

УДК 539.23: 616.71-007.234-018.4

С.В. Гюльназарова¹, А.А. Ганжа², И.П. Кудрявцева², А.П. Рубштейн³**СРАВНИТЕЛЬНОЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ОСТЕОИНДУКТИВНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ АЛМАЗОПОДОБНЫХ
ПЛЕНОК ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ФИКСАТОРОВ ПРИ ОСТЕОСИНТЕЗЕ
В УСЛОВИЯХ ОСТЕОПОРОЗА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)**¹ Уральский государственный медицинский университет Минздрава России,
г. Екатеринбург, Российская Федерация;² Уральский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина,
г. Екатеринбург, Российская Федерация;³ Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская ФедерацияS.V. Gyulnazarova¹, A.A. Ganzha², J.P. Kudriavtzeva², A.P. Rubshtein³**COMPARATIVE MORPHOLOGICAL INVESTIGATION OF OSTEOINDUCTIVE
CHARACTERISTICS FOR DIFFERENT DIAMOND-LIKE CARBONS FILMS
FOR THE FIXATOR COVERING IN CONDITIONS OF OSTEOPOROSIS
(EXPERIMENTAL RESULTS)**¹ Ural State Medical University, Yekaterinburg, Russian Federation;² Ural Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. V.D. Chaklin, Yekaterinburg, Russian Federation;³ M.N. Mischev Institute of Metall Physics UB RAS, Yekaterinburg, Russian Federation

Резюме. В статье представлены сравнительные результаты экспериментального морфологического исследования реакции остеопоротически перестроенной костной ткани на введение спиц у 104 крыс линии Вистар. **Цель.** Сравнительное морфологическое изучение реакции остеопоротически перестроенной костной ткани на алмазоподобные покрытия спиц, используемых при чрескостном остеосинтезе. **Материалы и методы.** У крыс ампутировали голень одной из задних конечностей для создания остеопороза, который диагностировали через 3-3,5 месяца после операции. В эксперименте использованы стандартные спицы из нержавеющей стали и спицы, имеющие наноструктурированное покрытие нерезорбируемыми алмазоподобными пленками: твердым аморфным углеродом и азотсодержащим углеродом. **Результаты.** Использование стандартных спиц без покрытия характеризовалось активизацией остеопороза в костях лабораторных животных, что проявлялось увеличением диаметра спицевого канала и формированием вокруг спицы фиброзной капсулы. Реакция костной ткани на введение спиц с покрытием из азотсодержащего углерода была аналогичной. Спицы с покрытием из твердого аморфного алмазоподобного углерода стимулировали костеобразование в интерфейсе «кость-спица», что обеспечило сохранение начального диаметра спицевого канала и отсутствие в нем фиброзной капсулы в течение всего эксперимента. **Заключение.** Доказаны остеоиндуктивные свойства твердого аморфного алмазоподобного углерода в условиях остеопороза.

Abstract. The article presents comparative results of the experimental morphological investigation of the osteoporotic bones reaction to the use of standard steel wires and wires with two types of covering with nanostructuring nonresorptive diamond-like carbons: hard diamond-like carbon and nitrogencontaining carbon. **Aim.** Comparative morphological investigation of reaction of osteoporotic bone on diamond-like wires covering used at experiments. **Materials and methods.** Experiments included 104 laboratory Vistar rats with modeled osteoporosis, which was diagnosed after 3-3.5 months. Then wires were led into operated limbs. **Results.** The use of standard steel wires was accompanied by osteoporosis activity in rats bones, such as increasing of the wire canal diameter and forming in it thick fibrose capsule around the wire. Wires with nitrogen-containing carbon were accompanied by the bone reaction analogous to the reaction of osteoporosis rats on the implantation of standard steel wires. Wires with hard diamond-like carbon stimulated osteogenesis in interface “bone-wire”. This covering provided preservation of wire canal diameter without change and the absence of fibrotic capsula in it at all time of experiment. **Conclusion.** Significant osteoinductive effect of hard diamond-like carbon in osteoporotic conditions was proved in this investigation.

Keywords: bone, osteoporosis, osteogenesis, wire, nonresorptive diamond-like carbons, experiment

Ключевые слова: кость, спица, остеопороз, остеогенез, алмазоподобные нерезорбируемые пленки, эксперимент

Конфликт интересов отсутствует.

There is no conflict of interest.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Гюльназарова Стелла Вагериосовна
yand@pm.convex.ru

Contact information of the author responsible for correspondence:

Stella V. Gyulnazarova
yand@pm.convex.ru

Дата поступления 04.07.2018

Received 04.07.2018

Образец цитирования:

Гюльназарова С.В., Ганжа А.А., Кудрявцева И.П., Рубштейн А.П. Сравнительное морфологическое исследование остеоиндуктивных свойств различных алмазоподобных пленок для покрытия фиксаторов при остеосинтезе в условиях. Вестник уральской медицинской академической науки. 2018, Том 15, №4, с. 612–618, DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-4-612-618

For citation:

Gyulnazarova S.V., Ganzha A.A., Kudriavtzeva J.P., Rubshtein A.P. Comparative morphological investigation of osteoinductive characteristics for different diamond-like carbons films for the fixator covering in conditions of osteoporosis (Experimental results). Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2018, Vol. 15, no. 4, pp. 612–618. DOI: 10.22138/2500-0918-2018-15-4-612-618 (In Russ)

Введение

В современной костной хирургии большое внимание уделяется применению фиксаторов с различными типами покрытий для снижения отрицательного воздействия металла на кость и мягкие ткани пациента, а также способствующие активации процессов остеогенеза [1, 2, 3, и др.]. Достаточно исследованы свойства и результаты использования покрытий кальций-фосфатными соединениями [4, 5 др.] и гидроксиапатитом [6, 7, 8 и др.]. В настоящее время ученые проявляют большой интерес к новому классу покрытий — нерезорбируемым алмазоподобным пленкам. Последние способны адгезировать клетки без признаков цитотоксического эффекта [9, 10], обладают антибактериальными свойствами [11, 12, 13]. Эти свойства алмазоподобных пленок были успешно использованы, например, в эксперименте при создании нового класса биоимплантатов для замещения костных дефектов [14, 15, 16], а также в дентальной хирургии [17, 18]. Сведения о возможности и эффективности использования алмазоподобных покрытий для временных (удаляемых) имплантатов, используемых, например, при чрескостном остеосинтезе, единичны [19, 20]. Весьма мало известно, каково влияние различных типов алмазоподобных пленок на процессы костеобразования, в том числе в условиях остеопороза.

Цель — сравнительное морфологическое изучение реакции остеопоротически перестроенной костной ткани на алмазоподобные пленки, нанесенные на поверхность перкутаных фиксаторов (спиц), используемых при чрескостном остеосинтезе.

Материалы и методы

Нанесение на поверхность спиц алмазоподобных углеродных и азотсодержащих углеродных покрытий (ta-C и CN_{0,25} соответственно) проводили методом импульсно-дугового распыления графитовой мишени. Для равномерного осаждения покрытий спицы крепились на держателе карусельного типа, расположенном в рабочей камере установки для напыления твердых покрытий. В процессе осаждения покрытий происходило вращение не только держателя, но и имплантов вокруг собственной оси. Очистка поверхности спиц проводилась ионным травлением (Ar⁺, E = 4 кэВ, P = 6×10⁻² Па, 30 мин). ta-C осаждались в вакууме (P = 5×10⁻³ Па), CN_{0,25} в атмосфере азота при давлении P = 1 Па. Распыления графита в обоих случаях проводили при частоте импульсов 1 Гц. Толщина покрытий не превышала 1,5 мкм. Содержание азота, определенное методом ядерного микроанализа, составило 20 ат.% (покрытия состава CN_{0,25}).

Проведено три серии опытов на 104 молодых крысах линии Вистар весом 120–140 грамм. При выполнении эксперимента авторы опирались на «Правила работ с экспериментальными животными» (European Communities Council Directives of 24 November 1986, 86\609\EEC). Все животные содержались в одинаковых условиях вивария, в режиме «день-ночь», на стандартном рационе при температуре воздуха 20–22°C. Оперативные вмешательства проводились в условиях внутримышечного обезболивания, эвтаназию осуществляли передозировкой эфира.

Первым этапом крысам моделировали иммобилизационный остеопороз (ИОП) путем ампутации го-

лени в верхней трети одной из задних конечностей. Через 90–100 дней после операции у всех животных был сформирован ИОП в ненагружаемой конечности со всеми характерными морфологическими признаками [21]. После этого животных вводили во второй этап эксперимента: в диафиз и дистальный эпиметафиз бедренной кости, а также проксимальный эпиметафиз большеберцовой кости неопорной конечности имплантировали спицы диаметром 0,8 мм. Сорока животным (1 серия) были введены стандартные спицы из стали 12Х18Н9Т. Сорока другим крысам (2 серия) введены аналогичные спицы, на которые было нанесено наноструктурированное покрытие твердым аморфным алмазоподобным углеродом (ta-C) и еще 24 животным (3 серия) были введены спицы с наноструктурированным азотсодержащим алмазоподобным углеродом (CH_{0,25}). Животные наблюдались в 1 и 2 сериях в течение 7–120 суток и в 3 серии — 30–120 суток. Дизайн исследования представлен в таблице.

Таблица
Дизайн экспериментального исследования
Table
Design of the experimental investigation

Сери опытов/ Experiment series	Задача исследования/ Task of the investigation	Количество опытов/ Number of experiments (n = 104)	Сроки наблюдения, дни/ Period of observation, days
1	Изучение влияния спиц из стали 12Х18Н9Т на костную ткань с ИОП/ Study of effect of steel wires 12Х18Н9Т to osteoporotic bone	40	7, 14, 30, 90, 120
2	Изучение влияния спиц с покрытием ta-C на костную ткань с ИОП/ Study of effect of wires ta-C covering to osteoporotic bone	40	7, 14, 30, 90, 120
3	Изучение влияния спиц с покрытием CH _{0,25} на костную ткань с ИОП/ Study of effect of wires with CH _{0,25} covering to osteoporotic bone	24	30, 90, 120

Материалом для исследования послужили бедренная кость и верхняя треть большеберцовой кости ампутированной задней конечности крыс. Из них после предварительной фиксации в 10% растворе формалина и декальцинации в 7% растворе азотной кислоты формировали костные блоки, которые обезжизняли в спиртах восходящей концентрации, а затем заливали в парафин и целлоидин. Из костных блоков изготавливали поперечные и продольные срезы, препараты

окрашивали гематоксилин-эозином и по Ван-Гизон. Гистологические препараты изучали с помощью микроскопа Olimpus (Япония). Для обработки, систематизации оцифрованных изображений на модуле VIDI-CAM (Россия, СПб) использовалось программное обеспечение «Видео – Тест Мастер – Морфология 5.2» (Россия, СПб), компьютерное программное обеспечение «Adobe Photoshop CS6». При изучении гистологических препаратов оценивали среднюю объемную долю новообразованной кости на стенке спицевого канала, диаметр его, толщину капсулы, формирующейся вокруг спицы. Статистическую значимость полученных данных оценивали, используя программное обеспечение «Biostat» (v. 4.03). Для обработки материала применяли критерии Манна-Уитни, Красклай-Уоллиса. Различия считали значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

У животных с ИОП (1 серия) после имплантации стандартных спиц без покрытия была отмечена активизация процесса остеопороза, о которой свидетельствовали увеличение участков остеокластической резорбции, пазушного рассасывания и снижение средней объемной доли новообразованной кости в спицевом канале относительно исходных данных. Толщина капсулы вокруг спиц к концу опыта увеличивалась в этой серии на 11%, а диаметр спицевого канала возрастал на 13,5% относительно фоновых данных (Рис. 1).

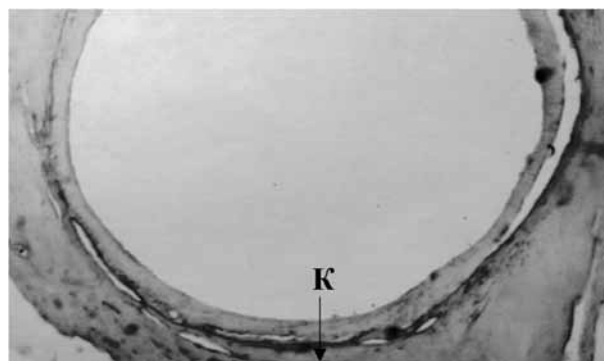


Рис. 1. Спицевой канал. 1 серия, ИОП, 120 дней. Фиброзная капсула (К) в просвете спицевого канала. Окраска гематоксилин-эозином. ×80.

Fig. 1. Wire canal. Series 1, osteoporosis, 120 days. Fibrotic capsula (K) in wire canal. Hematoxylin and eosin stain. ×80

Анализ гистологических препаратов 2 серии опытов с использованием покрытия из твердого алмазоподобного углерода (ta-C) показал, что у животных этой серии в процессе эксперимента достоверно увеличивалась средняя объемная доля новообразованной кости в спицевом канале с сохранением его диаметра постоянным, кроме того, в нем отсутствовала фиброзная капсула.



Рис. 2. 2 серия, та–С. Средняя объемная доля новообразованной кости в спицевом канале в разные сроки наблюдения.

$p \leq 0,05$ относительно предыдущего срока

Fig. 2. Series 2, ta–C. Medium volume portion of new bone in wire canal in different time of observation. $p \leq 0,05$ comparing to previous

У животных этой серии спицевой канал был представлен компактной костью, а фиброзная капсула в нем отсутствовала (Рис. 3)

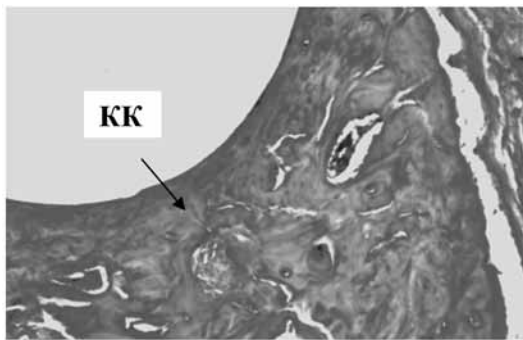


Рис. 3. Спицевой канал. 2 серия, та–С, 90 дней. Стенка спицевого канала представлена компактной костью (КК). Окраска гематоксилин-эозином. $\times 100$

Fig. 3. Wire canal. Series 2, ta–C, 90 days. Side of wire canal consists of cortical bone (KK). Hematoxylin and eosin stain. $\times 100$

Сохранение в этой серии неизменным диаметра спицевого канала в течение всего эксперимента (120 дней), является убедительным доказательством отсутствия в зоне «кость-спица» резорбции костной ткани, которая была отмечена у всех животных с ИОП (1 серия) во все сроки наблюдения.

Применение в эксперименте спиц с азотсодержащим алмазоподобным покрытием $CN_{0,25}$ (серия 3) показало, что средняя объемная доля новообразованной кости у животных этой серии снижалась к концу эксперимента (Рис. 5) и была сопоставима с показателями, которые были установлены у крыс с ИОП (1 серия).

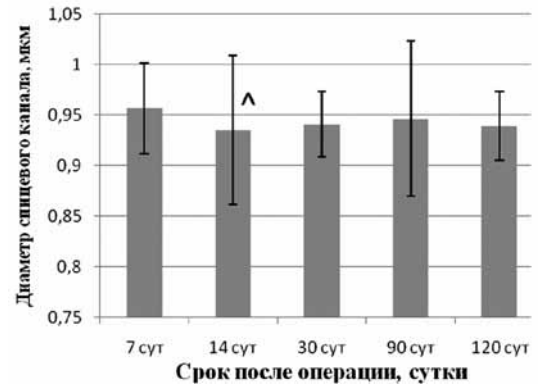


Рис. 4. 2 серия, та–С. Диаметр спицевого канала в разные сроки наблюдения в днях.

$p \leq 0,05$ относительно предыдущего срока

Fig. 4. Series 2, ta–C. Diameter of wire canal in different time of observation (days).

$p \leq 0,05$ comparing to previous

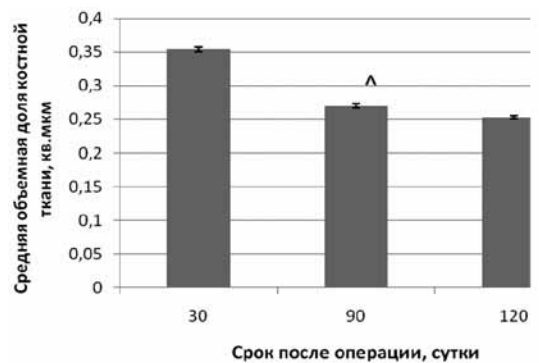


Рис. 5. 3 серия, $CH_{0,25}$. Снижение средней объемной доли новообразованной кости в спицевом канале в разные сроки наблюдения

$p \leq 0,05$ относительно предыдущего срока

Fig. 5. Series 3, $CH_{0,25}$. Reduction of the medium volume portion of the new bone in wire canal in different time of observation

$p \leq 0,05$ comparing to previous

В просвете спицевого канала у крыс 3 серии, также как и у крыс 1 серии, отмечалось наличие фиброзной капсулы, толщина которой к 120 дню опыта возрастала на 36,1% относительно фоновых данных (Рис. 6).

Сопоставительное изучение морфологических данных, характеризующих влияние двух типов нерезорбируемых алмазоподобных покрытий на структуру костной ткани при ИОП, выявило достоверно значимые различия во 2 и 3 сериях опытов. Так, установлено, что та–С покрытие активизирует костеобразовательные процессы в интерфейсе «кость-спица». Это проявлялось прогрессирующим увеличением средней объемной доли новообразованной кости в просвете спицевого канала, отсутствием в нем фиброзной капсулы и сохранением исходного диаметра спицевого канала на протяжении всего опыта. В отличие от твердого аморфного углерода, при покрытии спиц азотсодержащим углеродом не были выявлены какие-либо

признаки активности остеогенеза, что свидетельствовало об инертности данного вида покрытия в условиях экспериментального остеопороза. Таким образом, в результате проведенного исследования установлено, что твердый аморфный алмазоподобный углерод вызывает выраженный остеоиндуктивный эффект даже в условиях ИОП, при котором костное remodelирование всегда нарушено с превалированием остеорезорбтивных процессов над костеобразовательными.

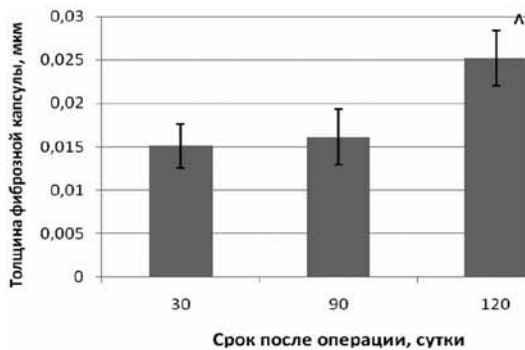


Рис. 6. 3 серия, CH0.25, 120 дней. В спицевом канале утолщенная фиброзная капсула, сформировавшаяся вокруг спицы.

[^] $p < 0,05$ относительно предыдущего срока

Fig.6. Series 3, CH0.25, 120 days. Thick fibrose capsula molding around wire in its canal.

[^] $p < 0,05$ comparing to previous

Выводы

1. В условиях ИОП выраженный остеоиндуктивный эффект характерен только для покрытия спиц твердым аморфным алмазоподобным углеродом.

2. Покрытие спиц азотсодержащим алмазоподобным углеродом в условиях ИОП не проявляет остеоиндуктивных свойств.

3. Твердый аморфный алмазоподобный углерод целесообразно применять для покрытия фиксаторов, используемых в реконструктивной костной хирургии, особенно у пациентов с нарушениями регенерации костной ткани и/или при наличии остеопороза в костях поврежденной конечности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФОНО России (тема «Спин» №АААА - А18 - 118020290104 - 2).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянченко В.В., Малясова М.Г. Металлы в имплантологии // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2010. - № 3. – С.130-132.
2. Калита В.И., Комлев Д.И., Ткачев А.Г., Яркин В.В., Зухов А.В., Болотов С.Н. Физико-химические и механические свойства плазменных керамических покрытий с упрочняющей фазой, сформированной из углеродных нанотрубок // Физика и химия обработки материалов. – 2010. - № 2. – С.34-39.
3. Филиппенко В.А., Бондаренко С.Е., Мезенцев В.А., Ашукина Н.А., Применение современных биоматериалов для пластики костных дефектов вертлужной впадины при эндопротезировании тазобедренного сустава // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2011. - № 4 (585). – С.24-28.
4. Карлов А.В. Остеосинтез конструкциями с биоинертным покрытием // Международный конгресс «Человек и его здоровье. Травматология, ортопедия, протезирование, биомеханика, реабилитация инвалидов», 02-05 декабря 1997 г.; материалы конгресса. - СПб, 1997. – С.41-42.
5. Марков А.А., Сергеев К.С., Архипенко В.И., Игнатов В.П., Твердохлебов С.И., Бычков В.Г. и др. Экспериментальное подтверждение эффективности применения биоактивных имплантатов с кальций-фосфатным покрытием в операциях с доказанным влиянием на реге-

REFERENCES

1. Luk'janchenko V.V., Maljasova M.G. Metally v implantologii. Ortopedija, travmatologija i protezirovanie. – 2010. No. 3. pp. 130-132. (In Russ)
2. Kalita V.I., Komlev D.I., Tkachev A.G., Jarkin V.V., Zuhov A.V., Bolotov S.N. Fiziko-himicheskie i mehanicheskie svojstva plazmennyh kerametnyh pokrytij s uprochnjajushhej fazoj, sformirovannoj iz uglerodnyh nanotrubok. Fizika i himija obrabotki materialov. 2010. No. 2. pp.34-39. (In Russ)
3. Filippenko V.A., Bondarenko S.E., Mezencev V.A., Ashukina N.A., Primenenie sovremennyh biomaterialov dlja plastiki kostnyh defektov vertluzhnoj vpadiny pri jendoprotezirovanii tazobedrennogo sustava. Ortopedija, travmatologija i protezirovanie. 2011. No. 4 (585). pp. 24-28. (In Russ)
4. Karlov A.V. Osteosintez konstrukcijami s bioinertnym pokrytiem. Mezhdunarodnyj kongress «Chelovek i ego zdorov'e. Travmatologija, ortopedija, protezirovanie, biomehanika, reabilitacija invalidov», 02-05 dekabrja 1997 g.; materialy kongressa. - SPB, 1997. pp. 41-42. (In Russ)
5. Markov A.A., Sergeev K.S., Arhipenko V.I., Ignatov V.P., Tverdohlebov S.I., Bychkov V.G. i dr. Jeksperimental'noe podtverzhdenie jeffektivnosti primenenija bioaktivnyh implantatov s kal'cij-fosfatnym pokrytiem v operacijah s dokazannym vlijaniem na regeneraciju kostnoj tkani v periimplantacionnoj zone.

нерацию костной ткани в периимплантационной зоне // Медицинская наука и образование Урала. – 2015. – Т.16, № 2-1 (82). – С.32-35.

6. Гринь А.А., Рабченко М.А., Сергеев К.С. Использование стержней с гидроксиапатитным покрытием как мера профилактики осложнений при наружной фиксации таза // Гений ортопедии. – 2012. – № 3. – С.38-40.

7. Moroni A., Faldini C., Manca M., Marchetti S., Consoli V., Giannini S. Improvement of the bone-pin interface strength in osteoporotic bone with use of hydroxyapatite-coated tapered external-fixation pins. A prospective, randomized clinical study of wrist fractures // J. Bone Jt.Surg.Am. – May. – 2001. – Vol.83-A (5). – P.717-721.

8. Placzek R., Ruffer M., Deuretzbacher G., Heijens E., Meiss A.L. The fixation strength of hydroxyapatite-coated Schanz screws and standard stainless steel Schanz screws in lower extremity lengthening: a comparison based on a new torque value index: the fixation index // Arch.Orthop.Traum. Surg. – 2006. – Aug. – Vol.126 (6). – P.369-373.

9. Cui F.Z., Li D.J. A review of investigations on biocompatibility of diamond-like carbon and carbon nitride films // Surface and Coatings Technology. – 2000. – Vol.131. – P.481-487.

10. Olivares R., Rodil S.E., Arzate H. Osteoinduction properties of graphite-like amorphous carbon films evaluated in-vitro // Diamond and Related Materials. – 2007. – Vol.16. – P.1858-1867.

11. Soinenen A., Tiainen V.M., Konttinen Y.T., van der Mei H.C., Busscher H.J., Sharma P.K. Bacterial adhesion to diamond-like carbon as compared to the stainless steel // J. Biomed.Mater.Res.B.Appl.Biomater. – 2009. – Aug. – Vol. 90 (2). – P.882-885.

12. Yin L., Xiao Y. The change of bacterial adhesion during deposition nitrogen-diamond like carbon coating on pure titanium // Hua Xi Kou Qiang Yi XueZaZhi. – 2011. – Oct. – Vol. 29 (5). – P.526-528.

13. Liao T.T., Zhang T.F., Li S.S., Deng Q.Y., Wu B.J., Zhang Y.Z. et al. Biological responses of diamond-like carbon (DLC) films with different structures in biomedical applications // Materials Science and Engineering: C, 2016. – Vol. 69. – P.751-759.

14. Биоимпланты на основе пористого титана с алмазоподобными пленками для замещения костной ткани / А.П. Рубштейн, Э.Б. Макарова, И.Ш. Трахтенберг, Ю.М. Захаров. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. – 137 с.

15. Ситников В.П., Шилько С.В., Хусам Э.Р., Надьров Э.А., Казаченко В.П. Джайнакбаев Н.Т. Возможности использования протезов на основе модифицированного фторопласта с алмазоподобным нанопокрытием в хирургии уха (экспериментальное исследование) // Вестник оториноларингологии. – 2014. – № 3. – С.20-23.

16. Макарова Э.Б. Экспериментальное обоснование замещения дефектов костной ткани пористыми титановыми имплантатами с углеродсодержащими нерезорбируемыми нанопокрытиями: автореф. дисс... д-ра мед. наук

Medicinskaja nauka i obrazovanie Urala. 2015. Vol. 16, No. 2-1 (82). pp. 32-35. (In Russ)

6. Grin' A.A., Rabchenjuk M.A., Sergeev K.S. Ispol'zovanie sterzhnej s gidrooksiapatitnym pokrytiem kak mera profilaktiki oslozhnenij pri naruzhnoj fiksacii taza. Genij ortopedii. 2012. No. 3. pp. 38-40. (In Russ)

7. Moroni A., Faldini C., Manca M., Marchetti S., Consoli V., Giannini S. Improvement of the bone-pin interface strength in osteoporotic bone with use of hydroxyapatite-coated tapered external-fixation pins. A prospective, randomized clinical study of wrist fractures. J. Bone Jt.Surg.Am. – May. 2001. Vol. 83-A (5). pp. 717-721.

8. Placzek R., Ruffer M., Deuretzbacher G., Heijens E., Meiss A.L. The fixation strength of hydroxyapatite-coated Schanz screws and standard stainless steel Schanz screws in lower extremity lengthening: a comparison based on a new torque value index: the fixation index. Arch. Orthop.Traum.Surg. 2006. Aug. Vol. 126 (6). pp. 369-373.

9. Cui F.Z., Li D.J. A review of investigations on biocompatibility of diamond-like carbon and carbon nitride films. Surface and Coatings Technology. 2000. Vol.131. pp. 481-487.

10. Olivares R., Rodil S.E., Arzate H. Osteoinduction properties of graphite-like amorphous carbon films evaluated in-vitro. Diamond and Related Materials. 2007. Vol. 16. pp. 1858-1867.

11. Soinenen A., Tiainen V.M., Konttinen Y.T., van der Mei H.C., Busscher H.J., Sharma P.K. Bacterial adhesion to diamond-like carbon as compared to the stainless steel. J.Biomed.Mater.Res.B.Appl.Biomater. 2009. Aug. Vol. 90 (2). pp. 882-885.

12. Yin L., Xiao Y. The change of bacterial adhesion during deposition nitrogen-diamond like carbon coating on pure titanium. Hua Xi Kou Qiang Yi XueZaZhi. 2011. Oct. Vol. 29 (5). pp. 526-528.

13. Liao T.T., Zhang T.F., Li S.S., Deng Q.Y., Wu B.J., Zhang Y.Z. et al. Biological responses of diamond-like carbon (DLC) films with different structures in biomedical applications. Materials Science and Engineering: C, 2016. Vol. 69. pp. 751-759.

14. Биоимпланты на основе пористого титана с алмазоподобными пленками для замещения костной ткани. А.П. Рубштейн, Э.Б. Макарова, И.Ш. Трахтенберг, Ю.М. Захаров. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 137 p. (In Russ)

15. Sitnikov V.P., Shil'ko S.V., Husam Je.R., Nadyrov Je.A., Kazachenko V.P. Dzhajnakbaev N.T. Vozmozhnosti ispol'zovaniya protezov na osnove modificirovannogo ftoroplasta salmazopodobnym nanopokrytiem v hirurgii uha (jeksperimental'noe issledovanie). Vestnik otorinolaringologii. 2014. No. 3. pp. 20-23. (In Russ)

16. Макарова Э.Б. Jeksperimental'noe obosnovanie zameshenija defektov kostnoj tkani poristymi titanovymi implantami s uglerodsoderzhshimi nerezorbiruemyimi nanopokrytijami: avtoref. diss... d-ra med. Nauk. Je.B.

/ Э.Б. Макарова. – Екатеринбург. – 2015. – 46 с.

17. Пат. 2571559 РФ, МПК А611. 27/06, А61L 27/08, F61C 8/00, В82Y 5/00. Способ изготовления внутрикостного стоматологического имплантата с углеродным нанопокрывтием /Рубштейн А.П., Владимиров А.Б., Плотников С.А., Пушкарь С.С.; заявл. 05.11.2014; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

18. Зекий А.О. Улучшение остеоинтеграции дентальных имплантатов с помощью наноразмерных покрытий // Институт стоматологии. – 2017. – № 75 (2). – С. 46-49.

19. Казбанов В.В., Баталов М.С., Вишневецкий А.А. Особенности биосовместимости и перспективы применения титановых имплантатов с алмазоподобными покрытиями на основе модифицированного углерода // Проблемы здоровья и экологии. – 2015. – № 2 (44). – С.16-23.

20. Ганжа А.А. Применение при чрескостном остеосинтезе спиц и стержней с наноструктурированными углеродными покрытиями в условиях остеопороза (экспериментально-клиническое исследование): автореф. дис...канд.мед. наук /А.А. Ганжа. – Пермь, 2016. – 23 с.

21. Кучиев А.Ю. Применение гипербарической оксигенации при лечении ложных суставов трубчатых костей, осложненных остеопорозом: автореф. дис... канд. мед. наук /А.Ю. Кучиев. – Новосибирск, 2008. – 26 с..

Makarova. – Ekaterinburg. 2015. 46 p. (In Russ)

17. Pat. 2571559 RF, MPK A611. 27/06, A61L 27/08, F61C 8/00, B82Y 5/00. Sposob izgotovlenija vnutrikostnogo stomatologicheskogo implantata s uglerodnym nanopokrytiem. Rubshstejn A.P., Vladimirov A.B., Plotnikov S.A., Pushkar' S.S.; zajavl. 05.11.2014; opubl. 20.12.2015, Bjul. No. 35. (In Russ)

18. Zekij A.O. Uluchshenie osteointegracii dental'nyh implantatov s pomoshh'ju nanorazmernyh pokrytij. Institut stomatologii. 2017. No. 75 (2). pp. 46-49. (In Russ)

19. Kazbanov V.V., Batalov M.S., Vishnevskij A.A. Osobennosti biosovmestimosti i perspektivy primeneniya titanovyh implantatov salmazopodobnymi pokrytijami na osnove modifitsirovannogo ugleroda. Problemy zdorov'ja i jekologii. 2015. No. 2 (44). pp. 16-23. (In Russ)

20. Ganzha A.A. Primenenie pri chreskostnom osteosinteze spic i sterzhnej s nanostrukturirovannymi uglerodnymi pokrytijami v uslovijah osteoporoza (jeksperimental'no-klinicheskoe issledovanie): avtoref. dis...kand.med. nauk. A.A. Ganzha. Perm', 2016. 23 p. (In Russ)

21. Kuchiev A.Ju. Primenenie giperbaricheskoj oksigenacii pri lechenii lozhnyh sustavov trubchatyh kostej, oslozhnennyh osteoporozom: avtoref. dis... kand. med. Nauk. A.Ju. Kuchiev. – Novosibirsk, 2008. 26 p. (In Russ)

Авторы

Гюльназарова Стелла Вагериосовна
Уральский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина
Уральский государственный медицинский университет
Д.м.н., профессор, главный научный сотрудник
Российская Федерация, 620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3
yand@pm.convex.ru

Ганжа Александр Александрович
Уральский институт травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина
К.м.н., врач-ординатор
Российская Федерация, 620014, г. Екатеринбург, Банковский пер. 7
gans_aa@mail.ru

Рубштейн Анна Петровна
Институт физики металлов УрО РАН им. М.Н. Михеева
К.ф.-м.н., старший научный сотрудник
Российская Федерация, 620108, г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18
rubshtein@imp.uran.ru

Authors:

Stella V. Gyulnazarova
Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. V.D. Chaklin
Ural State Medical University
Dr. Sci. (Med.), Professor, Chief scientific worker
Russian Federation, 620028, Yekaterinburg, Repin str. 3
yand@pm.convex.ru

Alexandr A. Ganzha
Ural Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. V.D. Chaklin
Cand. Sci. (Med.), doctor-ordinator
Russian Federation, Yekaterinburg, Bankovsky 7
gans_aa@mail.ru

Anna P. Rubshtein
M.N. Miheev Institute of Metall Physics UB RAS
Cand. Sci. (Phisic-Mathem.), Head scientific worker
Russian Federation, 620108, Yekaterinburg, S. Kovalevsky str., 18
rubshtein@imp.uran.ru