

УДК 53.096, 576.52, 519.688

**СОЗДАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ТИТАНОВЫХ МЕМБРАН С
АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ
НАРАЩИВАНИЯ КОСТНОЙ ТКАНИ ЧЕЛЮСТИ**

Егорова Е.Е. (Университет ИТМО), **Карлагина Ю.Ю.** (Университет ИТМО), **Владимиров Н.А.** (Университет ИТМО), **Зерницкая Е.А.** (Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова)
Научный руководитель – к.т.н., Одинцова Г.В.
(Университет ИТМО)

Работа посвящена технологии лазерной обработки поверхности персонализированных цельнофрезерованных титановых мембран, предназначенных для наращивания костной ткани. Предложен метод автоматизированного создания 3D модели мембраны при помощи машинного обучения. Разработаны режимы лазерного воздействия для направленной модификации химического состава поверхности: образование диоксида титана в фазе рутила и анатаза, позволяющие придать антибактериальные свойства поверхности, что продемонстрировано в ходе испытаний *in vitro*.

Введение. Одной из частых проблем в стоматологии является атрофия костной ткани челюстей после удаления зубов. Для лечения данного заболевания используют мембраны, которые позволяют наращивать костную ткань путем удержания костного материала и разделению его с тканями десны. Однако чаще всего мембрана представляет собой тонкую металлическую пластину, объемную форму которой хирург придает вручную, что значительно увеличивает время операции и уровень ее сложности. Также стоит отметить, что данное медицинское изделие после внедрения в челюсть подвержено возникновению бактериальных колоний, способствующих нагноению и последующему отторжению мембраны. Использование индивидуальных титановых мембран с антибактериальным покрытием позволит решить все перечисленные проблемы. Но на данный момент процесс их изготовления является сложным и трудоемким: на основе обработки КТ-снимков челюстей создают 3D модель кости с дефектом, и затем следует длительный этап ручной очистки модели от артефактов, вызванных шумами на КТ-снимках, далее вручную формируется мембрана в зоне дефекта.

Поэтому в настоящее время является актуальным вопрос разработки новых технологических решений создания антибактериальных покрытий поверхности мембран и методов автоматизированного проектирования, полностью исключая ручную обработку.

Основная часть. В данной работе посредством лазерного воздействия на поверхности сплава титана созданы цветные покрытия из пленки диоксида титана в фазе рутил и анатаз. Проведены исследования *in vitro* для анализа бактериальной адгезии и образования биопленки штамма *Streptococcus oralis*. Анализ адгезии проводился через 5 часов, а анализ биопленки – через 24 часа после высаживания бактерий на поверхность образцов, расположенных в культуральных планшетах.

Предложен метод автоматизированного проектирования мембран, который заключается в следующем: сегментация кости на исходных КТ-снимках и локализация дефекта при помощи нейронной сети. В результате будут получены очищенные изображения кости, которые преобразуются в 3D модель и на ее основе будет программным образом сформирована модель мембраны. В данной работе создана сверточная нейронная сеть на базе U-net для сегментации кости.

Для равномерного нанесения антибактериальных покрытий лазерным излучением 3D модель мембраны разбивалась на области по высоте z (в зависимости от области перетяжки лазерного

пучка) и проецировалась на плоскость XY. Таким образом создавались маски, которые позволяли обрабатывать поверхность объемной мембраны в фокусе.

Выводы. Разработан метод лазерного формирования антибактериального покрытия на поверхности титановых индивидуальных мембран. По результатам проведенных *in vitro* исследований определено, что анатаз проявляет наилучшие бактерицидные свойства по сравнению с рутилом. Данный вид покрытия позволит снизить вероятность образования бактериальной биопленки на установленных мембранах и как следствие уменьшить вероятность нагноения и их отторжения.

Предложен метод автоматизированного проектирования мембран. Разработан метод сегментации кости на КТ-снимках челюстей при помощи U-net-подобной сверточной нейронной сети. Данная сеть позволяет значительно ускорить первый этап проектирования индивидуальной мембраны, так как исключается необходимость ручного очищения от артефактов. В дальнейшем необходимо реализовать метод локализации дефекта, что позволит программным образом формировать мембрану на основе очищенной 3D модели.