

Научно-практическая конференция
«Новые аспекты применения сверхэластичных и биорезорбируемых
материалов в восстановительной и реконструктивной хирургии»
Международная промышленная выставка «ИННОПРОМ» 7-10 июля 2025 г.



Биосовместимые имплантаты из никелида титана при создании НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ в хирургии

Марченко Екатерина Сергеевна

доктор физико-математических наук,
зав. лабораторией медицинских сплавов и материалов с памятью формы
зав. кафедрой прочности и проектирования ТГУ
e-mail: 89138641814@mail.ru



Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



Уральский
Государственный
Медицинский
Университет

Биосовместимые имплантаты из никелида титана, созданные в лаборатории Томского государственного университета



Пористые имплантаты из никелида титана для восстановления костных тканей

Патент РФ № 2771150 от 09.12.2021 «Способ получения пористого материала на основе никелида титана методом СВС». Марченко Е.С., Ясенчук Ю.Ф., Байгонакова Г.А., Шишелова А.А., Гюнтер В.Э.



Металлотрикотаж из тонкой никелид титановой проволоки для пластики подвижных тканей

Патент РФ № 2668128 от 13.10.2017 «Биосовместимый материал». Марченко Е.С., Байгонакова Г.А., Кокорев О.В., Гюнтер В.Э.



Биоцидная модульная система для каркасной реконструкции грудной стенки

Патент РФ № 2837561 от 03.10.2024 «Устройство для замещения пострезекционных грудинно-реберных дефектов у пациентов при реконструкции каркаса грудной клетки». Марченко Е.С., Топольницкий Е.Б., Козулин А.А.

Получение сверхэластичной проволоки TiNi



Слитки сплава TiNi
эквиатомного состава, получены
индукционной плавкой в вакууме
при 1310 °С.



Ручьевого горячий прокат
слитка TiNi до d-7 мм



Ротационная ковка
прутка TiNi
до d-3,5 мм



Волочение проволоки
TiNi до d-0,5 мм



Волочение проволоки
TiNi до d-0,06 мм



Прутки TiNi d-7 и d-3,5 мм



Проволока TiNi
d-2 мм



Проволока TiNi d-500 мкм

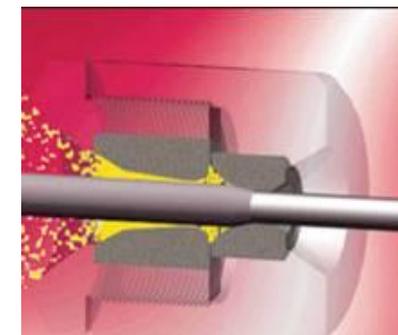
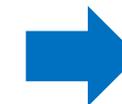


Схема волочения
проволоки
через фильеры

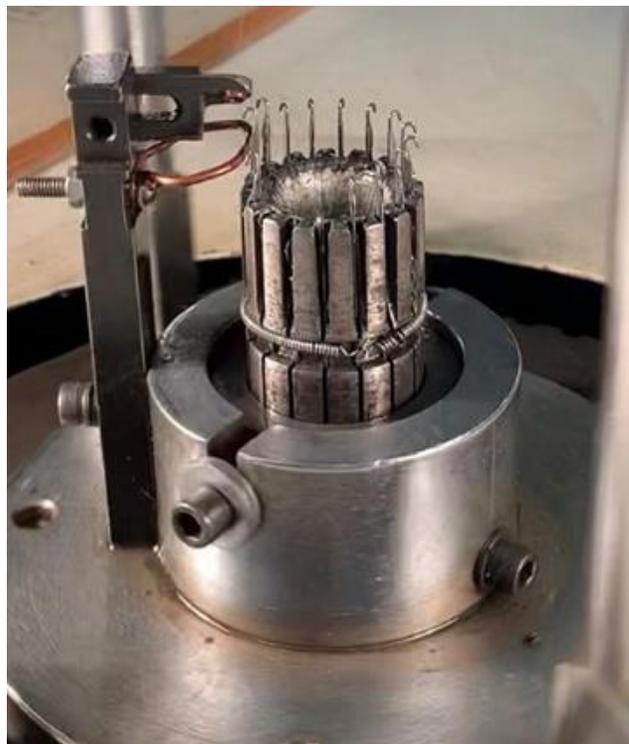


Проволока
TiNi d-40 мкм

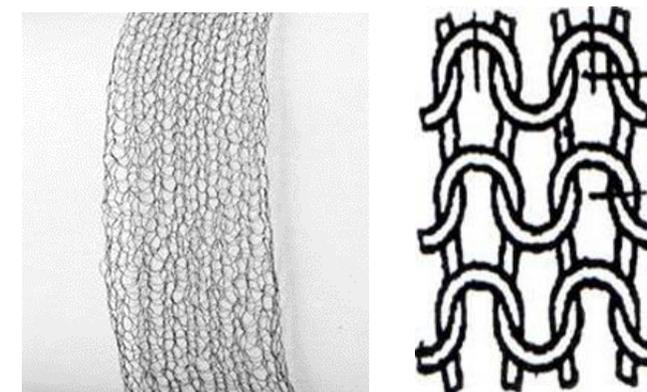
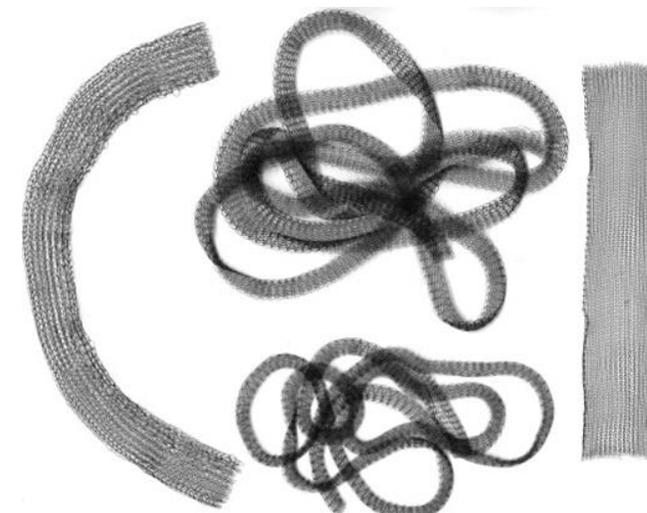
Получение металлтрикотажа из сверхэластичной проволоки TiNi



Проволока TiNi
d-40 мкм



Вязальный станок WK-150,
для получения металлтрикотажа



Металлотрикотажная лента
из проволоки TiNi d-40 мкм
и схема плетения

Металлтрикотаж из проволоки 40 мкм отжигают при температуре 500 °С для фиксации формы. Для получения полотна используют плоскофанговый вязальный станок.

Синтез пористого сплава TiNi

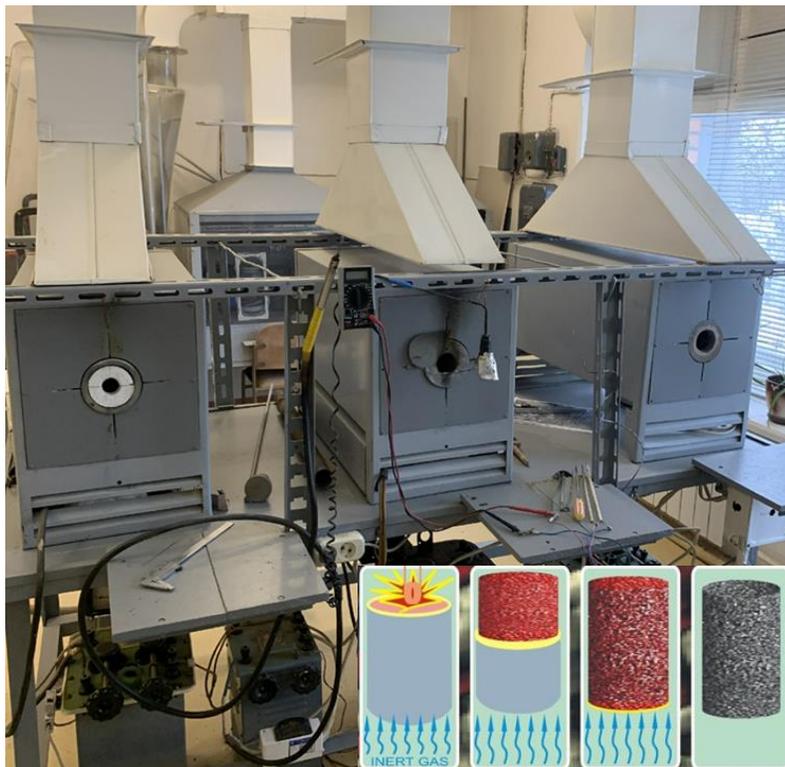
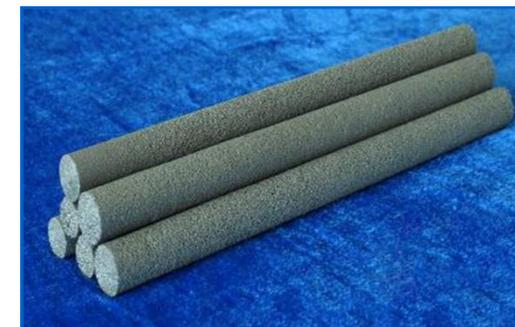
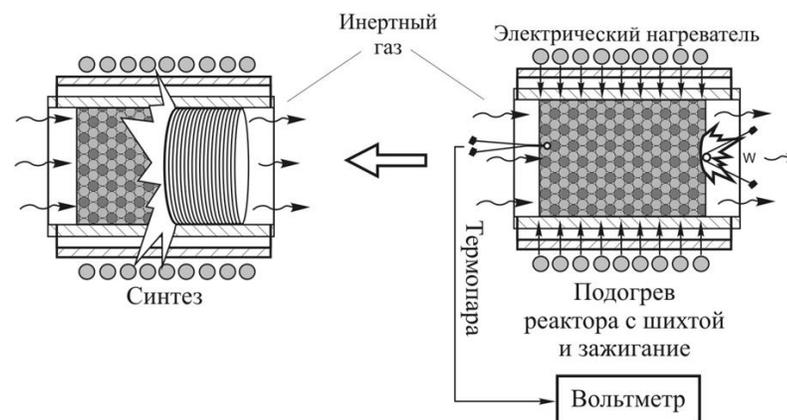


Схема СВС никелида титана в проточном реакторе



Пористые слитки никелида титана

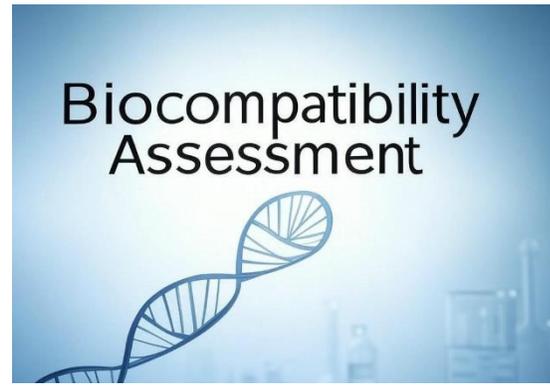
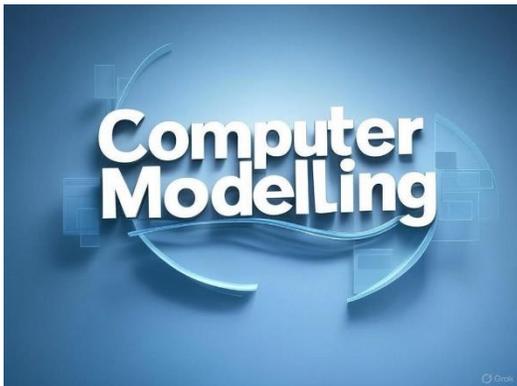
Химический состав порошка ПНК ОТ-4 (масс. %)

Ni	Co	Cu	C	Fe	S	P	Mn
99,8	0,15	0,02	0,03	0,02	0,01	< 0,005	< 0,005
Si	As	Pb	Sb	Bi	Sn	Zn	-
< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	-

Химический состав порошка ПТОМ-2 (масс. %)

Ti	N	C	H	Fe+Ni	Si	Ca	Cl
Основа	0,20	0,05	0,35	0,40	1,00	0,08	0,004

Температура начала синтеза 380 ± 20 °С
 Режим постоянного послойного горения
 Порошок титана ПТОМ-2
 Порошок никеля ПНК ОТ-4
 Порошковая смесь $Ni_{50} + Ti_{50}$
 Реакционные среды: аргон; азот.
 Пористость – 60–70%.



● Production Technologies

- Powder Metallurgy
- Classical Metallurgy
- Additive Manufacturing
- Electron Beam Technologies
- Thermo-mechanical Processing: forging, rolling, drawing, annealing

● Methods of analysis and testing

- Physico-mechanical testing
- Investigation of shape memory and superelasticity parameters
- Structural characterization of materials

● Biocompatibility assessment

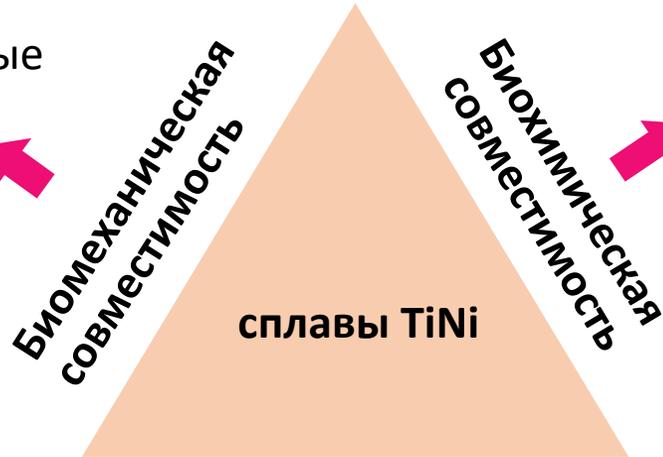
- Assessment of biochemical compatibility
- Assessment of biomechanical compatibility
- Assessment of antibacterial activity

● Computer modelling

- Mechanical modeling
- Material structure modeling
- Product design
- Bioengineering modeling

<#>

Сверхэластичные свойства матрицы

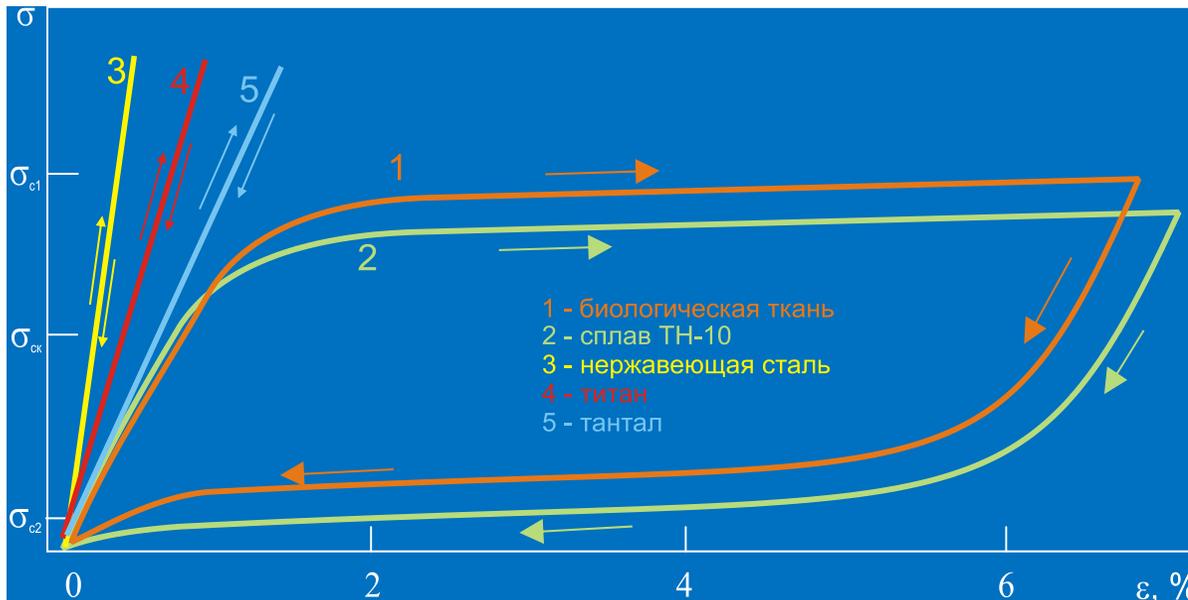


Коррозионно-стойкие свойства поверхности



Токсикологические исследования показали, что монокристаллические и пористые сплавы никелида титана

- не токсичны
- при контакте с тканями организма проявляют химическую стабильность
- не оказывают мутагенного и генотоксического воздействия на костный мозг, бактериальные окраски и репродуктивные клетки. После имплантации количество микронуклеинов и обратных колоний, так же как и процент клеток с хромосомными aberrациями, не возрастает при сравнении с контрольной группой животных
- не инициируют реакций раздражения (эритема и отек) при любых обстоятельствах в течении теста на сенсibilизацию. Не наблюдается токсических симптомов или ненормального биологического поведения у мышей с введенными имплантатами





Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



Уральский
Государственный
Медицинский
Университет



**Марченко Екатерина
Сергеевна,**

доктор физико-математических наук,
доцент, заведующий лабораторией
медицинских сплавов и имплантатов с
памятью формы Томского государственно
университета



Ковтун Ольга Петровна

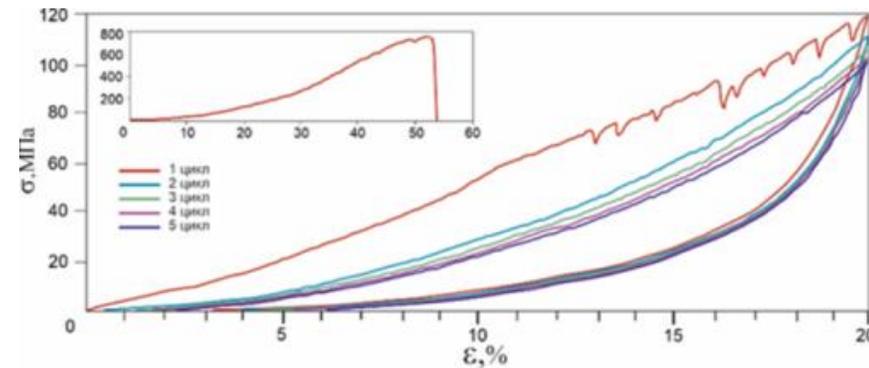
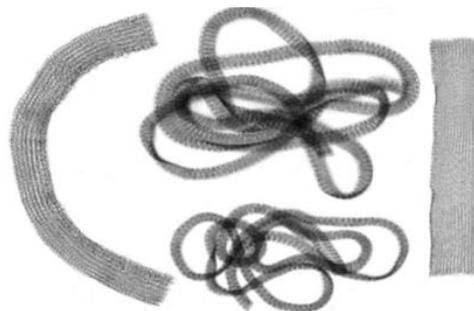
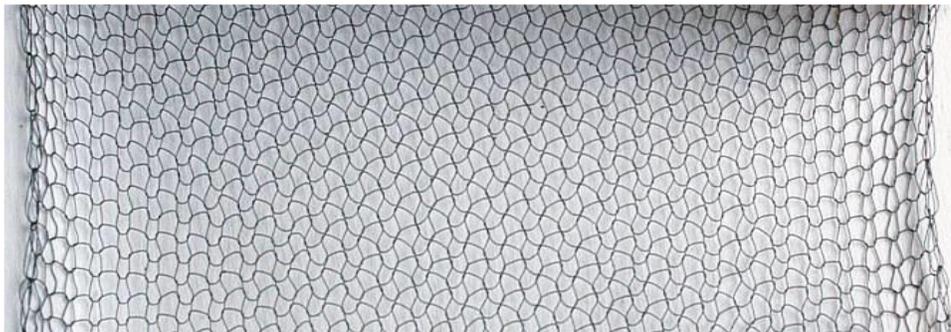
доктор медицинских наук, профессор,
академик РАН, ректор Уральского
государственного медицинского
университета



Гордиенко Иван Иванович

кандидат медицинских наук, доцент,
проректор по научно-исследовательской и
инновационной деятельности Уральского
государственного медицинского
университета

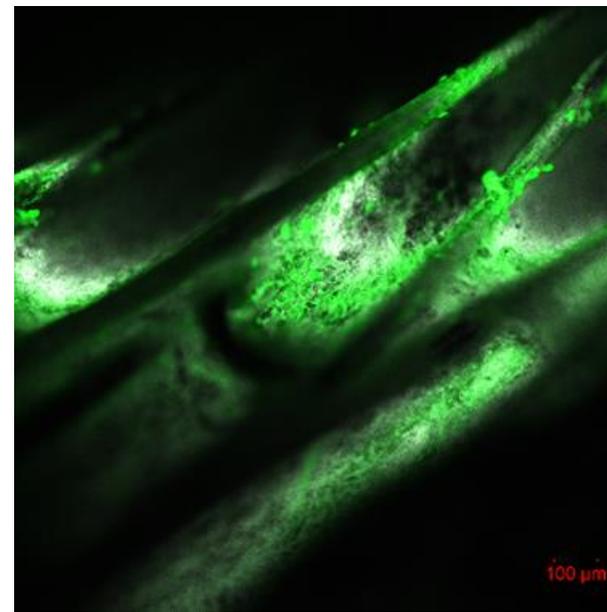
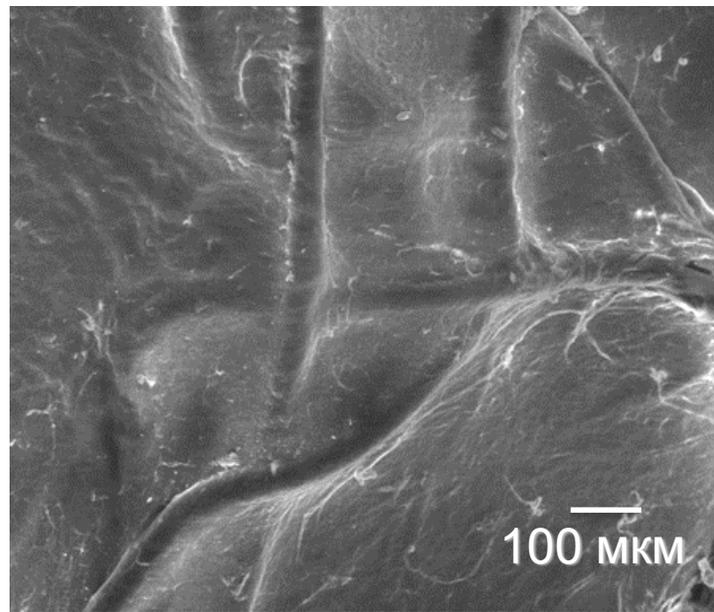
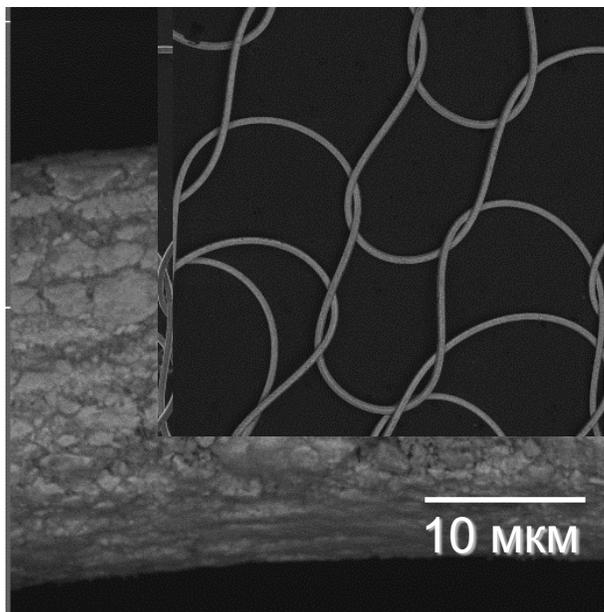
Биоинтеграция и свойства металлотрикотажа из проволоки TiNi толщиной 40÷100 мкм



Эластичность конструкции имплантата до 40 %.

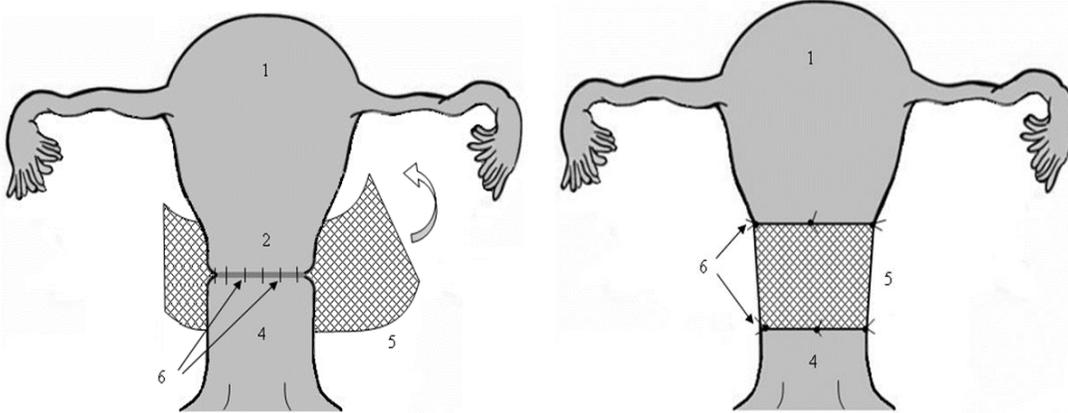
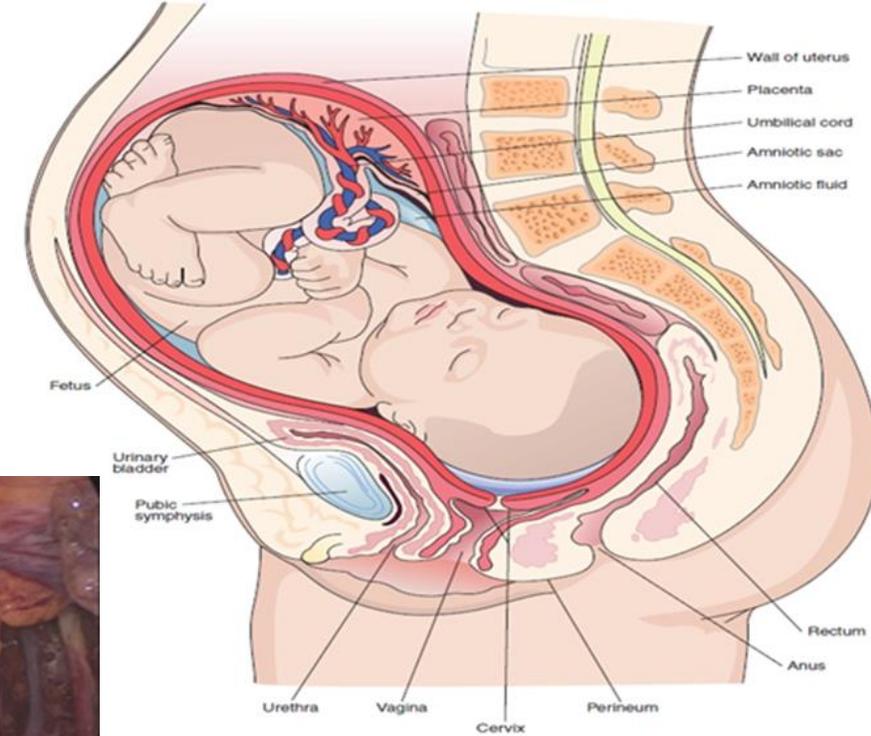
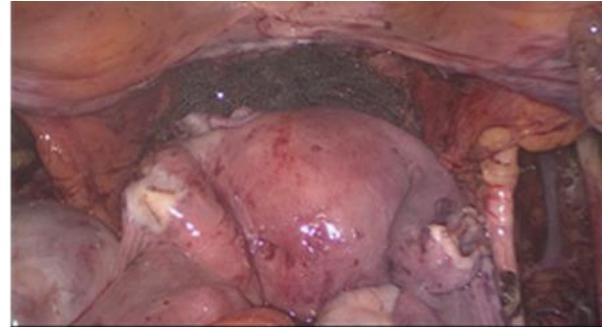
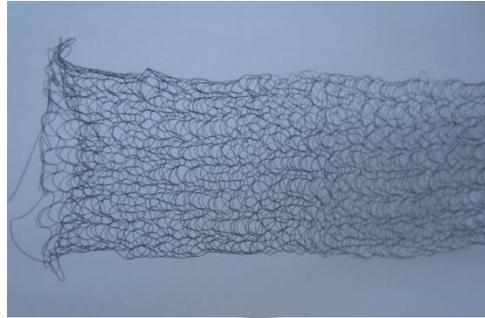
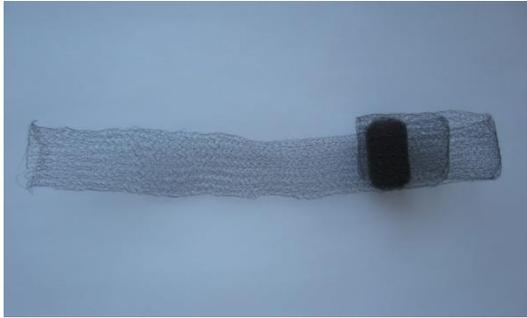
Предел прочности 1 000÷4 000 МПа.

Биоинертная шероховатая поверхность обеспечивает быструю интеграцию с сохранением подвижности в тканях.



Исследования выполнены при поддержке Мегагранта Правительства Российской Федерации № 220 от 09.04.2010 (Соглашение № 075-15-2021-612 от 04.06.2021).

В онкогинекологии – разработана технология органосохраняющего лечения рака шейки матки с использованием металлотрикотажного импланта из никелида титана для укрепления маточно-вагинального анастомоза и восстановления функции запирающего аппарата матки во время вынашивания беременности.



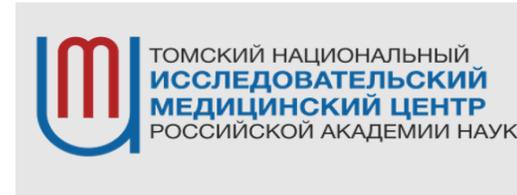
Патент на изобретение № 2661077 от 05.06.2017
«Способ органосохраняющего лечения инвазивного
рака шейки матки». Чернышова А.Л., Коломиец Л.А.,
Гюнтер В.Э., Марченко Е.С.

Между маткой и частью влагалища формируется анастомоз из металлотрикотажной ленты TiNi так создается необходимый запирающий аппарат.

В ЧЛХ металлотрикотаж из никелида титана был использован для армирования собственных пересаженных мягких тканей



Металлотрикотаж



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**

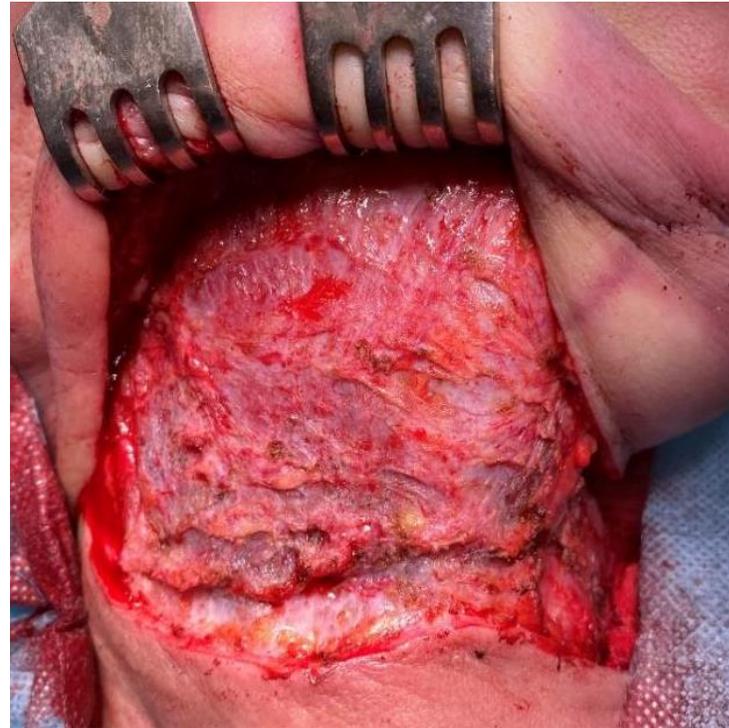
Разработана технология армирования мягкотканых структур металлотрикотажным имплантом из TiNi до пересадки кожно-мышечного лоскута.

В результате достигнута подвижность пересаженного лоскута без стягивания в зоне реконструкции.

Методика реконструкции дна полости рта при помощи металлотрикотажного имплантата из никелида титана



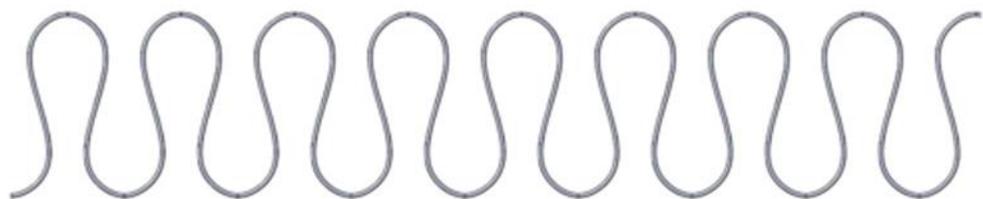
3,5 месяца



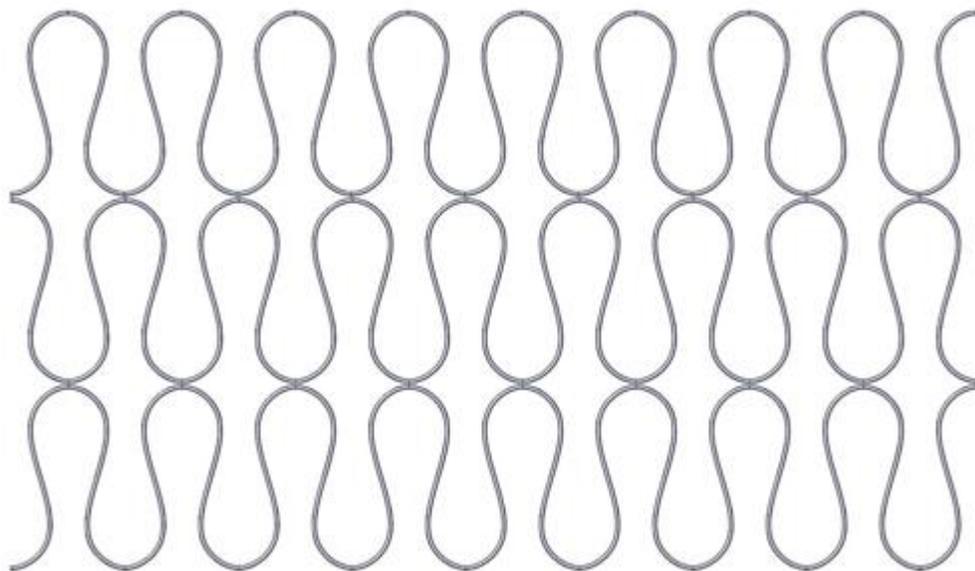
Патент на изобретение №
2826853 от 04.04.2024
«Способ реконструкции языка и
дна полости рта после
выполнения глоссэктомии».
Кульбакин Д.Е., Чойнзонов Е.Л.,
Марченко Е.С.

Целью является фиксация подъязычной кости к нижней челюсти для создания эластичного «корсета» из никелида титана для мышечного компонента лоскута с целью профилактики птоза реконструированного языка.

Биоцидная модульная система из сплава TiNiAg Для восстановления костно-хрящевого каркаса грудной стенки



Единичный модуль - схема



Система модулей - схема

- **Материал:** никелид титана ($\text{TiNi}_{(49,5-49,6 \text{ ат. \%})}$) с Ag 0,05–0,1%
- **Метод производства:** индукционная плавка в вакууме.
- **Форма:** один или нескольких плоских регулярных, транслированных повторяющихся модулей высотой 50 мм из сверхэластичной проволоки TiNiAg с антибактериальными свойствами.

Патент на изобретение РФ № 2837561 от 03.10.2024 «Устройство для замещения пострезекционных грудинно-реберных дефектов у пациентов при реконструкции каркаса грудной клетки» Марченко Е.С., Топольницкий Е.Б., Козулин А.А.



Единичный модуль из проволоки TiNiAg - фото



СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

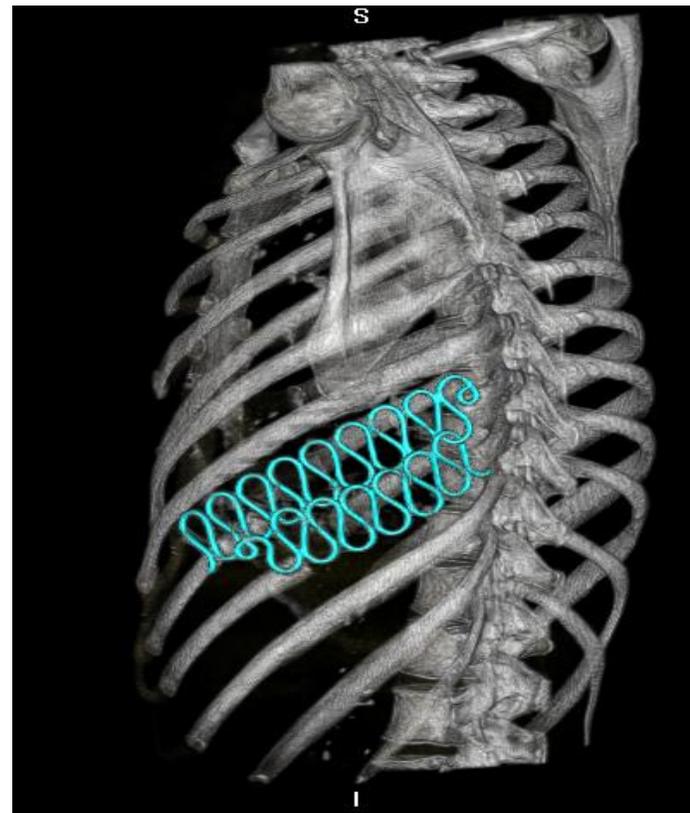
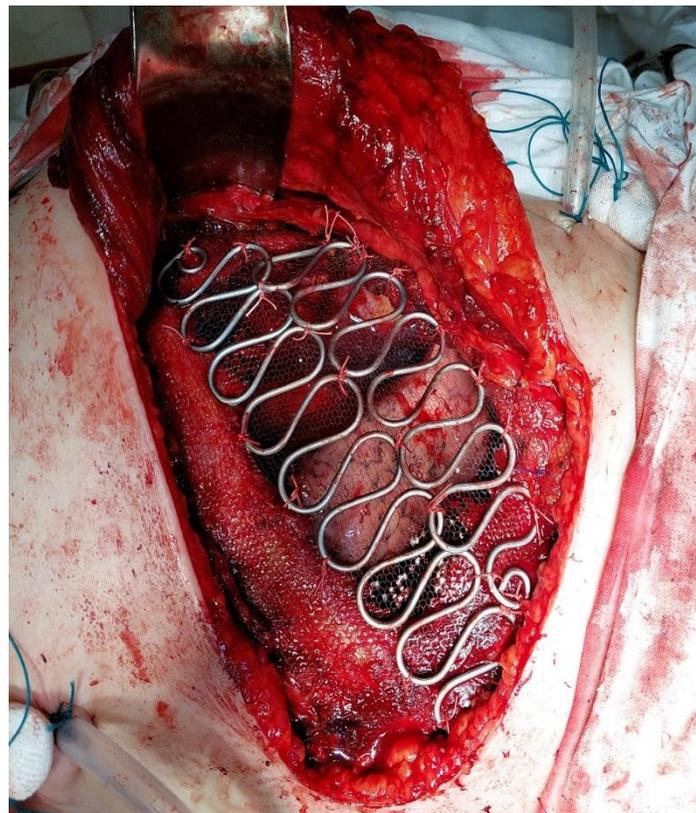
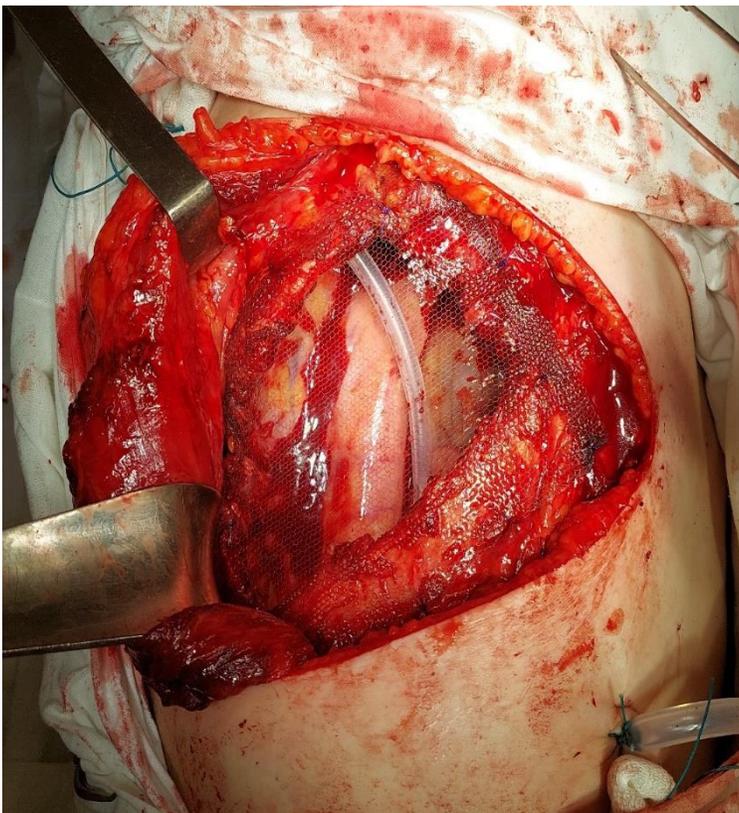


Национальный
исследовательский
Томский
государственный
университет



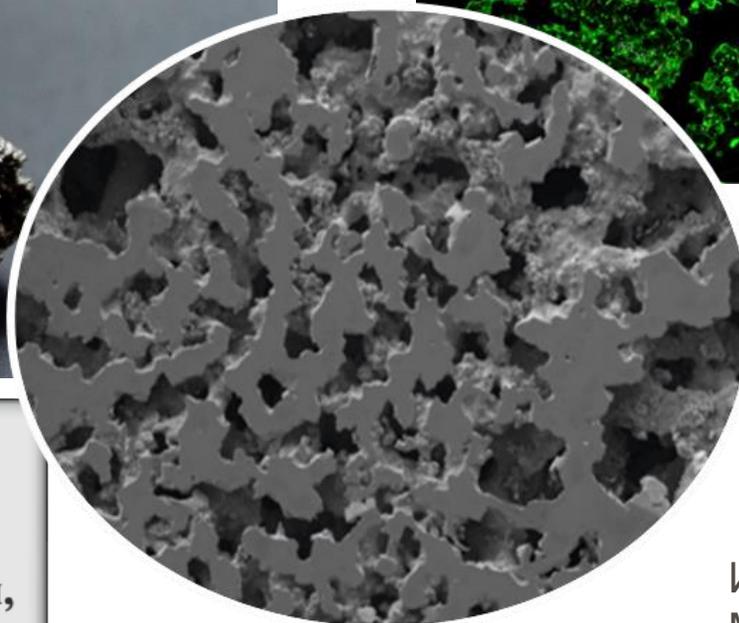
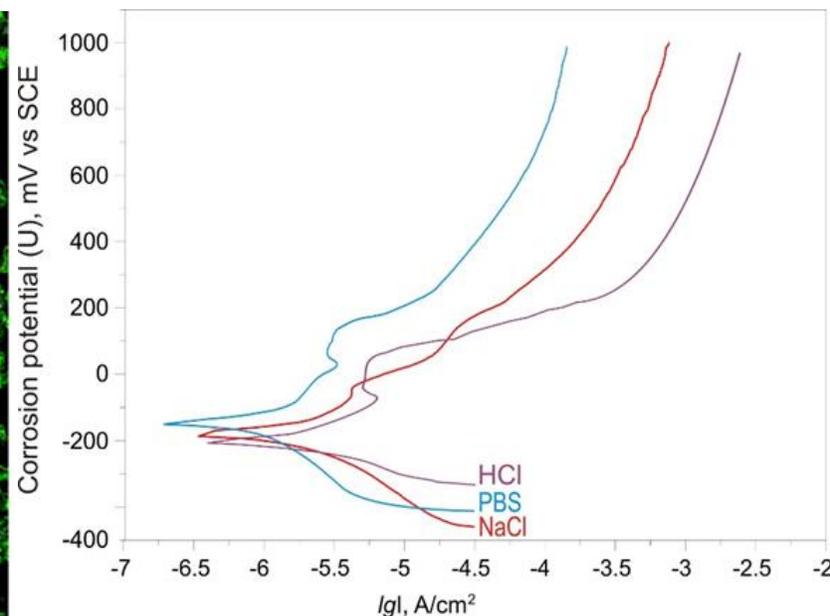
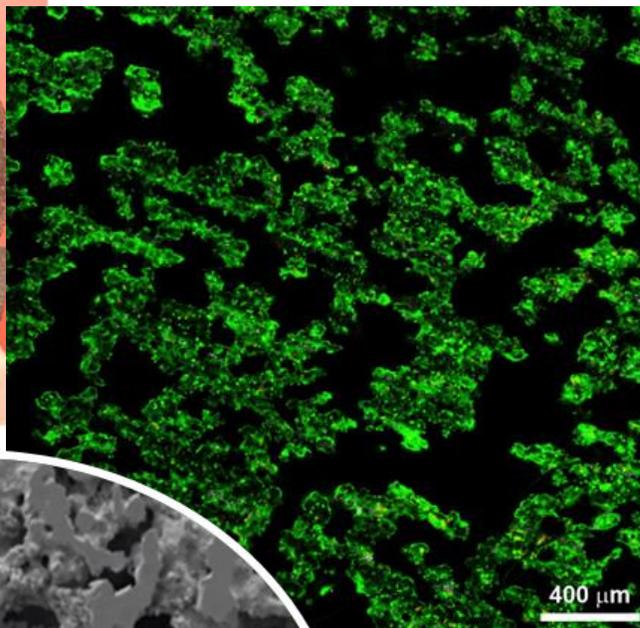
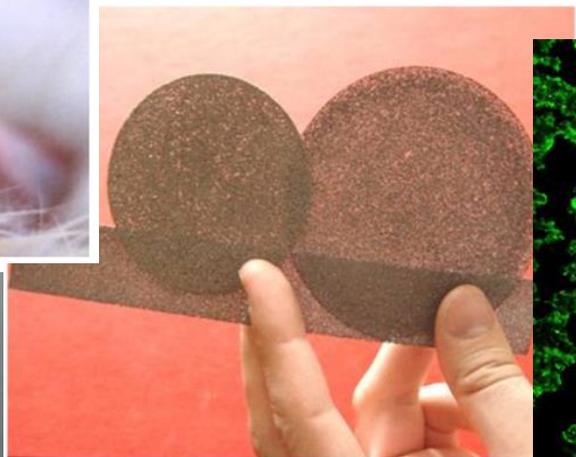
ТОКБ
ТОМСКАЯ ОБЛАСТНАЯ
КЛИНИЧЕСКАЯ БОЛЬНИЦА

Клинический пример замещение дефекта грудной стенки биоцидной системой из двух модулей



Выполнена нижняя лобэктомия с резекцией ребер и одновременной реконструкцией

Структура и свойства пористого сплава TiNi



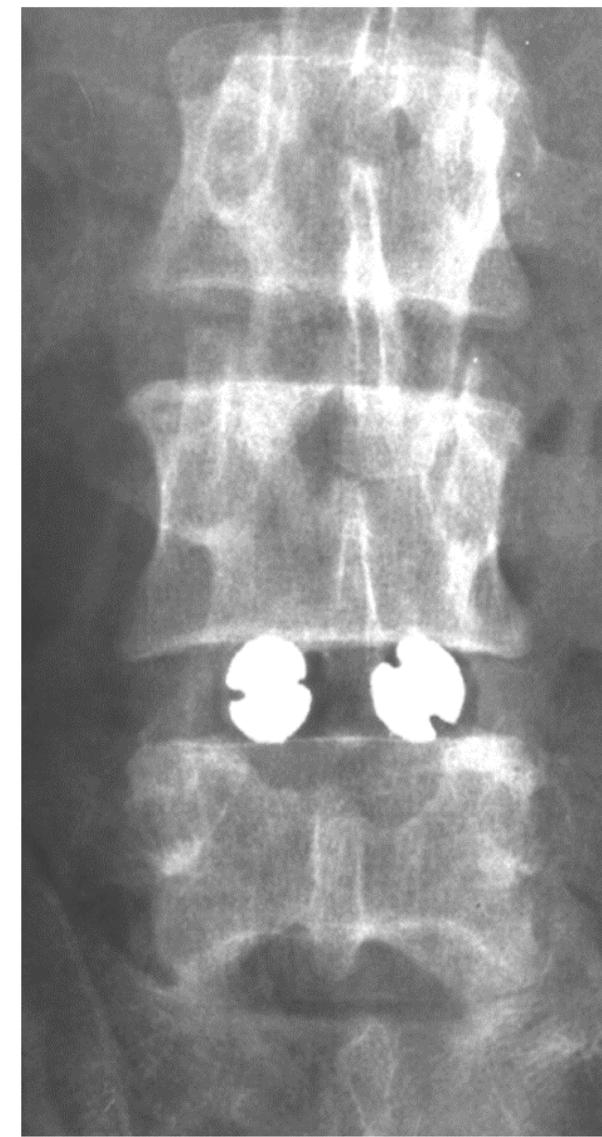
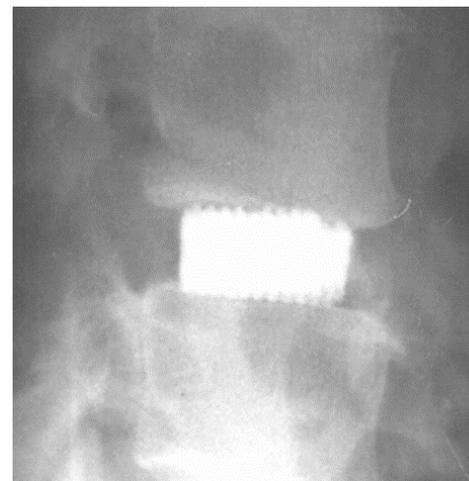
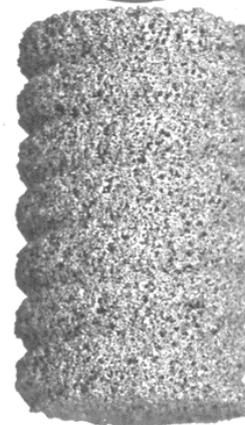
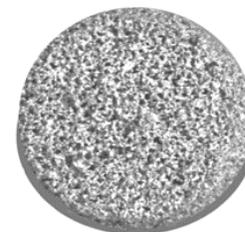
**Пористость: 65-75%.
Структура: проницаемая.
Поверхность: TiO₂,
Ti₄Ni₂(O,N,C) шероховатая,
коррозионностойкая,
биосовместимая.**

Предел упругости σ_y , МПа	Предел прочности $\sigma_{сж}$, МПа	Модуль упругости E, ГПа	Общая деформация $\epsilon_{об}$, %
88,2 ± 6	197 ± 20	4,1 ± 0,3	9,1 ± 0,5

Исследования выполнены при поддержке Мегагрант Правительства Российской Федерации № 220 от 09.04.2010 (Соглашение № 075-15-2021-612 от 04.06.2021).

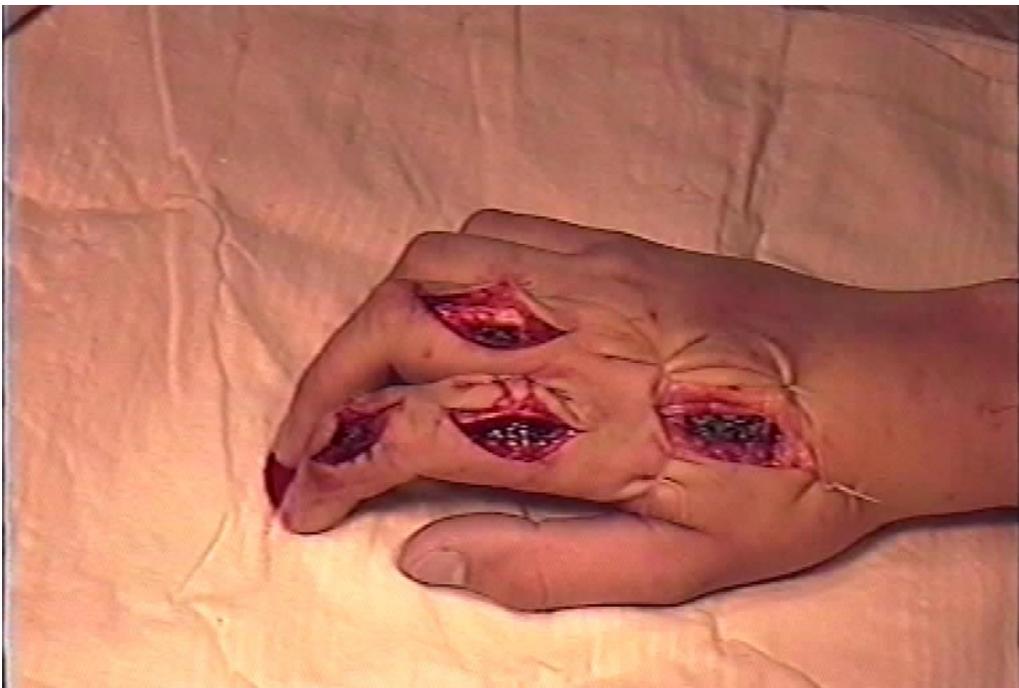


Имплантаты для коррекции и фиксации позвоночника



Пример применения пористых имплантатов из никелида титана

Пористые имплантаты из никелида титана для замены фаланг пальцев



Изготовление индивидуальных имплантатов из пористого TiNi

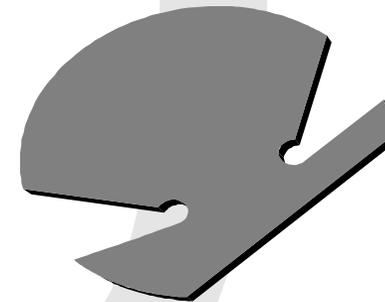
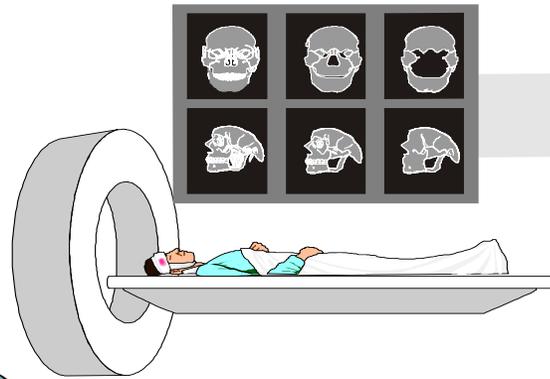


Национальный
исследовательский

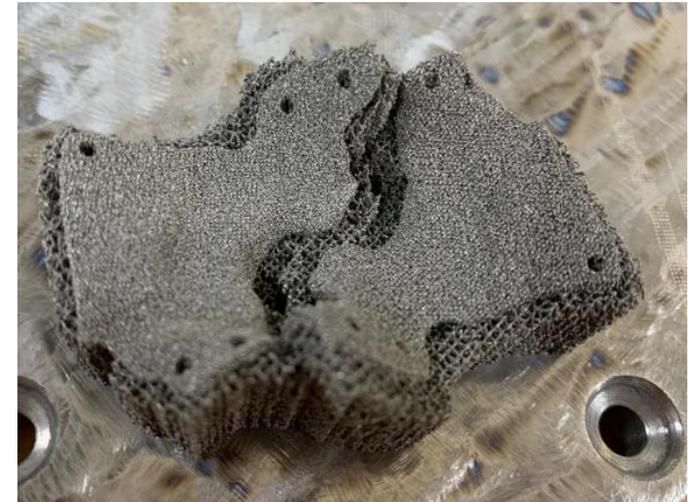
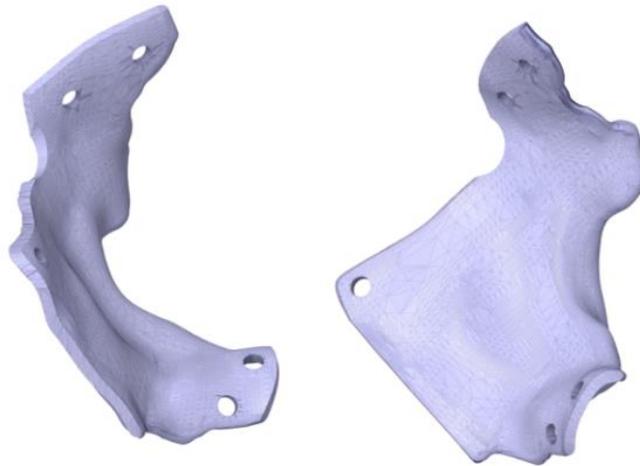
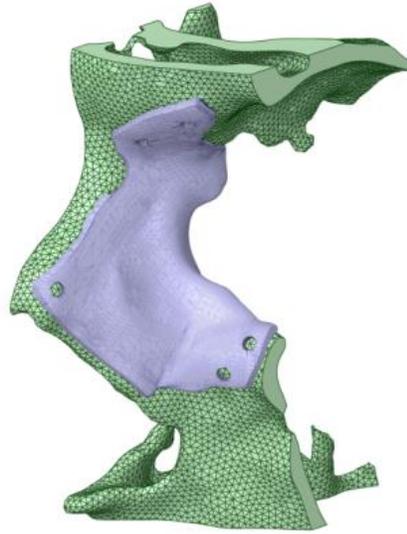
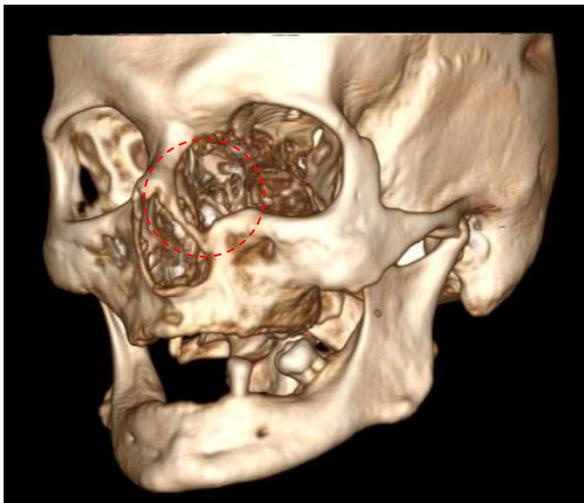
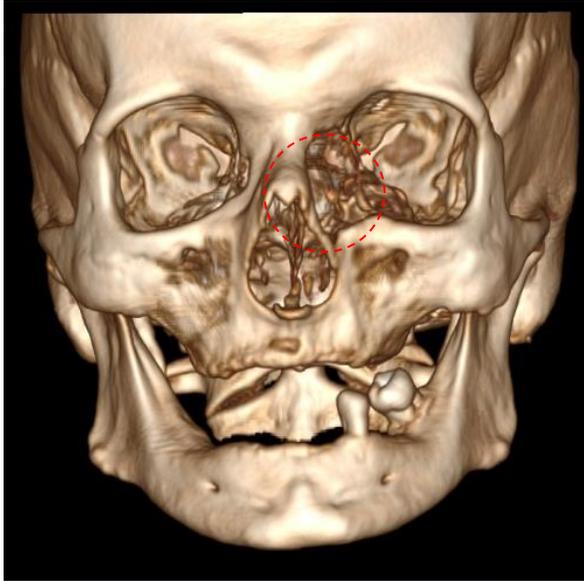
**Томский
государственный
университет**



ТОМСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



3D печать индивидуальных пористых имплантатов из для реконструктивно-восстановительной хирургии в челюстно-лицевой области





Национальный
исследовательский

**Томский
государственный
университет**



Уральский
Государственный
Медицинский
Университет



**Марченко Екатерина
Сергеевна,**

доктор физико-математических наук,
доцент, заведующий лабораторией
медицинских сплавов и имплантатов с
памятью формы Томского государственно
университета



Ковтун Ольга Петровна

доктор медицинских наук, профессор,
академик РАН, ректор Уральского
государственного медицинского
университета



Гордиенко Иван Иванович

кандидат медицинских наук, доцент,
проректор по научно-исследовательской и
инновационной деятельности Уральского
государственного медицинского
университета

«Технологическое лидерство: индустриальный прорыв»



ИННОПРОМ

Благодарю за внимание!