

УДК 61:620.22-022.532

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ В ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТОЛОГИИ

Монич С.Г., Храмова А.С., Бондаренко В.А.

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В данной работе было проведено исследование в области последних разработок, проблем и будущих направлений развития изготовления дентальных имплантов, которые обеспечат биологическую активность и терапевтическую эффективность модифицированных поверхностей имплантатов во время хирургической установки и сохранят свои свойства в процессе производства, хранения и лечения.

**Ключевые слова:** зубные имплантаты, титан, наноинженерия.

## USE OF NANOTECHNOLOGY IN DENTAL IMPLANTOLOGY

Khramkova A., Bondarenko V., Monich S.

*Belarusian National Technical University*

*Minsk, Republic of Belarus*

**Abstract.** In this work, a study was conducted in the field of recent developments, problems and future directions for the development of dental implant manufacturing, which will ensure the biological activity and therapeutic effectiveness of modified implant surfaces during surgical installation and retain their properties during production, storage and treatment.

**Key words:** dental implants, titanium, nanoengineering.

*Адрес для переписки: Храмова А.С., ул. Балтийская, 4, г. Минск, 220028, Республика Беларусь  
e-mail: alinahramkova.com@gmail.com*

Многокомпонентная система зубных имплантатов (металлический винт, металлокерамический абатмент и керамическая коронка) взаимодействует с разными видами тканей и выполняет множество функций, что делает зубной имплантат одним из самых сложно имплантируемых устройств. Свойства поверхности дентального имплантата являются основным фактором, определяющим успех имплантации. Биологическая активность и терапевтическая эффективность модифицированных поверхностей имплантатов должны сохраняться в процессе производства, хранения и лечения. Однако для обеспечения желаемой эффективности таких новых систем имплантатов необходимы долгосрочные исследования.

Наноинженерия зубных имплантатов на основе титана развивается и набирает обороты, что связано с контролем над характеристиками имплантатов, достижением их успешной интеграции с тканями и местной терапией. По сравнению с другими клинически используемыми новыми стратегиями наноинженерии анодирование превосходит другие экономически эффективным и масштабируемым производством контролируемых биосовместимых наноструктур из титана, которые позволяют адаптировать топографию имплантата, химический состав, биологическую активность и терапию. Будущее зубных имплантатов стоит за микро- и наноинженерными имплантатами, которые смогут удовлетворить специфические терапевтические потребности пациентов: стабильность и долгосрочный успех без проведения обеззараживания, терапевтического

введения или коррекции, что сведет к минимуму посещения врача и дискомфорт пациента.

Типичные наноматериалы (диапазон размеров от 1 до 100 нм), используемые в стоматологии, включают нанокompозиты, наночастицы (или трубки/волокна), противомикробные вещества и нанопокрyтия.

Одной из целей наноинженерии зубных имплантатов является создание изотропных или анизотропных наноразмерных материалов, которые будут стимулировать биологическую активность клеток для усиления интеграции имплантата или обеспечения бактерицидных функций, с возможностью местной доставки лекарств для достижения этих функций или без нее. Поверхность наноразмерного имплантата может привести к измененному/усиленному физико-химическому (связывание костей или мягких тканей) или биохимическому (адгезия белков/клеток, поведение клеток) протеканию реакций.

Модификация поверхности зубных имплантатов проводится для достижения повышенной биологической активности и достижения долгосрочного эффекта терапии. Клинически используемые методы обработки поверхности имплантатов включают механическую обработку, пескоструйную обработку, кислотное травление, пескоструйную обработку и кислотное травление, анодирование и плазменную обработку.

Механическая обработка считается новаторской стратегией модификации зубных имплантатов, предполагающей использование более твердых металлов для деформации основного материала с высокими скоростями вращения, что

приводит к получению макро- и микромасштабных функций, которые эволюционировали от ручного управления к цифровому.

Далее пескоструйная очистка включает бомбардировку частицами  $Ti$ ,  $Al$ ,  $Al_2O_3$  или гидроксипатита под воздействием высокоскоростного пескоструйного аппарата высокого давления, который создает микро/наноразмерные углубления на материале имплантата, характеристики которых определяются типом частиц и их размером.

Кислотное травление, изначально разработанное для устранения остатков при производстве имплантатов, позволяет изготавливать шероховатые (микро/нано) поверхности, но требует стандартизации для контроля топографии имплантата. Комбинация пескоструйной обработки и кислотного травления (*SLA* или пескоструйная обработка крупными зёрнами, травление кислотой) является клинически популярным выбором модификации имплантатов. Исследования сообщили об ускорении остеоинтеграции в течение 1–2 месяцев на поверхности микро/нано *SLA*-имплантатов.

Плазменная обработка включает модификацию имплантата желаемым материалом, покрытым посредством плавления и спекания, достигаемого посредством плазменной обработки в вакууме или среде низкого давления. Полученная поверхность имплантата покрывается слоями микро/наномасштаба, однако адгезивный слой может ломаться или расслаиваться, что потребует чрезвычайной осторожности во время установки имплантата.

Наноструктуры контролируемого титана ( $TiO_2$ ), такие как нанотрубки и нанопоры, могут быть изготовлены на зубных имплантатах на основе  $Ti$  с использованием электрохимического анодирования (ЭА).

ЭА предполагает погружение целевой  $Ti$ -подложки (имплантата) в качестве анода и противоэлектрода (фиктивной  $Ti$ -подложки) в электролит с постоянным напряжением или током. Окисление  $Ti$ , вызванное электрическим полем, с образованием  $TiO_2$  (диоксида титана) и индуцированное фторидом растворение  $TiO_2$  внутри органического электролита, содержащего воду и фторид, при достижении электрохимического равновесия приводит к самоупорядочению нанотрубок/нанопор титана. Различные наноструктуры, такие как нанотрубки, нанопоры, нанотрава и наншаблоны с контролируемыми размерами, могут быть изготовлены путем настройки параметров ЭА, включая состав электролита (содержит воду и фтор), напряжение, ток, время и т. д. Примечательно, что зубные имплантаты существуют различных форм, размеров и геометрии и часто с микрошероховатостью, а оптимизированный ЭА может позволить создавать контролируе-

мые наноструктуры на их поверхностях. Параметры анодирования, включая возраст электролита, состав (содержит воду и фторид), напряжение анодирования, ток или время, можно оптимизировать для изготовления наноструктур на сложных поверхностях зубных имплантатов. Помимо  $Ti$ , зубные имплантаты на основе  $Zr$  также были наноинженерными с использованием анодирования для изготовления различных контролируемых нанотопографий.

Большинство попыток улучшить биологическую активность и терапевтические показатели  $Ti$ -имплантатов (как ортопедических, так и стоматологических) ограничивались использованием нанотрубок – полых структур, похожих на пробирки (открытые сверху и закрытые снизу).

Имплантаты из анодированного нанотрубчатого титана являются идеальной стратегией модификации поверхности зубных (и ортопедических) имплантатов. Примечательно, что, хотя большинство исследований предлагают нанотрубки титана в качестве модификации ортопедических имплантатов для интеграции с костной тканью, их применение оправдано и для зубных имплантатов с дополнительным требованием интеграции мягких тканей. Причинами, по которым анодирование и изготовление тротилов на титановых зубных имплантатах считаются идеальной стратегией поверхностной наноинженерии, являются:

- простота, масштабируемость и экономичность изготовления;
- возможность анодирования имплантатов сложной формы и геометрии;
- легкость настройки порядка, формы и размеров наноструктур;
- анодированный  $Ti$  демонстрирует повышенную биологическую активность и способность к местному высвобождению лекарств;
- микрошероховатость имплантатов можно сохранить для изготовления двойных микронаноструктур;
- многочисленные исследования *in vitro* и *in vivo* подтверждают биологическую активность и терапевтическую эффективность анодированных наноинженерных имплантатов.

#### Литература

1. CYBERLENINKA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektiva-ispolzovaniya-implantatov-iz-nanotitana-v-stomatologii>. – Дата доступа: 24.09.2023.
2. ScienceDirect [Electronic resource] Fit and forget: The future of dental implant therapy via nanotechnology. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169409X23002156>. – Date of access: 24.09.2023.
3. Stomatologclub.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stomatologclub.ru/stati/implantologiya-14/nanotehnologii-v-implantacii-1200/>. – Дата доступа: 24.09.2023.