

## СУПЕРГИДРОФИЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ ГИБРИДНЫХ НАНОЧАСТИЦ, ОСАЖДЕННЫХ НА 3D СКЭФФОЛДЫ

Е.А. Чудинова

Научный руководитель: с. н. с. М.А. Сурменева  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: e\_chudinova93@mail.ru

Общеизвестно, что имплантация посторонних предметов в человеческое тело может вызвать их отторжение. Кроме того, широкий спектр реакций местных тканей зачастую приводит к воспалению, образованию гигантских клеток и фиброзу. Перспективным решением этой проблемы является формирование антибактериального биоактивного покрытия из наночастиц серебра Ag (AgНЧ) на поверхности имплантата, что позволит избежать отторжения и ускорить процесс лечения и восстановления [1, 2]. Кроме этого, в ряде случаев, когда материал имплантата является биоинертным, стоит вопрос о модифицировании поверхности. Так, научным сообществом уже доказано, что использование наночастиц кальций-фосфата (CaPHЧ) может улучшить биосовместимость имплантата и кости за счет высокого сходства с костным минералом, а также это делает их способными к биологическому разложению в умеренно кислых условиях [3, 4]. Ввиду этого интерес представляют гибридные наночастицы с целью сочетания антимикробных и биосовместимых свойств, а также смачиваемость полученной поверхности, оказывающая влияние на клеточную адгезию.

В данной работе материалом исследования послужили пористые композиты – скэффолды, на основе титанового сплава ВТ6 ( $Ti_6Al_4V$ ), приготовленные методом трехмерного прототипирования с использованием плавки электронным пучком на установке ARCAM A2 EBM<sup>®</sup> (Швеция). Детальная информация условий формирования скэффолдов представлена в работе [5].

Отрицательно заряженные AgНЧ были синтезированы методом химического восстановления нитрата серебра (Fluker, PA), используя глюкозу (D – (+) – глюкоза, Baker) в качестве восстановителя и поливинилпирролидон (PVP K30 Povidon 30; Fluka, молекулярная масса 40000 г моль<sup>-1</sup>) в качестве стабилизатора. Для синтеза CaPHЧ были использованы пентагидрат лактата кальция  $[CH_3CH(OH)COO]_2Ca \cdot 5H_2O$ , гидрофосфат аммония  $(NH_4)_2HPO_4$ , стабилизатором послужил полиэтиленимин (PEI).

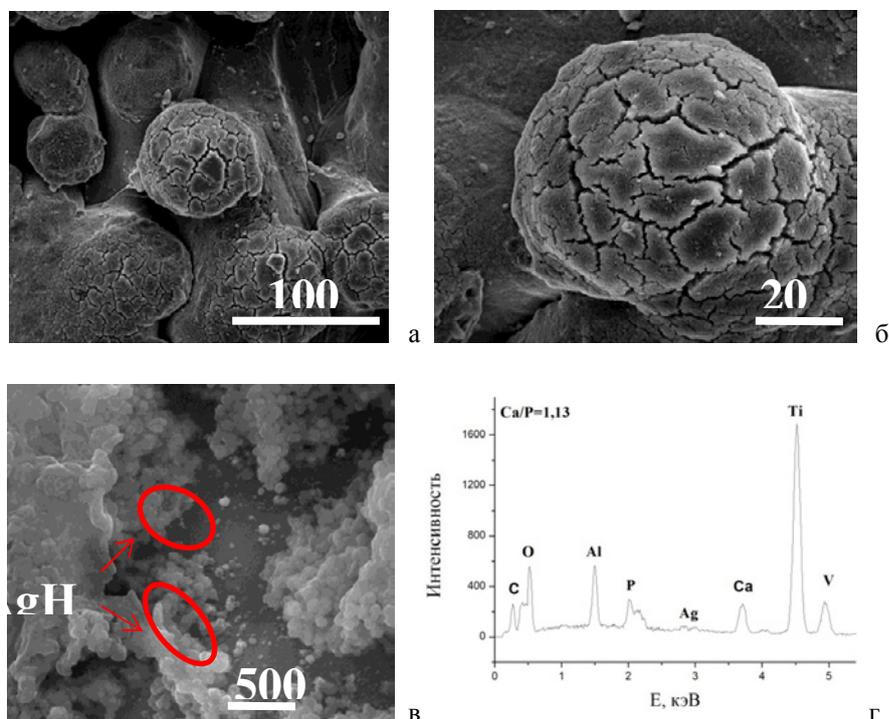


Рис. 1. СЭМ-изображения (а-в) и EDX спектр (г) сетчатого скэффолда с AgPHЧ, покрытыми слоем CaPHЧ

Осаждение наночастиц осуществлялось электрофоретическим методом, являющимся одним из наиболее прогрессивных технологических способов нанесения различных материалов на металлические поверхности. Перед осаждением определялся  $\zeta$ - потенциал наночастиц, для AgНЧ значение составило  $\zeta = 6 \pm 12$  мВ, для CaPHЧ

–  $\zeta = 22 \pm 9$  мВ. Первыми осаждались наночастицы серебра, затем – СаРНЧ. ЭФО проводилось при постоянном напряжении 50 В в течение 30 мин. Расстояние между двумя электродами поддерживалось 3 мм

Концентрация СаР- и АгНЧ определялась с помощью атомно-адсорбционной спектроскопии (ААС, Thermo Electron Corporation, M-Series) с пределом обнаружения 1 мкг/л. Скэффолды с осажденными наночастицами растворяли в  $\text{HNO}_3$ .

Измерение краевого угла смачивания осуществлялось при помощи метода сидячей капли на оборудовании OCA 15 Plus (DataPhysics Instruments GmbH, Германия). Опыты проводились при температуре  $25 \pm 1$  °С. На каждый образец было посажено минимум 10 капель. Изображение капли было получено при помощи видео камеры и системы анализа изображения, которая рассчитывает контактный угол от полученных данных формы капли.

Изображения образцов с СаРНЧ, осажденными на скэффолд титанового сплава  $\text{Ti}_6\text{Al}_4\text{V}$ , представлены на рисунке 1. Можно отметить равномерное распределение СаРНЧ сферической формы по всей поверхности, покрытие из наночастиц достаточно плотное, однако имеются трещины, что вероятнее всего обусловлено высокой концентрацией наночастиц на площадь образца, также в литературных источниках отмечают, что такого рода трещины могут появиться в процессе сушки образцов. Согласно СЭМ диаметр СаРНЧ в среднем составил  $100 \pm 20$  нм. Диаметр АгНЧ – около  $90 \pm 20$  нм. В соответствии с EDX, соотношение Са/Р = 1,13, содержание Са (ААС) составило  $0,219$  мг/см<sup>2</sup>, а для Аг –  $0,013$  мг/см<sup>2</sup>. Контактный угол смачивания поверхности составил менее 1°, поскольку капля мгновенно растекалась после помещения на образец, что свидетельствует о супергидрофильности полученного покрытия из наночастиц. Такая поверхность оказывает положительное влияние на клеточную адгезию, в сравнении с гидрофобной [6]. Данный эффект приводит к значительному увеличению жизнеспособности и пролиферации клеток на поверхности ГА покрытия. Таким образом, полученная при осаждении гибридных наночастиц супергидрофильная поверхность, требует дальнейших биологических и антибактериальных исследований.

*Автор благодарит профессора А. Коптюга и Р. Сурменева за получение 3D скэффолдов, профессора М. Эппле и доктора К. Лозу за помощь в осаждении наночастиц. Получение и модифицирование скэффолдов было выполнено при финансовой поддержке РФФ 15-13-00043, синтез наночастиц выполнен в рамках работы при поддержке G-RISC.*

#### Список литературы

1. Gupta K. et al. Photocatalytic antibacterial performance of  $\text{TiO}_2$  and Ag-doped  $\text{TiO}_2$  against *S. aureus*, *P. aeruginosa* and *E. coli* // Beilstein Journal of Nanotechnology. – 2013. – Vol. 4, No. 1. – P. 345–351.
2. Hwang E.T. et al. Analysis of the toxic mode of action of silver nanoparticles using stress-specific bioluminescent bacteria // Small. – 2008. – Vol. 4, No. 6. – P. 746–750.
3. Cai Y., Tang R. Calcium phosphate nanoparticles in biomineralization and biomaterials // Journal of Materials Chemistry. – 2008. – Vol. 18, No. 32. – P. 3775–3787.
4. Epple M. et al. Application of calcium phosphate nanoparticles in biomedicine // Journal of Materials Chemistry. – 2010. – Vol. 20, No. 1. – P. 18–23.
5. Коптюг А. et al. Multiscale surface structuring of the biomedical implants manufactured in Electron Beam Melting technology: demands, advances and challenges // Proc. iCAT-2014, International Conference on Additive Technologies, Vienna, Austria, 15–17 October 2014. – 2014.
6. Redey S.A. et al. Behavior of human osteoblastic cells on stoichiometric hydroxyapatite and type A carbonate apatite: role of surface energy // Journal of biomedical materials research. – 2000. – Vol. 50, No. 3. – P. 353–364.