; 3: 28–32 (in Russian).
5. Konev V.A., Bozhkova S.A., Netyl'ko G.I., Afanas'ev A.V., Rumakin V.P., Polyakova E.M., Rukina A.N., Parfeev D.G. Rezul'taty primeniya fosfomitsina dlya impregnatsii osteozameshchayushchikh materialov pri lechenii khronicheskogo osteomielita [Results of fosfomycin application for impregnation of bone replacement materials in the treatment of chronic osteomyelitis]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2016; 22 (2): 43–56. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-43-56 (in Russian).
6. Reinhard Schnettler, Hans-Ulrich Steinau. *Septic Bone and Joint Surgery*. 2010. 313.
7. Komarov R.N., Mitrofanov V.N., Novikov A.V., Korolev S.B. Taktika lecheniya infektsionnykh oslozheniy posle endoprotezirovaniya tazobedrennogo sustava [Treatment of infectious complications after hip replacement]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2016; 22 (4): 25–34. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-25-34 (in Russian).
8. Pavlov V.V., Sadovoy M.A., Prokhorenko V.M. Sovremennyye aspekty diagnostiki i khirurgicheskogo lecheniya patsientov s periproteznoy infektsiey tazobedrennogo sustava (obzor literatury) [Modern aspects of diagnostic and surgical treatment of patients with hip periprosthetic infection (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2015; 1: 116–128. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-1-116-128 (in Russian).
9. Preobrazhenskiy P.M., Bozhkova S.A., Kazemirskiy A.V., Goncharov M.Yu. Rezul'taty etapnogo lecheniya patsientov s periproteznoy infektsiey posle endoprotezirovaniya kolennogo sustava [Results of two-staged reimplantation in patients with periprosthetic joint infection after knee arthroplasty]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2017; 23 (1): 98–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-98-107 (in Russian).
10. Bozhkova S.A., Novokshonova A.A., Konev V.A. Sovremennyye vozmozhnosti lokal'noy antibiotikoterapii periproteznoy infektsii i osteomielita (obzor literatury) [Current trends in local antibacterial therapy of periprosthetic infection and osteomyelitis (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2015; 3 (77): 92–107. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-3-92-107 (in Russian).
11. Grigorieva L.G., red. *Infektsii oporno-dvigatel'nogo apparata. Osnovnye printsipy, profilaktika, diagnostika i lechenie* [Infections of the musculoskeletal system. Basic principles, prevention, diagnosis and treatment]. Barnaul; 2017. 250 (in Russian).
12. Tikhilov R.M., Shapovalov V.M. *Rukovodstvo po endoprotezirovaniyu tazobedrennogo sustava* [Guidelines for hip arthroplasty]. St. Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2008. 324 (in Russian).
13. Zagorodniy N.V. *Endoprotezirovaniye tazobedrennogo sustava. Osnovy i praktika: rukovodstvo* [Endoprosthetics of the hip joint. Fundamentals and practice: Manual]. Moscow: GEOTAR-Media; 2012. 704 (in Russian).
14. Loskutov A.E., Vasil'chenko E.V. Kostnyy tsement v endoprotezirovanii tazobedrennogo sustava (obzor literatury) [Bone cement in hip arthroplasty (review)]. *Litopis travmatologii ta ortopedii*. 2013; 1-2: 25–26 (in Russian).
15. Samokhin A.G., Kozlova Yu.N., Korneev D.V., Taranov O.S., Fedorov E.A., Pavlov V.V., Morozova V.V., Tikunova N.V. Eksperimental'noe issledovanie antibakterial'noy aktivnosti liticheskogo stafilokokkovogo bakteriofaga ph20 i liticheskogo bakteriofaga sinegnoynoy palochki ph57 pri modelirovaniy ikh impregnatsii v ortopedicheskie polimernye konstruksii iz polimetilmetakrilata (kostnogo tsementa) [Experimental study of the antibacterial activity of lytic staphylococcal aureus bacteriophage ph20 and lytic pseudomonas aeruginosa bacteriophage ph57 when modeling impregnation into poly (methylmetacrylate)]

- orthopedic implants (bone cement)]. *Vestnik Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2018; 73 (1): 59–68. DOI: 10.15690/vramn905 (in Russian).
16. Voznesenskiy N.K., Bogdanov V.N., Dorokhov S.D., Zabaryanskiy Yu.G., Kurachenko Yu.A., Matushevich E.S., Levchenko V.A., Mardynskiy Yu.S., Voznesenskaya N.N. Modelirovanie temperaturnykh poley v kostnoy tkani pozvonkov pri stabiliziruyushchey vertebroplastike [Modeling of temperature fields in vertebrae bone tissue under stabilizing vertebroplasty]. *Radiatsionnaya onkologiya i yadernaya meditsina*. 2012; 2: 37–45 (in Russian).
17. Tikhilova R.M., Bozhkovoy S.A., Shubnyakova I.I., red. *Materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy soglasitel'noy konferentsii po skeletno-myshechnoy infektsii* [Proceedings of the 2nd International Conference on Musculoskeletal Infection]. St. Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2019. 314 (in Russian).
18. Bozhkova S.A., Polyakova E.M., Afanas'ev A.V., Labutin D.V., Vaganov G.V., Yudin V.E. Fosfomitsin – vozmozhnosti primeneniya dlya lokal'noy terapii periproteznoy infektsii [Fosfomycin: Application for local therapy of periprosthetic infection]. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya*. 2016; 18 (3): 104–112 (in Russian).

Received 01 October 2021; accepted 03 February 2022.

Information about the authors

Efremov Ivan Mikhailovich, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Chair of Hospital Surgery, Anesthesiology, Resuscitation, Urology, Traumatology and Orthopedics, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: efremov-im@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4625-8424>.

Midlenko Vladimir Il'ich, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Head of the Chair of Hospital Surgery, Anesthesiology, Resuscitation, Urology, Traumatology and Orthopedics, Ulyanovsk State University. 432017, Russia, Ulyanovsk, L. Tolstoy St., 42; e-mail: kafsvmp@yandex.ru, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4358-8484>.

For citation

Efremov I.M., Midlenko V.I. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv impregirovannoy polimernoy kompozitsii v aspekte klinicheskogo primeneniya v gnoynoy osteologii [Study of physical and mechanical properties of polymer-impregnated composition in clinical purulent osteology]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskiy zhurnal*. 2022; 1: 56–64. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-1-56-64 (in Russian).