

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И БИОСОВМЕСТИМОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ТИТАНА ДЛЯ ЧЕЛЮСТНО – ЛИЦЕВОЙ ХИРУРГИИ

Рогова Т.Ф., Клевцова Н.А., Арсланова Г.С., Матчин А.А., Носов Е.В.
Оренбургский государственный университет,
Оренбургская государственная медицинская академия,
г. Оренбург

Целью данной работы является установление зависимости механического поведения медицинских изделий из обычного и наноструктурированного титана от условий нагружения и определение биосовместимости титановых имплантатов.

Введение

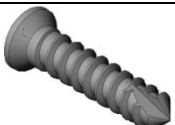
Как известно, технология РКУП-конформ способствует повышению механических свойств. Так твердость титана повышается примерно в 1,3 раза, а такие прочностные характеристики как пределы прочности и текучести увеличиваются примерно в 1,5 раза [1,2].

Процесс наноструктурирования позволил миниатюризировать пластины для остеосинтеза за счет того что предел прочности титана в исходном состоянии составляет 700 Мпа, а наноструктурированном – 1020. Данная миниатюризация позволила изменить размеры пластин следующим образом. Размеры пластин представлены в таблице 1, а шурупов – в таблице 2.

Таблица 1 – Размеры пластин из обычного и наноструктурированного титана

Вид пластины	Длина, мм	Ширина в центральной части, мм	Ширина у отверстий, мм	Толщина, мм	Диаметр отверстий, мм
Пластина из обычного титана	46,4	3,0	4,4	0,9	2,0
Мини пластина из наноструктурированного титана	46,4	3,0	4,4	0,6	1,7

Таблица 2 – Размеры шурупов из обычного и наноструктурированного титана

Вид шурупа	Длина, мм	Диаметр, мм	Общий вид
Шуруп из обычного титана	9,50	2,00	
Мини шуруп из титана с СМК	7,56	1,60	

Данная миниатюризация пластин, в результате которой уменьшается толщина пластины и диаметр отверстия для крепления шурупов, позволяет увеличить контактную площадь между изделием и фиксируемой костью, обеспечивая более качественное крепление. Уменьшение размеров шурупов для крепления пластин, в свою очередь, позволило уменьшить площадь повреждения костной ткани при фиксации изделия.

Ряд усталостных испытаний позволил установить, что усталостная прочность мини-пластин из наноструктурированного титана марки Grade 4 в 5,8 раз выше прочности промышленных пластин из обычного титана [3]. Результаты усталостных испытаний представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты усталостных испытаний

Изделие	Пластины из обычного титана	Мини пластины из титана с СМК
Н, число циклов до разрушения пластин	$(1,76 \pm 0,47) \cdot 10^4$	$(1,05 \pm 0,18) \cdot 10^5$
Время до разрушения образцов, мин	12,6	73,2

Материалы и методики исследования

В качестве исследуемого материала использовали промышленные пластины из титан марки Grade 4 (0,05%N₂; 0,1%C₂; 0,015%H₂; 0,5%Fe; 0,4% O₂) в исходном состоянии ($d_{cp}=40\text{мкм}$) и мини-пластины из титана марки Grade 4 в субмикроструктурном состоянии после РКУП-конформ, 200° С, 6 проходов ($d_{cp}=300\text{ нм}$). Для определения биосовместимости использовали шурупы из титана в исходном и наноструктурированном состоянии.

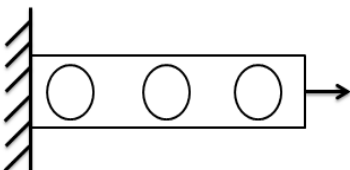
1. Моделирование распределения напряжений в пластинах титана с использованием программы Ansys.

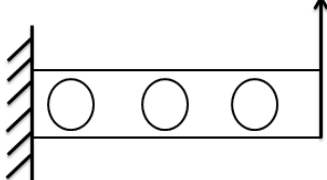
2. Испытания на биосовместимость титана Grade 4.

Методика моделирования статических напряжений, в мини-пластинах при разных видах нагружения

Для определения качества миниатюризованных пластин был проведен численный эксперимент с помощью программы Ansys. Моделируемые схемы нагружения показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Схемы нагружения пластин

Схема нагружения	Описание
	Схема нагружения: растяжение. Крайнее левое отверстие жестко закреплено, а на крайнее правое прикладывается нагрузка, распределяющаяся вдоль плоскости пластины.

	Схема нагружения: изгиб. Крайнее левое отверстие жестко закреплено, а на крайнее правое прикладывается нагрузка, перпендикулярная плоскости пластины.
---	--

Исследование биосовместимости

Экспериментальная апробация наноструктурированных титановых изделий была выполнена на 5 половозрелых кроликах породы Шиншилла в возрасте 6 месяцев, содержащихся на стандартном рационе питания. Все эксперименты осуществлялись с соблюдением требования приказа МЗ СССР за № 755 от 12.08.87 об обеспечении правил гуманного обращения с животными.

Под эфирным рауш-наркозом у животных формировали отверстие в теле нижней челюсти с помощью бормашины глубиной 3-4 мм и диаметром 1,5 мм, как показано на рисунке 1.

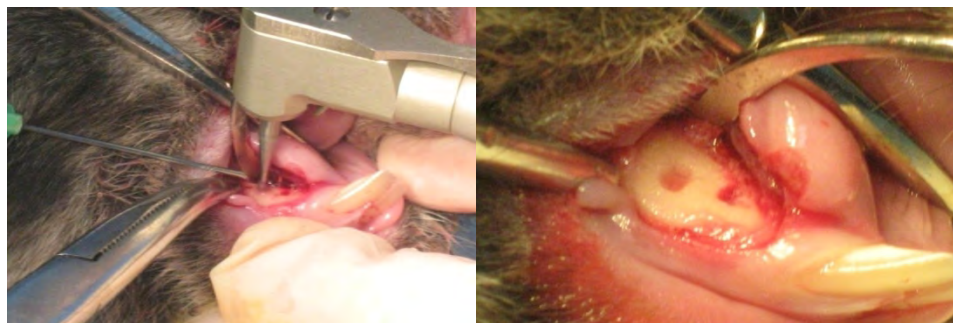


Рисунок 1 – а) Просверливание кости бормашиной;
б) Отверстие для имплантата

С правой стороны устанавливали имплантат из наноструктурированного титана марки Grade 4, а с левой стороны из обычного титана той же марки, что изображено на рисунке 2.

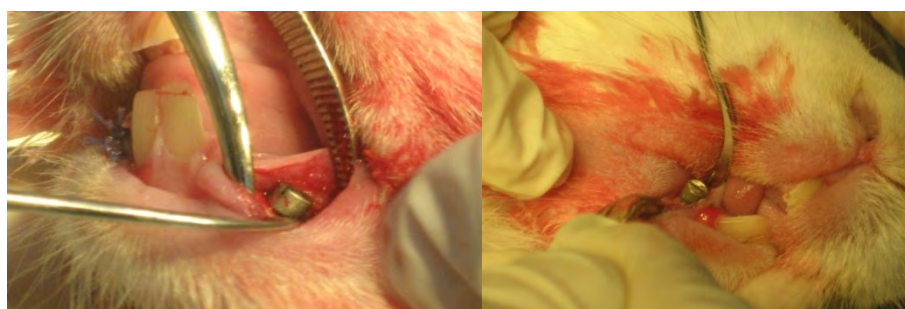


Рисунок 2 – Установленные имплантаты:

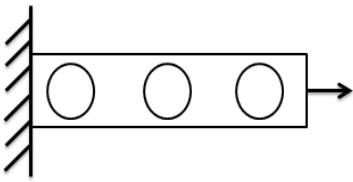
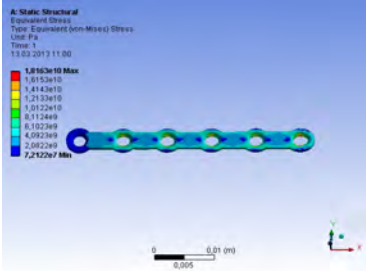
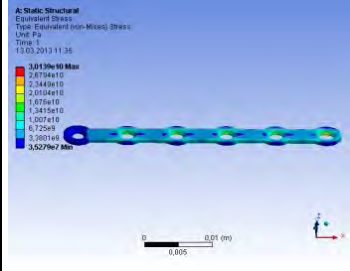
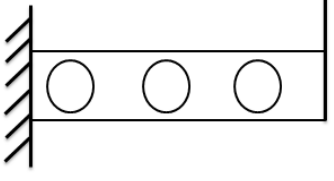
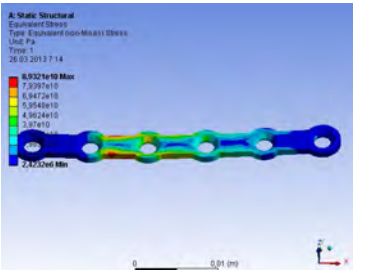
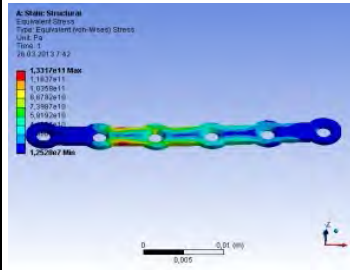
- а) правая сторона – наноструктурированный титан марки Grade 4,
- б) левая сторона – обычный титан той же марки

Результаты экспериментов и их обсуждение

Для определения качества миниатюризованных пластин были проведены численные эксперименты с помощью программы Ansys. Распределение полей

напряжений при моделировании различных типов нагружения пластины показано в таблице 5.

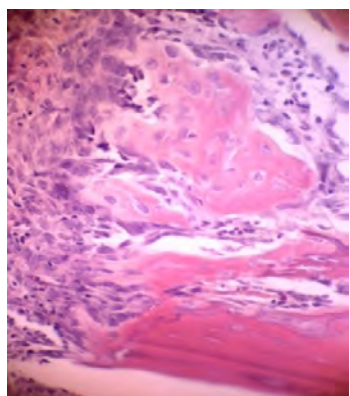
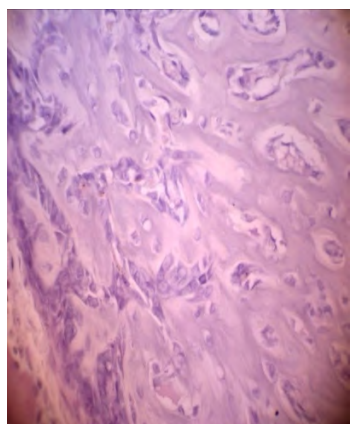
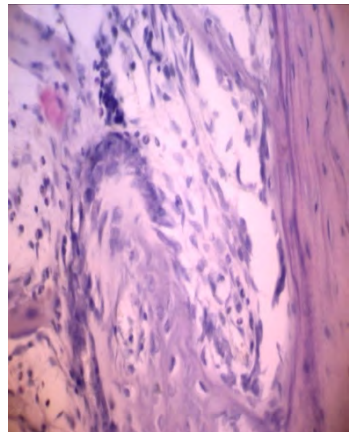
Таблица 5 – Результаты моделирования схем нагружения на растяжение и изгиб

Схема нагружения	Титан Grade 4 в исходном состоянии	Титан Grade 4 после РКУП
Растяжение 		
Изгиб 		

Данная модификация пластин, а именно уменьшение толщины пластины и диаметра отверстий для шурупов, не приводит к искажению полей напряжения при разных видах нагрузки, а так же не вызывает возникновения новых зон с повышенной концентрацией напряжений.

Через 3 месяца с момента операции экстирпировали (фрагменты нижней челюсти из зоны имплантации (с соблюдением правил гуманного обращения с животными). Полученный материал подвергали однотипной гистологической обработке (окраска парафиновых срезов гематоксилином Майера и эозином, иммуноцитохимическая идентификация экспрессии про- и антиапоптотических генов – p53, BCL-2). Были получены сведения о реактивных изменениях костных структур альвеолярного отростка в области титанового имплантата. Результаты гистологических исследований представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты гистологических исследований

Гистологический срез	Описание
	В краевой зоне отмечены явления неоостеогенеза с формированием балочных структур, включающих остеобласты, минерализуемый оссеомукоид, остециты и сосуды микроциркуляции.
	Отмечены участки резорбции костных структур со скоплением остеокластов.
	Наблюдаются явления репаративного остеогенеза с новообразованием преостеобластов, отвечающих за формирование костных матриксов. При этом резорбционные полости заполняются соединительной тканью, содержащей клетки фибробластического ряда, волокна и «пришлые клетки» (гранулоциты, лимфоциты), минерализуемый оссеомукоид, остециты и сосуды микроциркуляции.

Выводы

1. Численное моделирование напряжений показало, что уменьшение толщины пластины и диаметра отверстий для шурупов, не приводит к искажению полей напряжения при разных видах нагрузки, а также не вызывает возникновения новых зон с повышенной концентрацией напряжений.

2. После проведения операции для определения биосовместимости титановых имплантатов за кроликами велись динамические наблюдения. Раны слизистых оболочек над вживленным титаном зажили первичным

натяжением без признаков нагноения; местные воспалительные реакции в полости рта и в зоне операции были минимальными.

3. Результаты гистологических исследований показали, что костная ткань в зоне имплантации развивается без отклонений, а иммуноцитохимическая идентификация позволила установить отсутствие опухолеобразования и атрофии клеток.

Список литературы:

1. Валиев Р.З., Семенова И.П., Латыш В.В., Щербаков А.В., Якушина Е.Б. наноструктурный титан для биомедицинских применений: новые разработки и перспективы коммерциализации // *Российские нанотехнологии*, 2008.- № 9-10.- С. 106-115.

2. Клевцов, Г.В. Кинетика усталостного разрушения титана в субмикрокристаллическом состоянии / Г.В. Клевцов и др. // *Вестник Оренбургского государственного университета*. – 2012. – №9. – С. 123–125.

3. Кашапов М.Р., Клевцова Н.А., Иштеряков В.И., Рогова Т.Ф., Клевцов Г.В. Миниатюризация пластин из титана Grade 4, за счет формирования субмикрокристаллической структуры. *Всероссийская научно-методическая конференция: «Вопросы фундаментальной и прикладной физики»*. – 30 января -1 февраля 2013. Г. Оренбург, Россия: ОГУ, 2013.- С. 1076-1080.

Работа выполнена по Государственному контракту от «11» апреля 2011 г. №16.513.11.3018 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2007-2013 годы».