

АВТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТАЛЛОФИКСАТОРОВ С АЛМАЗОПОДОБНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ: ОТ ТЕОРИИ К ВОЗМОЖНОЙ ПРАКТИКЕ

Бердюгин К.А.^{1,2}, Шлыков И.Л.^{1,2}, Бердюгина О.В.^{1,3}, Макарова Э.Б.^{1,2}, Дюрягин В.С.⁴, Фадеев И.А.⁴

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, Екатеринбург, e-mail: kiralber73@rambler.ru;

²ГБУЗ СО «ЦСВМП «Уральский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина», Екатеринбург;

³ФГБУ «Уральский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, Екатеринбург, e-mail: berolga73@rambler.ru;

⁴Общество с ограниченной ответственностью «Нараяма», Москва, e-mail: iafadeev@gmail.com

Работа посвящена возможностям применения алмазоподобного углеродного покрытия при изготовлении конструкций, применяемых в травматологии и ортопедии – винты, пластины, штанги, стержни, эндопротезы тазобедренного и коленного сустава. Известно, что одной из проблем металлоостеосинтеза является развитие резорбции костной ткани в ответ на компоненты металлов, входящих в состав фиксатора. Кроме этого, учитывая усилия, направленные на введение фиксаторов, например, бедренной части (ножки) и чашки эндопротеза тазобедренного сустава, необходимо обеспечить уменьшение коэффициента трения и упрочение поверхности материала эндопротеза, и, следовательно, уменьшить вероятность попадания в живую ткань металлических частей износа. Для профилактики возможных осложнений данные конструкции выполняются из сплава титана или из сплава на основе железа, снабжаясь при этом покрытием из твердого аморфного алмазоподобного углерода толщиной 0,5–1,5 мкм, под которым расположен промежуточный адгезионный слой, выполненный из титана или его соединений с углеродом толщиной 0,05–0,15 мкм для усиления сцепления покрытия с основным материалом конструкции.

Ключевые слова: алмазоподобное покрытие, эндопротез, металлофиксатор.

COPYRIGHT SOLUTIONS FOR CREATION METALLOFIKSATOROV WITH DIAMOND-LIKE COATINGS: FROM THEORY TO PRACTICE POSSIBLE

Berdyugin K.A.^{1,2}, Shlykov I.L.^{1,2}, Berdyugina O.V.^{1,3}, Makarova E.B.^{1,2}, Duriagin V.S.⁴, Fadeev I.A.⁴

¹Ural Institute of Traumatology and Orthopaedics, Yekaterinburg, e-mail: kiralber73@rambler.ru;

²Ural state medical university, Yekaterinburg;

³Ural scientific research institute of phthysipulmonology, Yekaterinburg, e-mail: berolga73@rambler.ru;

⁴Narayama, Moscow, e-mail: iafadeev@gmail.com

The work is devoted to the possibilities of application of diamond-like carbon coating in the manufacture of structures used in traumatology and orthopedics – screws, plates, bars, rods, endoprosthesis of hip and knee joint. It is known that one of the problems is the development of osteosynthesis of bone resorption in response to metal components that make up the retainer. Moreover, given the efforts to introduce fasteners such as the femoral part (feet), and a cup of a hip joint endoprosthesis, it is necessary to provide a reduction of the friction coefficient and the surface of the endoprosthesis strengthening material and thus reduce the likelihood of contact with the living tissue of the metal parts wear. To prevent possible complications of the data structure are made of titanium alloy or iron-based alloy, in this case provided with a coating of amorphous diamond-like carbon of 0.5–1.5 microns thickness, which is an intermediate for the adhesion layer made of titanium or its compounds with carbon thickness of 0.05 to 0.15 micron coating to enhance adhesion to the main material of construction.

Keywords: diamondlike carbon, endoprosthesis, metalfixation.

Известно, что операции погружного остеосинтеза могут иметь целый ряд непредвиденных, но по-своему закономерных осложнений [10-12]. Часть из них может быть спрогнозирована [13-21] применением современного иммунологического мониторинга,

однако имеются и такие, возникновение которых напрямую зависит от длительного контакта кость-металл.

Все приведенные нами металлоконструкции [1-9] относятся к медицине, а именно – к погружным фиксирующим устройствам, и могут быть использованы в травматологии и ортопедии при оперативном лечении переломов длинных и плоских костей.

Исходя из опыта применения указанных устройств, одной из проблем погружного остеосинтеза является развитие резорбции костной ткани в ответ на компоненты металлов, входящих в состав фиксатора. Известно, что при коррозии металлофиксаторов, содержащих железо, идет накопление ионов железа в лимфоидных органах (Гюнтер В.Э. //Росс. вестн. дентал. имплантол. 2003. № 2). Кроме этого, учитывая усилия, направленные на затягивания гаек на винтах при фиксации в них соединительных стержней-штанг при транспедикулярной фиксации, притягивание винтов к пластине. Вколачивание интрамедуллярного стержня, необходимо обеспечить уменьшение коэффициента трения и упрочение поверхности материала металлофиксатора, и, следовательно, уменьшить вероятность попадания в живую ткань металлических частей износа. Кроме того, возможно развитие резорбции костной ткани и асептического воспаления в мышечной ткани вследствие постоянного пребывания фиксаторов в организме пациента.

Результат и обсуждение

Влияние пленок состава «углерод» и «углерод-азот» на остеогенез *in vivo* впервые изучено в Уральском институте травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина д. м. н. Макаровой Э.Б.

В результате экспериментальных исследований в течение 10 лет было доказано, что «алмазоподобная нерезорбируемая углеродная пленка» является остеоиндуктивным материалом, стимулирующим репаративный остеогенез *in vivo*.

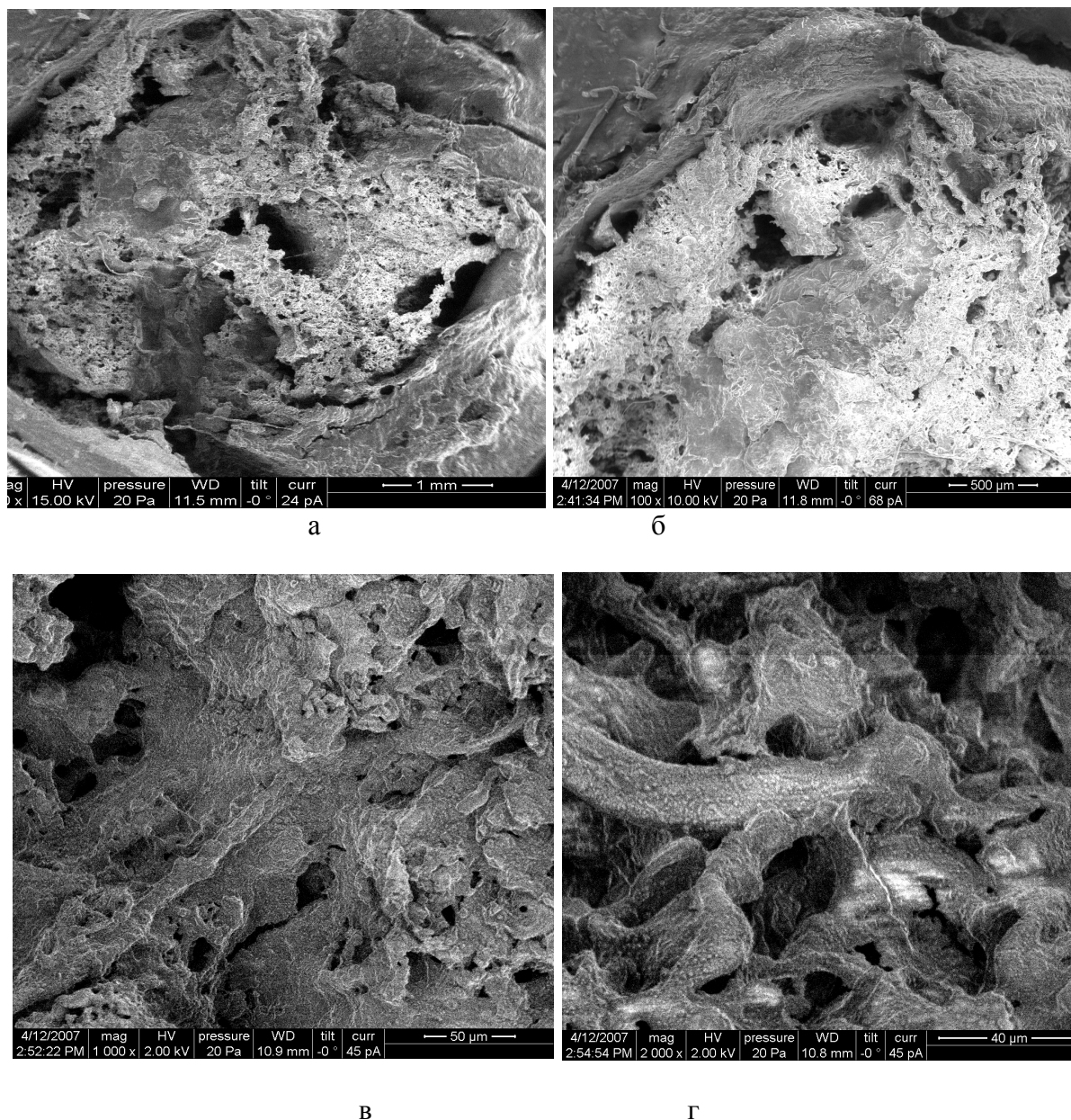


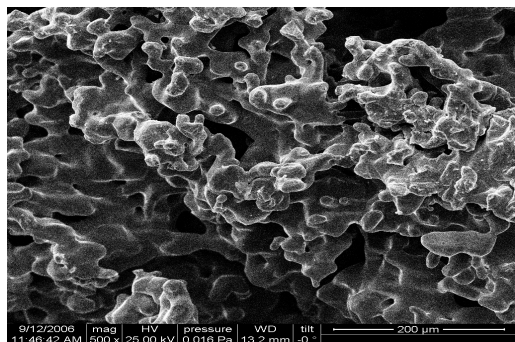
Рис. 1. Кролик. Имплантат – $\text{PTi}_{40}\text{GA-MK}$. Титановая матрица вытравлена. СЭМ – микрофото. 16-ть недель после операции. а – блок «материнское ложе – имплантат с образованной в порах костной тканью»; б, в, г – участки этого же блока

Ее применение увеличивает количество остеогенных клеток в костной ткани, прилежащей к сформированному дефекту, заполненному пористыми титановыми имплантатами с алмазоподобными пленками, количество клеток, экспрессирующих щелочную фосфатазу. В результате на ранних этапах регенерации образуется более прочная «на разрыв» кость в интерфейсе «костное ложе – имплантат», уменьшается объем незрелой костной ткани в центральных областях внедрения имплантата, дистрофические и склеротические изменения в костном ложе и новообразованной костной ткани.

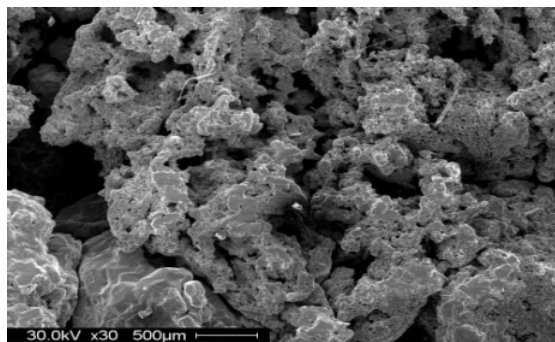
Известны различные фиксаторы, выполненные из сплава на основе титана и обладающие стойкостью к усталостным переломам. Однако их покрытие имеет недостаточно высокую твердость и невысокую адгезию к поверхности основного материала.

Нами преследовался следующий технический результат – создание усовершенствованного фиксатора с покрытием, повышающим его прочностные свойства и позволяющим устранить возможную коррозию металла и резорбцию костной ткани.

Для решения поставленной задачи вышеуказанные фиксаторы выполнены с покрытием из твердого аморфного алмазоподобного углерода толщиной 0,5–1,5 мкм, под которым расположен промежуточный адгезионный слой, выполненный из титана (рис. 2) или его соединений с углеродом толщиной 0,05–0,15 мкм для усиления сцепления покрытия с основным материалом винта.



а



б



в



г

Рис. 2. Исходные гранулы (а), пористый титан (б), установка для получения компакта (в), пористые титановые имплантаты с алмазоподобными пленками для замещения дефектов костной ткани (г)

В качестве типичного примера авторских разработок приведем один из фиксаторов. Стержень-штанга (рис. 3) представляет собой стержень стандартной конструкции, изготовленный из сплава титана марки ВТ 14 или из сплава на основе железа 12Х18Н9Т. Стержень-штанга имеет покрытие из двух слоев: промежуточный адгезионный слой

толщиной 0,05–0,15 мкм, выполненный из титана или его соединений с углеродом и слой из твердого аморфного алмазоподобного углерода толщиной 0,5–1,5 мкм.

Оперативное вмешательство выполняют в положении на животе. Разрез кожи производят по средней линии над остистыми отростками на 1–2 позвонка выше и ниже поврежденного. Скелетируют остистые отростки и дужки до основания поперечных отростков и определяют стандартные точки введения винтов, также имеющих покрытие из твердого аморфного алмазоподобного углерода [1] (рис. 4).



Рис. 3. Штанга для транспедикулярной фиксации

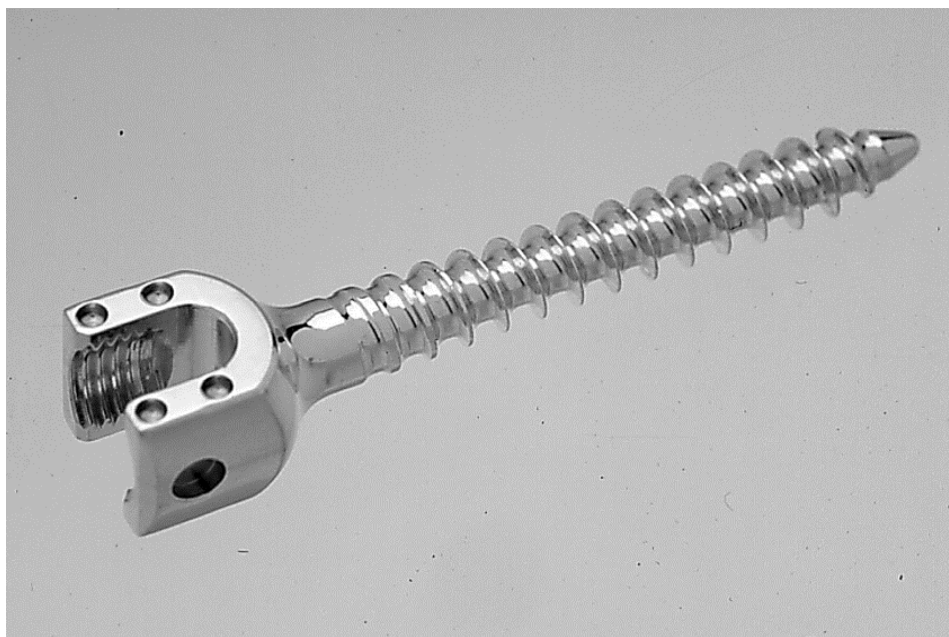


Рис. 4. Транспедикулярные винты

Например, в грудном отделе точки введения находятся на пересечении вертикальной линии, проходящей через середину выпуклой части суставного отростка и горизонтальной линии, проведенной через середину верхней трети основания поперечного отростка. Перед установкой винтов необходимо подготовить зону их введения – для этого кусачками удаляют кортикальный слой дуги до губчатой кости над местом введения винта и намечают входную точку для его введения. Транспедикулярный винт с помощью отвертки внедряют вращательными движениями до упора его головки в надкостницу позвонка.

После проведения устранения смещений позвонка транспедикулярные винты соединяют стержнем-штангой [5] в положении максимальной адаптации к форме позвоночника (рис. 5). Активный дренаж, послойные швы на рану.

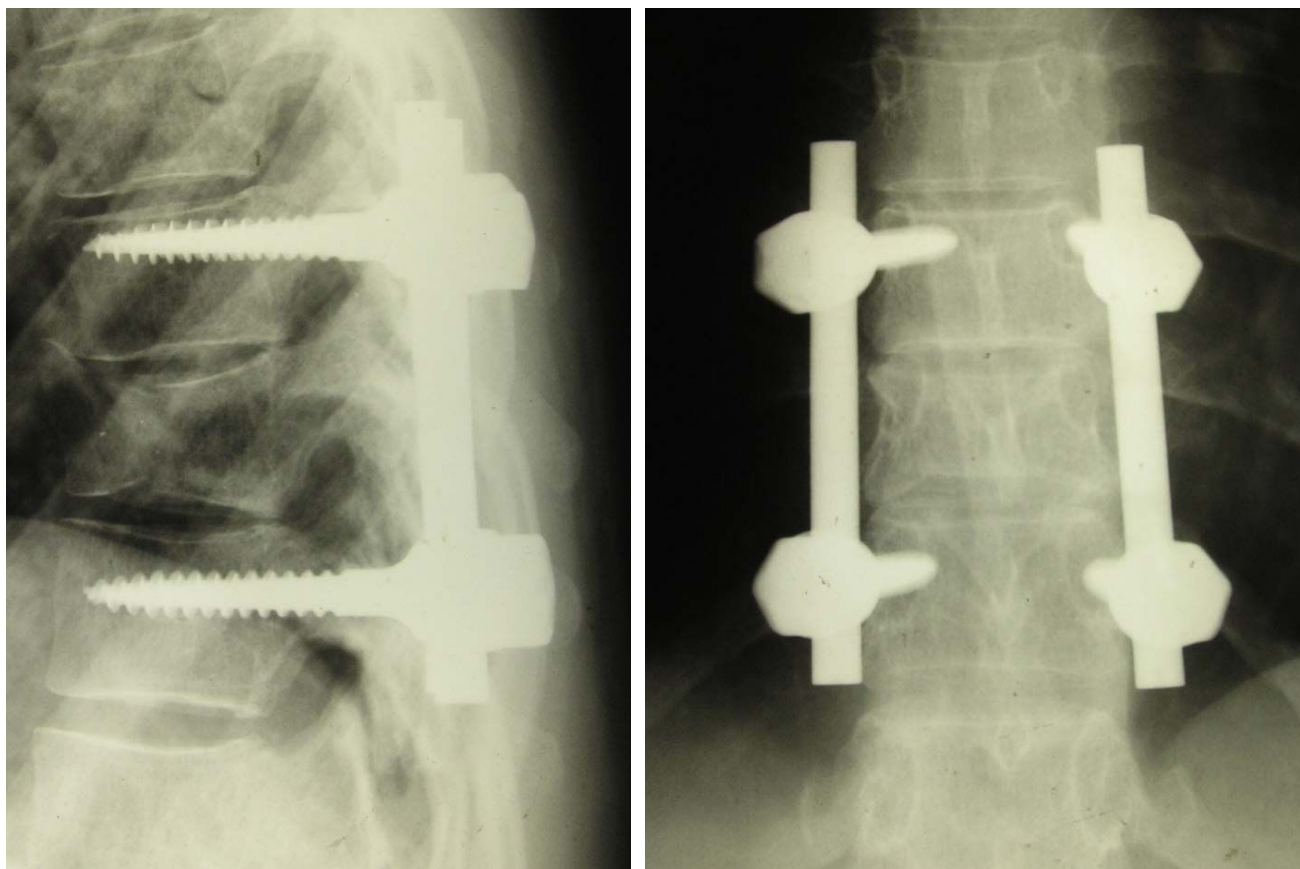


Рис. 5. Произведена транспедикулярная фиксация позвоночника

Использование фиксаторов, имеющих покрытие из твердого аморфного алмазоподобного углерода, позволит избежать развития асептического некроза и резорбции костной ткани позвонка, повышаются прочностные и трибологические свойства поверхности стержня-штанги. При этом не усложняется операционный прием и не увеличивается травматичность операции.

Данный проект должен быть взаимосвязан с другими приоритетными проектами в сфере травматологии, 3D-моделирования в медицине, развития клеточных технологий и

создания искусственных органов человека из стволовых клеток (рис. 6).



Рис. 6. Установки для проведения напыления алмазоподобных покрытий и проведения 3-D моделирования

Выводы

Использование фиксаторов, имеющих покрытие из твердого аморфного алмазоподобного углерода, позволит избежать развития асептического некроза и резорбции костной ткани, повышаются прочностные и трибологические свойства поверхности конструкции. При этом не усложняется операционный прием и не увеличивается его травматичность.

Список литературы

1. Пат. на полезную модель 129795 РФ, МПК11 А 61 В 17/56. Транспедикулярный винт с покрытием из алмазоподобного углерода / И.Л. Шлыков, К.А. Бердюгин, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2013105671/14; заявл.11.02.2013; опубл.10.07.2013, Бюл. № 19. – 2 с.
2. Пат. на полезную модель 133405 РФ, МПК11 А 61 В 17/56. Шуруп для остеосинтеза с покрытием из алмазоподобного углерода / И.Л. Шлыков, К.А. Бердюгин, А.П. Рубштейн, И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2013125593/14; заявл. 03.06.2013; опубл.20.10.2013, Бюл. № 29. – 1 с.

3. Пат. на полезную модель 133407 РФ, МПК11 А 61 В 17/72. Интрамедуллярный стержень с покрытием из алмазоподобного углерода / И.Л. Шлыков, К.А. Бердюгин, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2013125597/14; заявл.03.06.2013; опубл.20.10.2013, Бюл. № 29. – 1 с.
4. Пат. на полезную модель 133717 РФ, МПК11 А 61 В 17/56. Пластина для накостного остеосинтеза / И.Л. Шлыков, К.А. Бердюгин, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2013125600/14; заявл.03.06.2013; опубл.27.10.2013, Бюл. № 30. – 1 с.
5. Пат. на полезную модель 137460 РФ, МПК11 А 61 В 17/56. Штанга для соединения транспедикулярных винтов при остеосинтезе позвоночника / И.Л. Шлыков, К.А. Бердюгин, А.П. Рубштейн, И.Ш. Трахтенберг, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2013125598/14; заявл.03.06.2013; опубл.20.02.2014, Бюл. № 5. – 1 с.
6. Пат. на полезную модель 151211 РФ, МПК11 А 61 В 17/56. Резьбовой стержень для аппарата внешней фиксации при лечении повреждений задних отделов таза / К.А. Бердюгин, И.Л. Шлыков, А.В. Рунков, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров (РФ). – № 2014138845/14; заявл.25.09.2014; опубл.27.03.2015, Бюл. № 9. – 1 с.
7. Пат. на полезную модель 154071 РФ, МПК11 А 61 В 17/00, 17/70. Резьбовой стержень для аппарата внешней фиксации позвоночника / К.А. Бердюгин, О.В. Бердюгина (РФ). – № 2015106000/14; заявл.20.02.2015; опубл.10.08.2015, Бюл. № 22. – 1 с.
8. Пат. на полезную модель 154335 РФ, МПК11 А 61 F 2/32. Эндопротез тазобедренного сустава с покрытием / К.А. Бердюгин, И.Л. Шлыков, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров, О.В. Бердюгина (РФ). – № 2014140639/14; заявл.07.10.2014; опубл.20.08.2015, Бюл. № 23. – 1 с.
9. Пат. на полезную модель 154362 РФ, МПК11 А 61 F 2/38. Эндопротез коленного сустава с покрытием / К.А. Бердюгин, И.Л. Шлыков, Э.Б. Макарова, А.П. Рубштейн, А.Б. Владимиров, О.В. Бердюгина (РФ). – № 2014140625/14; заявл.07.10.2014; опубл.20.08.2015, Бюл. № 23. – 1 с.
10. Бердюгин К.А., Шлыков И.Л., Макарова Э.Б., Рубштейн А.П., Владимиров А.Б., Бердюгина О.В. Применение алмазоподобных покрытий при эндопротезировании крупных суставов: от теории к возможной практике // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 2.; URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24130> (дата обращения: 02.03.2016).
11. Бердюгин К.А., Штадлер Д.И., Гусев Д.А. Современные материалы для формирования индуцированного костного блока при операциях на позвоночнике // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 4-2. – С.415-418.

12. Бердюгин К.А. [и др.] Ошибки и осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями (Обзор литературы) / К.А. Бердюгин, А.К. Чертков, Д.И. Штадлер, М.Е. Климов, А.Е. Бетц, О.В. Бердюгина, Д.Ю. Гусев, Н.В. Новицкая // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 4-2. – С.425-431.
13. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. К вопросу о прогнозировании воспалительных осложнений при внешней фиксации позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2008. – № 2. – С.14-17.
14. Бердюгина О.В., Симбирцев А.С., Бердюгин К.А. Иммунологические аспекты остеогенеза при местном воспалении // Иммунология. – 2008. – № 5. – С.295-298.
15. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Иммунологические критерии прогнозирования замедленной консолидации костной ткани // Травматология и ортопедия России. – СПб., 2009. – № 2(52). – С.59-66.
16. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Иммунологический подход в прогнозировании осложнений оперативного лечения позвоночника // Политравма. – Кемерово: Издательский дом «Медицина и Просвещение», 2009. – № 3. – С.54-58.
17. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Использование иммунологических тестов в прогнозировании замедленного остеогенеза // Политравма. – Кемерово: Издательский дом «Медицина и Просвещение», 2009. – № 4. – С.45-51.
18. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Иммунологический мониторинг замедленного костеобразования // Цитокины и воспаление – СПб.: НИИ ЭМ, 2010. – Т 9. – № 1. – С.66-70.
19. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Иммунологические критерии прогнозирования формирования костного блока при оперативном лечении повреждений позвоночника // Уральский медицинский журнал. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГМА Росздрава, 2010. – № 06 (71). – С.78-82.
20. Бердюгин К.А., Бердюгина О.В. Способ прогнозирования послеоперационных осложнений в травматологии и ортопедии // Фундаментальные исследования. – 2010. – № 6. – С.14-19.
21. Бердюгина О.В., Бердюгин К.А. Лабораторные критерии прогноза замедленной консолидации костной ткани // Уральский медицинский журнал. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГМА Росздрава, 2010. – № 06 (71). – С.83-88.