

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ НА РЕАКЦИЮ СО СТОРОНЫ КОСТНОЙ ТКАНИ

¹О.В. Купреева, ²С.И. Багаев, ³А.Н. Мазуренко,
⁴О.Н. Дудич, ⁴В.Л. Красильникова

¹ Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь

² Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

³РНПЦ травматологии и ортопедии, г. Минск, Беларусь

⁴Белорусская медицинская академия последипломного
образования, г. Минск, Беларусь

Исследовано влияния состояния поверхности крепежных накостных титановых пластин и крепежных шурупов на рост костной ткани на их поверхностях в процессе хирургического лечения нижних конечностей кроликов. На развитой наноструктурированной пористой поверхности оксида титана наблюдался более интенсивный рост костной ткани в сравнении с поверхностью непористого оксида титана. Для контроля процесса регенерации костной ткани на поверхности титановых имплантатов предложен метод электрохимической обработки их поверхности.

Ключевые слова: оксид титана, регенерация костной ткани, титановые имплантаты

EFFECT OF THE TITANIUM IMPLANTS SURFACE STRUCTURE ON THE RESPONSE TO THE BONE TISSUE

¹O.V. Kupreeva, ²S.I. Bahayeu, ³A.N. Mazurenko,
⁴O. N. Dudich, ⁴V.L. Krasilnikova

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

²Physical-Technical institute of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

³Republican scientific and practical centre for traumatology and orthopedics, Minsk, Belarus

⁴Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

The growth of bone tissue on titanium plates and mounting screws during surgical treatment of rabbit bones was studied. The growth of bone tissue was more intensive on the developed nanostructured porous titania surface in comparison with the planar titania surface. The methods of electrochemical treatment of a titanium surface in order to control

the regeneration process of bone tissue on the titanium constructions were proposed.

Keywords: titanium dioxide, bone tissue regeneration, titanium implants

E-mail: Olga_Kupreeva@tut.by

Роль поверхности титановых конструкций, используемых при хирургическом лечении повреждений костей, на ответную реакцию со стороны костной ткани активно исследуется последние 10 лет. На результат процесса остеоинтеграции металлических имплантатов с костной тканью влияет структура поверхности имплантатов. Развитый рельеф поверхности микро и нанометрового диапазона способствует сцеплению между новообразованной костной тканью и поверхностью самого имплантата [1, 2]. Также немаловажным фактором является биосовместимость материала имплантата, определяемый элементным составом его поверхности [3]. Следует отметить, что в некоторых случаях в процессе хирургического лечения с использованием титановых крепежных элементов требуется максимальная интеграция их с костной тканью, в других — наоборот, эта реакция является нежелательной. В частности, когда титановые пластины и шурупы используются для временной фиксации отломившихся костных фрагментов и впоследствии подлежат удалению, то продуктивная реакция костной ткани на титановой поверхности должна быть минимизирована. В данной работе на поверхности титановых имплантатов электрохимическим методом формировались биосовместимые покрытия на основе диоксида титана с разным типом структуры (плотный беспористый и наноструктурированный пористый) и проводилось сравнительное исследование влияния морфологии поверхности оксидированных титановых конструкций на реакцию со стороны костной ткани.

Методика исследований

В проведенных экспериментах в качестве исходных образцов использовались на костные пластины и крепежные шурупы из Ti_6Al_4V сплава, предоставленные НП ООО «Медбиотех». Титановые крепежные пластины не подвергались обработке. Одна часть крепежных шурупов была подвергнута электрохимическому анодированию в 10 мас. % растворе ортофосфорной кислоты, в процессе которого на их поверхности был сформирован слой барьерного оксида титана толщиной 180 нм. Вторая часть крепежных шурупов была подвергнута электрохимическому анодированию в 0,3 мас. % растворе фторида аммония в этиленгликоле с добавлением 2 мас. % воды при плотности тока 2 мА/см². В результате на их поверхности был сформирован наноструктурированный анодный оксид титана толщиной порядка 1,5 мкм. Затем титановые на костные пластины и крепежные шурупы в результате хирургического вмешательства были установлены кроликам. По прошествии года все титановые конструкции были извлечены, а их поверхность исследована при помощи электронной микроскопии (электронный микроскоп Hitachi JSM-6700).

Экспериментальные данные и их обсуждение

На рис. 1 представлена РЭМ-фотография пленки оксида титана, полученной методом электрохимического анодирования титана в органическом электролите. Пленка оксида титана представляет собой наноструктурированное пористое покрытие. Толщина полученной пленки составила 1,5 мкм, диаметр пор — 50 нм, среднее расстояние между порами — 150 нм. Как видно из рисунка пленка состоит из массива нанотрубок, которые растут перпендикулярно поверхности подложки и располагаются равномерно по всей поверхности образца. Сами нанотрубки соединены между собой кольце-

выми перемычками, ориентированными параллельно плоскости подложки. При этом верхний слой нанотрубок сращивается в сплошной пористый слой [4].

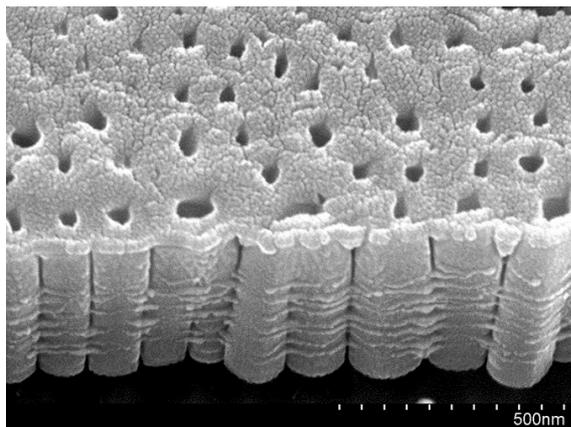


Рис. 1. РЭМ-фотография поперечного сечения пленки пористого наноструктурированного оксида титана, полученной на поверхности титанового крепежного шурупа

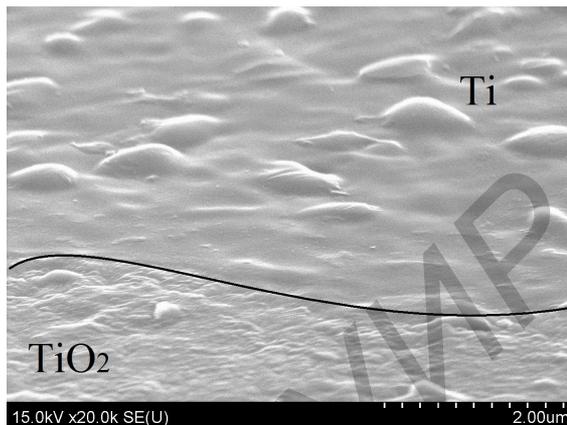


Рис. 2. РЭМ-фотография поверхности исходного титана и оксидированного в 10 мас. % растворе H_3PO_4

Анодирование титановой поверхности в электролите на основе ортофосфорной кислоты позволяет получить однородную пленку барьерного оксида толщиной порядка 180 нм (рис. 2). Из рисунка видно, что в процессе оксидирования макрорельеф поверхности металла практически не изменяется, а на микроуровне происходит некоторое увеличение шероховатости поверхности, поры отсутствуют. Следует отметить, что площадь активной поверхности пористых пленок оксида титана гораздо больше, чем у оксидных пленок барьерного типа.

На рис. 3 представлены РЭМ-фотографии титановых наконечных пластин и крепежных шурупов после их использования для фиксации элементов костей нижних конечностей кроликов в процессе хирургического лечения. Титановые наконечные пластины не были подвержены предварительной электрохимической обработке. В то время как крепежные шурупы подверглись электрохимическому анодированию с целью формирования на их поверхности пленок пористого наноструктурированного оксида титана (рис. 3 а, б, в) и оксида титана барьерного типа (рис. 3 г, д, е). На фотографиях видно, что в случае с пористым оксидом титана наросты костной ткани наблюдаются и на верхней сферической части крепежного шурупа и на его нижней конической части с резьбой. Причем удалить наросты костной ткани с таких шурупов можно только с помощью специальной механической обработки. Пористый оксид титана способствует росту костной ткани на его поверхности [5].

С поверхности имплантатов, покрытых оксидом титана барьерного типа, костная ткань может быть удалена без специального механического воздействия (рис. 3 г, д, е). Отличие между непористой и наноструктурированной пористой поверхностью имплантатов можно увидеть на РЭМ-фотографиях высокого разрешения (рис. 3 в, е). Граница между пористым оксидом титана и костной тканью является шероховатой, кроме того, на поверхности оксидной пленки заметны остатки (фрагменты) костной ткани. В то же время с поверхности оксида титана барьерного типа (непористого) костная ткань удаляется полностью, поверхность остается гладкой. Это можно объяснить тем, что в случае с наноструктурированной поверхностью оксида костная ткань проникает в его поры и интегрируется в поверхность имплантата.

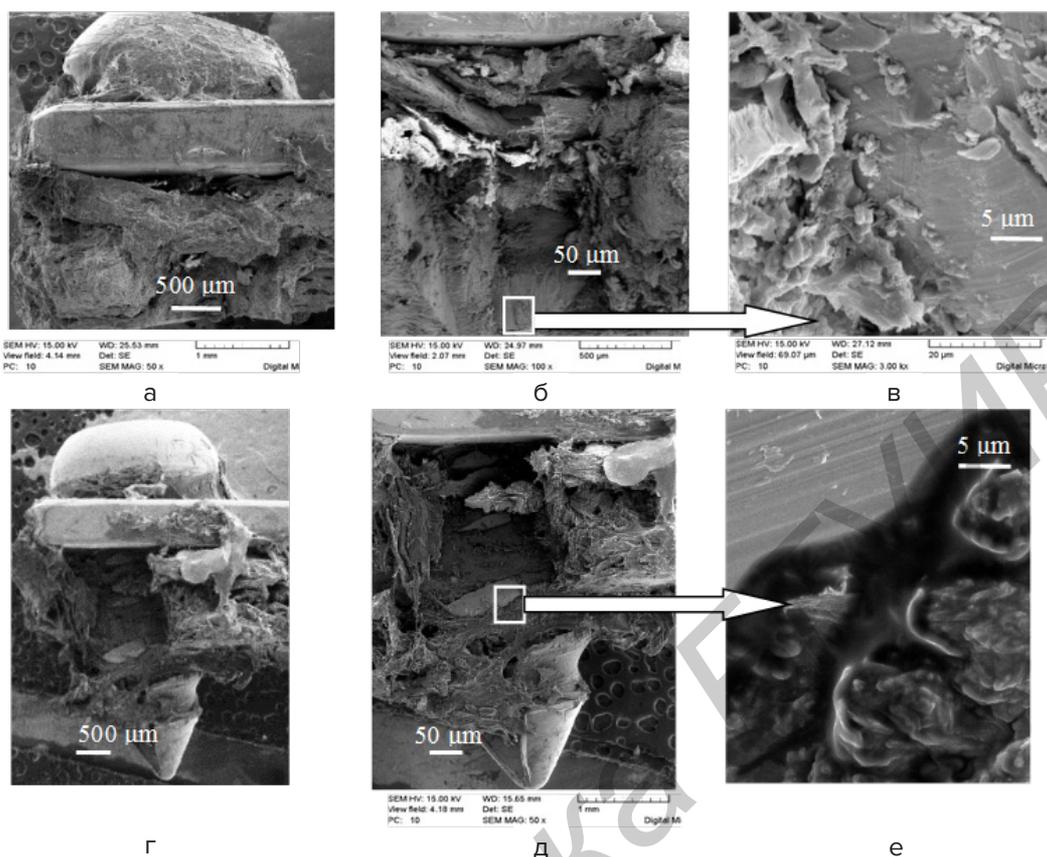


Рис. 3. РЭМ-фотографии титановых наkostных пластин и крепежных шурупов, использованных для фиксации элементов костей нижних конечностей кроликов в процессе хирургического вмешательства:

а–в — титановый крепежный шуруп с наноструктурированным пористым оксидным покрытием, г–е — титановый крепежный шуруп с оксидным покрытием барьерного типа

Таким образом, на основании полученных результатов рекомендовано использовать барьерный диоксид титана на поверхности медицинских имплантатов для временной фиксации фрагментов кости во время хирургического лечения вследствие его биоинертности [6, 7]. Если титановые конструкции используются для постоянной фиксации костных фрагментов, рекомендуется покрывать их поверхность наноструктурированным оксидом титана.

Заключение

Обработка поверхности медицинских титановых имплантатов методом электрохимического анодирования позволяет формировать на их поверхности как пористые наноструктурированные, так и непористые пленки оксида титана. Данные покрытия могут использоваться для управления процессом регенерации костной ткани на поверхности медицинских титановых конструкций в процессе хирургического вмешательства. Непористый оксид титана является биоинертным материалом, в то время как наноструктурированный оксид титана способствует активному росту костной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zvi Schwartz, Perry Raz, Ge Zhao, et al. Effect of Micrometer-Scale Roughness of the Surface of Ti_6Al_4V Pedicle Screws in Vitro and in Vivo. / J Bone Joint Surg Am., 2008, vol.90, pp. 2485–2498.

2. Jäger M, C. Zilkens, K. Zanger, et al. Significance of Nano- and Microtopography for Cell-Surface Interactions in Orthopaedic Implants. / *J Biomed Biotechnol*, 2007, pp. 69036.
3. Xuanyong Liua, Paul K. Chub, Chuanxian Ding. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications /— *Materials Science and Engineering R*, 2004, vol. 47, pp. 49–121.
4. Lazarouk S. K., Sasinovich D. A., Kupreeva O. V., et.al. Effect of the electrolyte temperature on the formation and structure of porous anodic titania film. / *Thin Solid Films*, 2012, vol. 526, pp. 41–46.
5. Лазарук, С. К., Влияние поверхностной структуры титановых имплантатов на реакцию со стороны костной ткани / С.К. Лазарук, О.В. Купреева, Д.В. Исаев. — Доклады БГУИР, 2016, №1(95) — С. 100–103.
6. Керамические кальций-фосфатные биопокрывтия на имплантатах из титановых сплавов / С. И. Багаев [и др.]; Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн.1. Материаловедение — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. №1 (3). — С. 10–16.
7. Гвоздовская, Е. А. Оптические свойства анодного оксида титана и его применение в челюстно-лицевой хирургии / Е. А. Гвоздовская, И. В. Тимошевич, К. А. Корзун. — Доклады БГУИР, 2016, №5(99) — С. 48–53.

REFERENCES

1. Zvi Schwartz, Perry Raz, Ge Zhao, et al. Effect of Micrometer-Scale Roughness of the Surface of Ti_6Al_4V Pedicle Screws in Vitro and in Vivo. / *J Bone Joint Surg Am.*, 2008, vol.90, pp. 2485–2498.
2. Jäger M, C. Zilkens, K. Zanger, et al. Significance of Nano- and Microtopography for Cell-Surface Interactions in Orthopaedic Implants. / *J Biomed Biotechnol*, 2007, pp. 69036.
3. Xuanyong Liua, Paul K. Chub, Chuanxian Ding. Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications /— *Materials Science and Engineering R*, 2004, vol. 47, pp. 49–121.
4. Lazarouk S. K., Sasinovich D. A., Kupreeva O. V., et.al. Effect of the electrolyte temperature on the formation and structure of porous anodic titania film. / *Thin Solid Films*, 2012, vol. 526, pp. 41–46.
5. Lazarouk S. K., Kupreeva O. V., Isaev D. V. Vliyaniye poverkhnostnoy struktury titanovykh implantatov na reaktsiyu so storony kostnoy tkani [Effect of the surface structure of titanium implants on the response from the bone tissue]. *Doklady BSUIR*, 2016, vol. 1(95), pp. 100–103. (in Russian)
6. Bahayeu S. I., Smyaglikov I. P., Sergeeva E. K., et al. Keramicheskie kalcyi-phosphatnye biopokrytia na implantatah iz titanovykh splavov [Ceramic calcium phosphate biocovers on implants made of titanium alloys]. *Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov* [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]. collection of scientific papers, vol. 1, *Materialovedenie*, Minsk: FTI NAN Belarusi [PTI NAS Belarus], 2016; iss. 1 (3), pp. 10–16. (in Russian)
7. Gvozдовskaya E. A., Timashevich I. V., Korzun K. A. Opticheskiye svoystva anodnogo oksida titana i yego primeneniye v chelyustno-litsevoy khirurgii [Optical properties of anodic titanium oxide and its application in maxillofacial surgery]. *reports BSUIR*, 2016, vol. 5, pp. 48–53. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 25.04.17