

УДК 621.762

И. А. Насчетникова*

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*naschetnikova@mail.ru

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук С. И. Степанов

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНОВЫХ ИМПЛАНТАТОВ

В работе представлен обзор методов модификации поверхности металлических имплантатов на основе титана, повышающих остеоинтеграцию и биомеханическую совместимость в живом организме и позволяющих избежать процессов биодеградации и резорбции костной ткани.

Ключевые слова: титан, имплантация, модификация поверхности, биомеханическая совместимость, биоинертные покрытия.

I. A. Naschetnikova

SURFACE MODIFICATION OF TITANIUM IMPLANTS

The paper presents an overview of methods for surface modifying of titanium-based metal implants that increase osseointegration and biomechanical compatibility in the living organisms and reduce the processes of biodegradation and bone resorption.

Key words: titanium, implantation, surface modification, biomechanical compatibility, bioinert coating.

Качество поверхностного слоя является одним из главных факторов, определяющих свойства имплантатов. Тщательно обработанная традиционными способами поверхность имплантатов является носителем остаточных макро- и микронапряжений, усталостных макро- и микротрещин, зерен абразива и прочих дефектов. Из исторически накопленного медицинского опыта металлического эндопротезирования известна низкая приживаемость имплантатов в человеческом организме, что зачастую приводит к резорбции костной ткани, процессам инкапсуляции, воспалительным процессам и разрушениям близлежащей к имплантату здоровой кости. В настоящее время крайне важно продолжать поиски модификации имплантатов с новыми топографическими характеристиками для ускорения остеоинтеграции, сокращения сроков реабилитации и предотвращения развития инфекции и патологии.

В настоящее время используются комбинации модификаций поверхности. Существует около 50 прямых и комбинированных технологий придания необходимой микрогеометрии, которые основаны на следующих методах: кислотное травление, лазерная обработка, оксидирование; электроэрозионная обработка (ЭЭО); ультразвуковая обработка (УЗО), струйно-абразивная обработка. Однако модификация поверхности подразумевает не только придание необходимой геометрии поверхности, но и нанесение биологических или биоинертных покрытий в целях улучшения адгезии клеток и их пролиферации.

Наиболее часто в медицине используются следующие покрытия: оксидные покрытия, биокерамические покрытия (гидроксиапатит — ГА, трикальцийфосфат — ТКФ), алмазоподобные покрытия, углеродные нанотрубки, пептидные покрытия.

Проведенный литературный анализ позволяет выделить следующие основные физико-химические факторы, положительно влияющие на остеоинтеграцию.

Структурированная поверхность имплантатов улучшает распределение нагрузки и впоследствии стимулирует формирование новой костной ткани, а также обеспечивает плавное изменение модуля упругости в пористой поверхности. На структурированной поверхности присоединение клеток и пролиферация намного выше по сравнению с оксидированной, но не структурированной поверхностью. Пленка оксида титана также имеет хорошую совместимость с кровью, т. к. поверхностное натяжение крови на поверхности оксида титана значительно более низкое, чем на поверхности других биосовместимых металлических материалов, которые используются в хирургии. Также улучшенная гемосовместимость обеспечивается взаимодействием пленки оксида титана, которая имеет полупроводниковую природу, с протеинами плазмы крови [1]. Вид кристаллической структуры оксида титана практически не влияет на остеоинтеграцию.

Изменение площади контакта поверхности имплантата с биологическими тканями и жидкостями, а также увеличение свободной поверхностной энергии создают благоприятные условия для молекулярной адгезии, захвата белков, компонентов крови, пролиферации клеток. Это ведет к быстрой остеоинтеграции имплантата в организме без образования каких-либо тканей на поверхности, тромбов и т. п.

Биокерамические покрытия (гидроксиапатит — ГА, трикальцийфосфат — ТКФ) улучшают фиксацию имплантата в кости на начальной стадии после операции, однако некоторые отдаленные результаты позволяют утверждать, что поверхность, содержащая оксид титана,

обладает более высокими остеоиндуктивными свойствами по сравнению с биокерамическими покрытиями [2, 3].

Химический эффект наряду с изменением топографии поверхности обеспечивается кислотным травлением. Однако имплантаты, подвергнутые только струйно-абразивной обработке, имеют лучшую адгезию с костными тканями, чем имплантаты после травления, не подвергнутые ей [4].

Окисная пленка на поверхности титана, связанная с щелочной обработкой, приводит к увеличению скорости взаимодействия физиологического раствора с поверхностью имплантата.

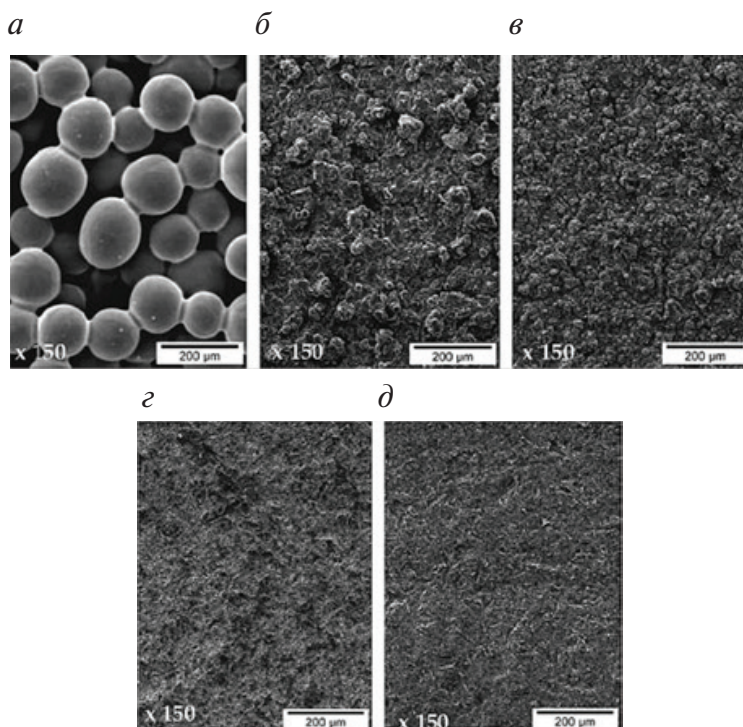


Рис. 1. Морфология поверхности образцов модифицированного титана [5]:
a — пористый титан, спеченный из сферических частиц; *б* — титан с пористым покрытием, полученным плазменным напылением; *в* — гидроксиапатит; *г* — струйно-абразивная обработка и кислотное травление; *д* — струйно-абразивная обработка с применением гидроксиапатита

В исследовании [5] показано, что пористая поверхность титана имеет значительно лучшую биосовместимость и наиболее высокую активность остеобластов. На рис. 1 представлена морфология имплантатов из технически чистого титана различных типов: спеченный пористый слой из сферических частиц титана; покрытие из губчатых частиц титана, нанесенное плазменным напылением; гидроксиапатитовое покрытие

тие; струйно-абразивная обработка и последующее травление кислотой; струйно-абразивная обработка с использованием в качестве абразива среды, содержащей гидроксипатит, с последующей пассивацией кислотой и очисткой в спирте.

Струйно-абразивная обработка дробью обеспечивает необходимые микрогеометрические характеристики топографии поверхности имплантатов, что, наряду с биосовместимостью титановых имплантатов, позволяет создавать эффективные остеоинтегрируемые конструкции.

Травление кислотой обеспечивает большую шероховатость поверхности, чем УЗО. Показано, что образцы, модифицированные ультразвуком, являются менее эффективными адсорбентами по сравнению с образцами, модифицированными электроэрозионным методом или сопряженной УЗО + ЭЭО-обработкой [6].

Существует ряд исследований, посвященных применению комбинированной обработки поверхности имплантатов, включающей сочетания вышеперечисленных методов [7]. Результаты сравнительных исследований имплантатов, подвергнутых такой обработке, позволяют сделать вывод, что химический состав поверхности и топография играют важную роль в ответе кости на имплантаты, это необходимо учитывать при создании имплантатов и разработке технологии их изготовления.

Работа выполнена при финансовой поддержке постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 года № 218, номер соглашения 03.G25.31.0234 от 03.03.2017 г.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 In vivo evaluation of plasma-sprayed titanium coating after alkali modification / W. Xue [et al.] // J. Biomaterials. 2005. V. 26. P. 3029–3037.
- 2 Enhanced fixation of implants by bone ingrowth to titanium fiber mesh: effect of incorporation of hydroxyapatite powder / T. Tsukeoka [et al.] // J. Biomed Mater. Res. B. Appl. Biomater. 2005. P. 168–176.
- 3 In vivo performance of two different hydroxyapatite coatings on titanium prepared by discharging in electrolytes / H. Yamamoto [et al.] // J. Biomed Mater. Res. B. Appl. Biomater. 2006. V. 78. P. 211–214.
- 4 Osteoinductive porous titanium implants: Effect of sodium removal by dilute HCl treatment / M. Takemoto [et al.] // J. Biomaterials. 2006. V. 27. P. 2682–2691.
- 5 Corrosion resistance and biocompatibility of a new porous surface for titanium implants / M. Simon [et al.] // Eur. J. Oral Sci. 2005. V. 113. P. 537–545.
- 6 Analysis the optimal value for titanium implant roughness in bone attachment using a tensile test / H. J. Ronold [et al.] // J. Biomaterials. 2003. V. 24. P. 4559–4564.
- 7 Модификация поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В. В. Савич [и др.]. М. : Беларус. наука, 2012. 244 с.