



ФГБОУ ВО «Уральский государственный медицинский университет Минздрава России»  
Кафедра травматологии и ортопедии г. Екатеринбург

## Приоритетные научные направления развития травматологии и ортопедии

Член-корреспондент РАН,  
профессор, доктор медицинских наук  
Сергей Михайлович Кутепов

г. Екатеринбург, 2019 года

## СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ МЕДИЦИНСКОЙ НАУКИ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ НА ПЕРИОД ДО 2025 ГОДА

Основной целью Стратегии развития медицинской науки в Российской Федерации на период до 2025 года является развитие передовых технологий медицинской науки и внедрение на их основе инновационных продуктов, обеспечивающих сохранение и улучшение здоровья населения.

Стратегия направлена на реализацию мероприятий государственной политики в сфере здравоохранения и включает мероприятия по разработке инновационной продукции, критически важных технологий и компетенций.

Результатом реализации Стратегии должен стать выход России на мировой уровень медицинской науки и создание условий для формирования устойчивого спроса со стороны глобального рынка на результаты отечественных фундаментальных и прикладных биомедицинских исследований

На сегодняшний день в травматологии и ортопедии.....

Отсутствуют материалы и имплантаты, обладающие остеоиндуктивными свойствами для адекватного восполнения дефектов костной и хрящевой ткани и первичного эндопротезирования.

Требуются разработки нового костнозамещающего материала, аугментов и ревизионных компонентов, позволяющих адекватно восполнить костные дефекты в области имплантационного ложа и обладающих адекватными остеointегративными характеристиками.

# Приоритетные направления развития медицинской науки в Российской Федерации.

- Научная платформа «профилактическая среда»
- Научная платформа «сердечно-сосудистые заболевания»
- Научная платформа «онкология»
- Научная платформа «микробиология»
- Научная платформа «иммунология»
- Научная платформа «регенеративная медицина»
- Научная платформа «фармакология»
- Научная платформа «эндокринология»
- Научная платформа «неврология и нейронауки»
- Научная платформа «психиатрия и зависимости»
- Научная платформа «репродуктивное здоровье»
- Научная платформа «педиатрия»
- Научная платформа «инвазивные технологии»
- Научная платформа «критические технологии в медицине»

Травматология и ортопедия



Выходят на рынок первые разработки для заместительной и регенеративной медицины, изделия на основе тканеинженерных конструкций, полученных с использованием стволовых клеток и композитов из биodeградируемых материалов для стоматологии, онкологии, травматологии и хирургии, а также биосовместимые перевязочные и ранозаживляющие материалы.

# Научные проекты по направлению «Травматология и ортопедия»

1. Разработка хондро- и остеозамещающих материалов с тканезквивалентными свойствами для возмещения костно-хрящевых дефектов у больных травматолого-ортопедического и онкологического профиля.
2. Разработка и сертификация технологии аддитивного прототипирования (3-D печать) персонафицированных имплантатов и фиксаторов.
3. Разработка компонентов и аугментов для восполнения дефектов костной и хрящевой ткани, изготовленных из титана с направленным наноструктурированием поверхности по технологии аддитивного прототипирования (3-D печать).
4. Разработка технологий хирургического лечения пострезекционных, посттравматических несращений, дефектов и деформаций костей конечностей, методик реконструктивно – ревизионного и онкологического эндопротезирования крупных суставов с применением новых остеозамещающих материалов и технологии аддитивного прототипирования (3-D печать).
5. Разработка тканеинженерного остеохондрального конструкта для замещения локальных дефектов суставного хряща; одного мышцелка, двух мышцелков, и комплекс мышцелков бедренная кость – большеберцовая кость.
6. Разработка биоэндопротезов (конструктов) межфалангового и коленного суставов по технологии тканевой инженерии и биопринтинга (3-D печать).

# Разработка хондро- и остеозамещающих материалов с тканеэквивалентными свойствами для возмещения костно-хрящевых дефектов

Проект 1

**Цель проекта:** Создание тканеэквивалентного остеозамещающего материала, соответствующего физико-механическим и биологическим свойствам костной ткани для улучшения результатов лечения больных онкологического и травматологического профиля с тяжелыми костно-суставными дефектами и деформациями.

## Задачи проекта

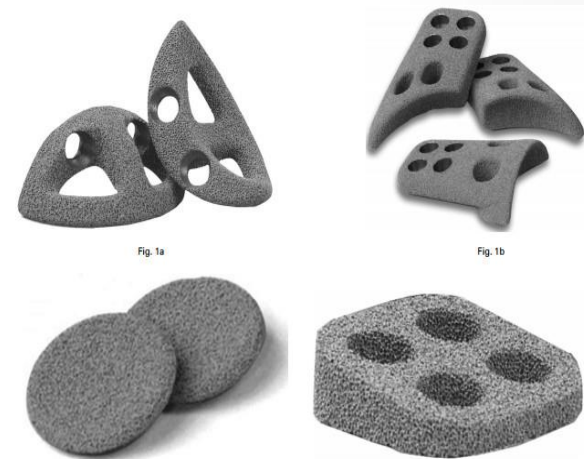
1. Определить физико-механические и биологические свойства костной ткани человека внутри и около суставной локализации.
2. Установить параметры остеозамещающего материала для оптимизации процесса остеоинтеграции в зависимости от клинико-морфологической и топической характеристики костной патологии.
3. Создание оптимального остеозамещающего материала, соответствующего физико-механическим и биологическим свойствам костной ткани.
4. Создание типоразмеров и форм имплантов с заданными физико-механическими характеристиками в зависимости от клинико-морфологической и топической характеристики костной патологии для оптимизации остеоинтеграции. Проведение ограниченной клинической апробации нового материала.
5. Установить взаимосвязь видоспецифической остеоархитектоники кости с заданной «топографической архитектурой» тканеэквивалентного материала для оптимизации его физико-механических характеристик, типоразмеров и формы.
6. Разработать технологии и способы хирургической коррекции дефектов костной ткани с применением новых тканеэквивалентных остеозамещающих материалов

## Требования к остеозамещающим материалам:

совместимость с аутологичной костью, пластичность, удобность моделирования, возможность использования в больших объемах для адекватного замещение костного дефекта, стимуляция регенерации и формирования новообразованной костной ткани.

В клинической практике нашего института для восполнения дефектов костной ткани применяются:

- аутокость,
- ксенокость,
- биоккомпозит на основе  $\beta$ -трикальций фосфата,
- углеродистые наноструктурные имплантаты,
- титан.



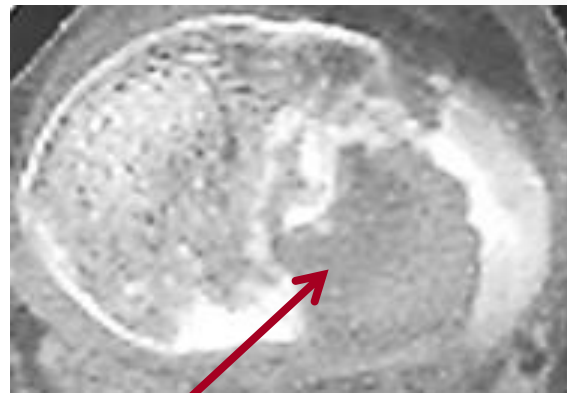
# Аугментация аутотрансплантатом

- Аутологичные трансплантаты считаются «золотым стандартом» для остеопластики, главным образом потому, что они не вызывают иммунологическую реакцию, обладая при этом полной гистосовместимостью, лучшими остеокондуктивными, остеогенными и остеоиндуктивными свойствами (E.E. Keller, W.W. Triplett // J Oral Maxillofac Surg. – 1987. – Vol. 108: 383-385)
- Аутотрансплантаты содержат жизнеспособные остеогенные клетки, белки костного матрикса и аутогенный костный мозг. Они обеспечивают опору фиксаторам и, в конечном счете, становятся механически прочной структурой, внедряясь в окружающую кость и замещаясь ею (S.W. Laurie, L.B. Kaban, J.E. Murray // J Plast Reconstr Surg 1984. – 73: 933-938)  
*Берченко Г. Н. Биоматериалы №9 , 2008.*





## Клинический пример

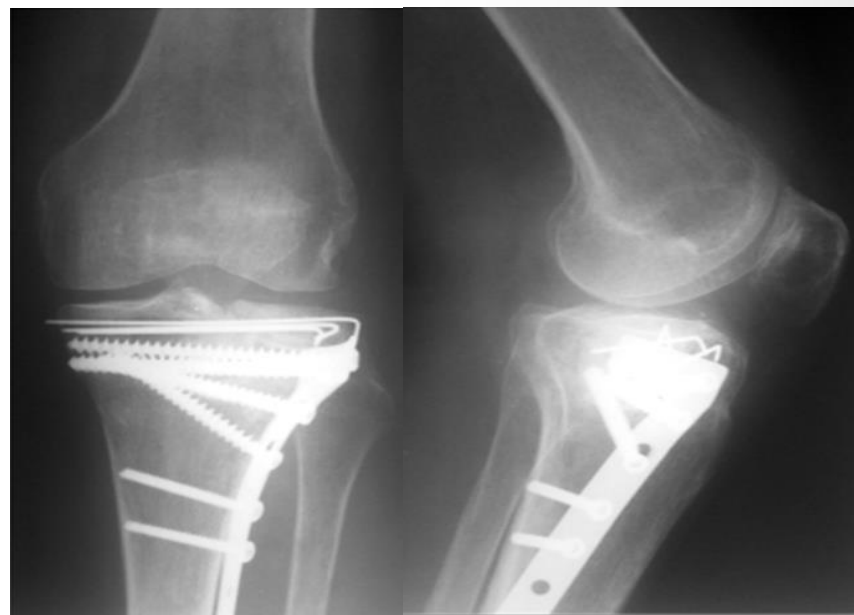
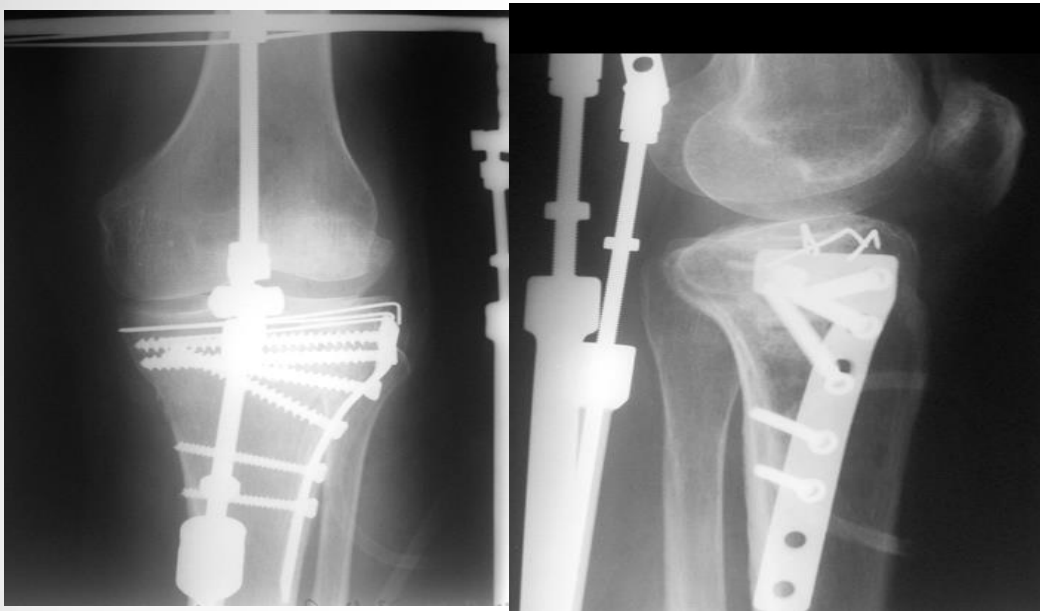


Размеры импрессионного  
дефекта составили 25\*32\*14 мм



Рентгенограммы коленного сустава и КТ больного О., 52 года, и.б. №8724, при поступлении. Диагноз: импрессионный оскольчатый перелом наружного мыщелка левой большеберцовой кости. Schatzker II

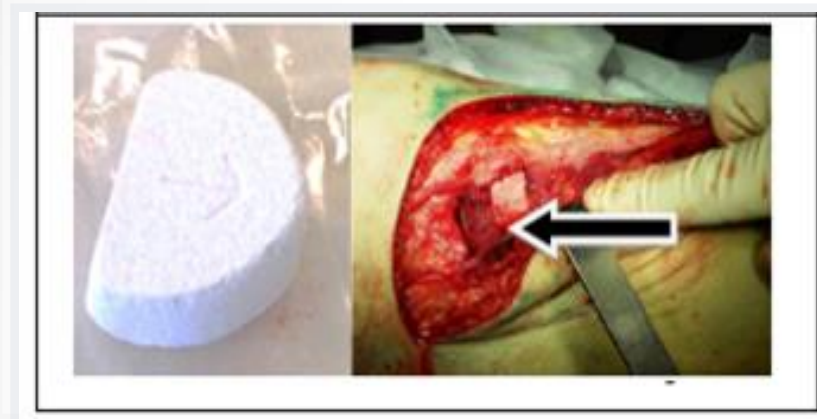
## Результат через 24 месяца



Была выполнена открытая репозиция перелома, остеосинтез опорной L-образной опорной пластиной с пластикой импрессионного дефекта аутотрансплантатом; субхондральная фиксация спицами в условиях дистракции в модуле АВФ. Отличный функциональный результат.

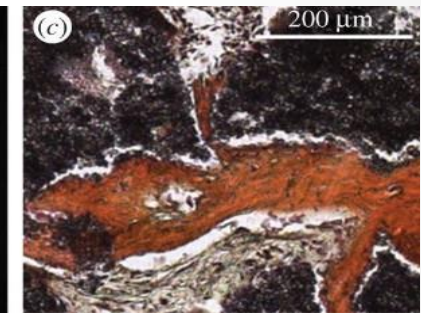
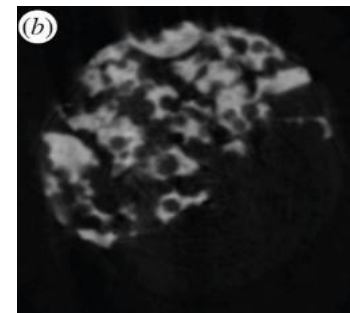


# Биокомпозиционные фосфатные керамики на основе $\beta$ -трикальцийфосфата ( $\beta$ -ТСР)



**Cerasorb<sup>®</sup>**

Proven Equivalent to  
Autogenous Bone



[BMC Musculoskelet Disord.](#) 2016 Jul 15;17:287. doi: 10.1186/s12891-016-1118-4.

**Biomechanical analysis of different osteosyntheses and the combination with bone substitute in tibial head depression fractures.**

[Jordan MC<sup>1</sup>](#), [Zimmermann C<sup>1</sup>](#), [Gho SA<sup>2</sup>](#), [Frey SP<sup>3</sup>](#), [Blunk T<sup>1</sup>](#), [Meffert RH<sup>1</sup>](#), [Hoelscher-Doht S<sup>4,5</sup>](#).

**Author information**

## Клинический пример

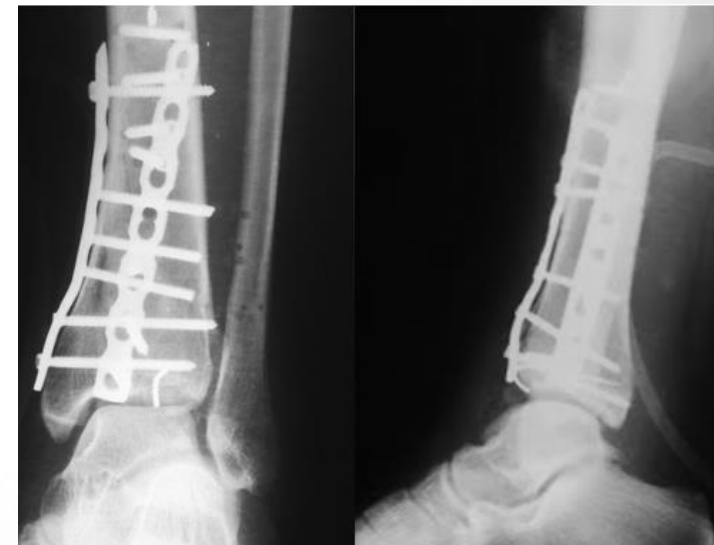


Рентгенограммы и КТ правого голеностопного сустава больной У., 21 год, при поступлении в прямой и боковой проекциях: отмечается импрессионный оскольчатый перелом дистального эпиметафиза большеберцовой кости (тип В3.1 по АО/ASIF).

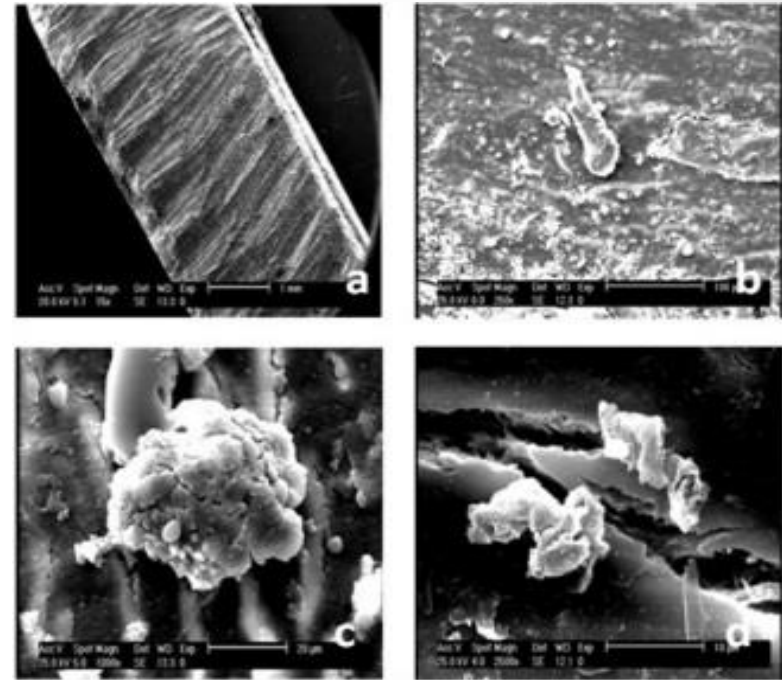


Этапы операции больной У., 21 год, (фото из операционной): импрессионный дефект и этапы его возмещения при помощи материала «Остеоматрикс»

Рентгенограммы правого голеностопного сустава больной У., 21 год, в прямой и боковой проекциях после операции: остеосинтез выполнен малой прямой и реконструктивной пластинами с угловой стабильностью, проведена субхондральная фиксация спицей-пином; конгруэнтность суставных поверхностей восстановлена.



# Ксенопластический материал



[J Exp Orthop](#). 2015 Dec;2(1):10. doi: 10.1186/s40634-015-0024-2. Epub 2015 May 7.

**Comparative study of subtalar arthrodesis after calcaneal fracture malunion with autologous bone graft or freeze-dried xenograft.**

[Henning C](#)<sup>1</sup>, [Poglia G](#)<sup>2</sup>, [Leie MA](#)<sup>3</sup>, [Galia CR](#)<sup>4</sup>.

⊕ [Author information](#)

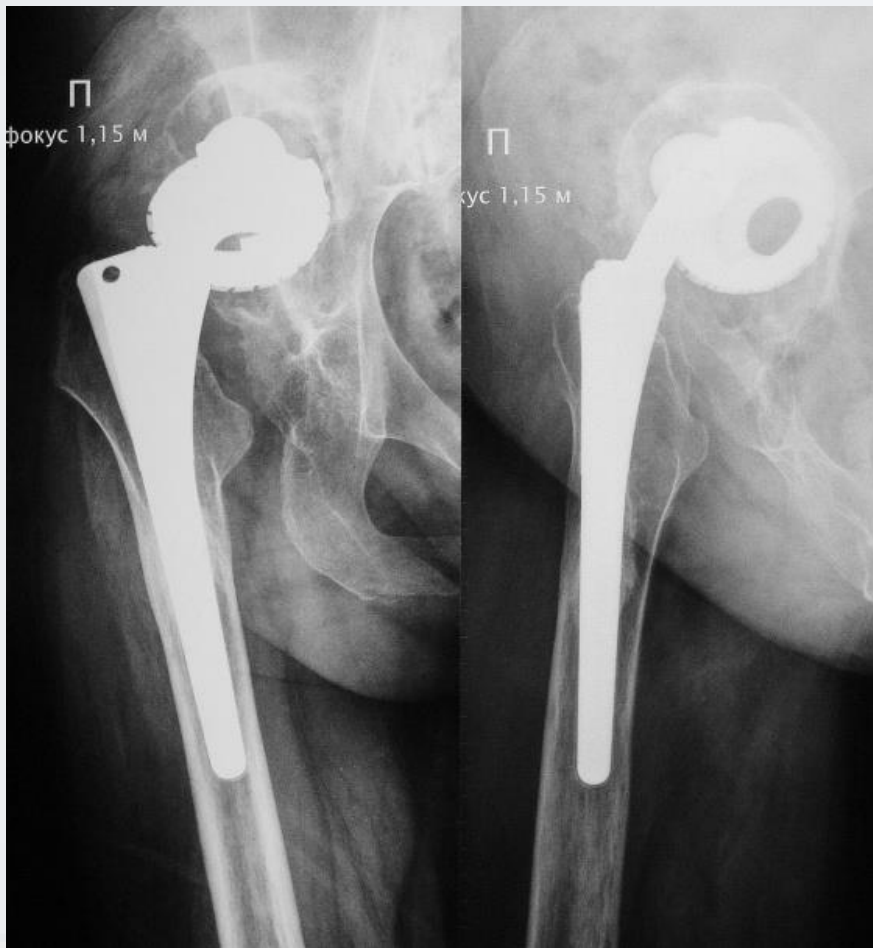
[Iran Red Crescent Med J](#). 2012 Feb;14(2):96-103. Epub 2012 Feb 1.

**Tissue engineering using human mineralized bone xenograft and bone marrow mesenchymal stem cells allograft in healing of tibial fracture of experimental rabbit model.**

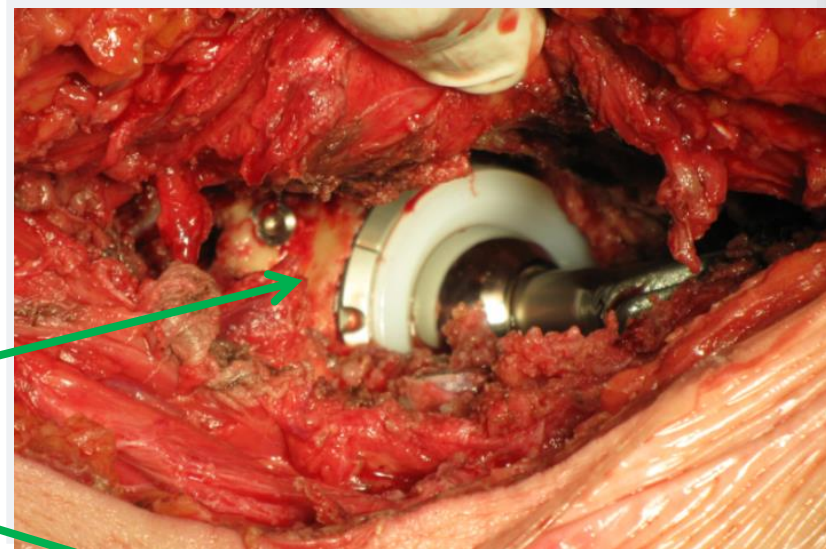
[Ai J](#)<sup>1</sup>, [Ebrahimi S](#), [Khoshzaban A](#), [Jafarzadeh Kashi TS](#), [Mehrabani D](#).

⊕ [Author information](#)

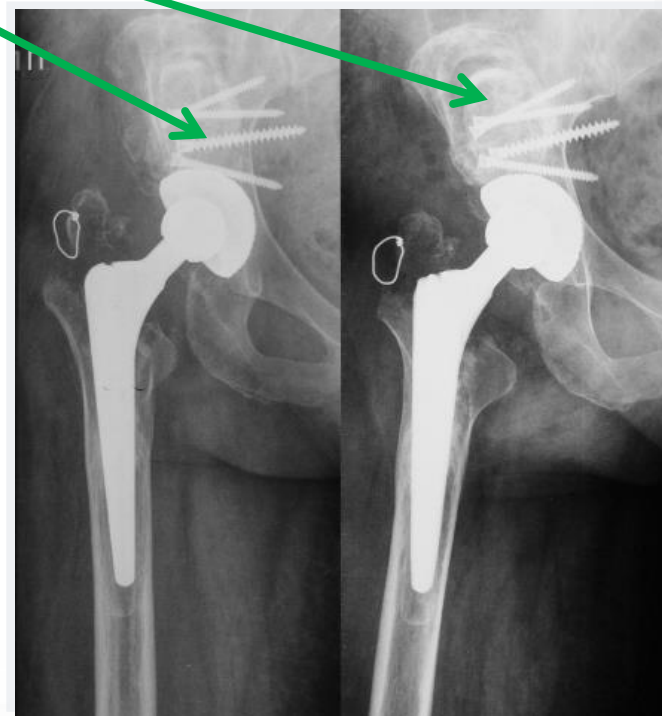
## Клинический пример



Нестабильный эндопротез тазобедренного сустава с вывихом тазового компонента, огромным дефектом в надацетабулярной области. Рентгенограммы, КТ и фото из операционной: дефект в надацетабулярной области типа III A Paprosky (AAOS III, Crowe III)



Массивный ксенотрансплантат (проксимальный отдел бедренной кости) использован для возмещения дефекта надацетабулярной области при ревизионном эндопротезировании. Трансплантат фиксирован винтами, реимплантирована чашка и ножка эндопротеза.





# Углеродные графты


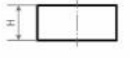



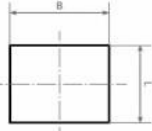
9

## ПЕРВЫЙ КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ИМПЛАНТАНТОВ В ЛЕЧЕНИИ ВНУТРИСУСТАВНЫХ ИМПРЕССИОННЫХ ПЕРЕЛОМОВ

Кутепов С.М., Волокитина Е.А., Гилев М.В., Антониади Ю.В.

Вестник Уральской медицинской академической науки. 2015. № 4 (55). С. 46-50.



	 Вид сверху	 Вид сверху	<ol style="list-style-type: none"> <li>D=10 mm, H=7</li> <li>D=25 mm, H=15</li> <li>D=20 mm, H=35</li> </ol>												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>D, мм</th> <th colspan="6">12 – 18 с шагом 2мм</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>H, мм</th> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> </tr> </tbody> </table>			D, мм	12 – 18 с шагом 2мм						H, мм	4	5	6	7
D, мм	12 – 18 с шагом 2мм														
H, мм	4	5	6	7	8	9									
	 Вид сверху	 Вид сверху	<ol style="list-style-type: none"> <li>H=7 mm, L=10, B=10</li> <li>H=20 mm, L=25, B=25</li> </ol>												
	<table border="1"> <tbody> <tr> <th>H, мм</th> <td colspan="2">15 – 50 с шагом 5мм</td> </tr> <tr> <th>L, мм</th> <td>10</td> <td>15</td> </tr> <tr> <th>B, мм</th> <td colspan="2">10 – 30 с шагом 10мм</td> </tr> </tbody> </table>			H, мм	15 – 50 с шагом 5мм		L, мм	10	15	B, мм	10 – 30 с шагом 10мм				
H, мм	15 – 50 с шагом 5мм														
L, мм	10	15													
B, мм	10 – 30 с шагом 10мм														

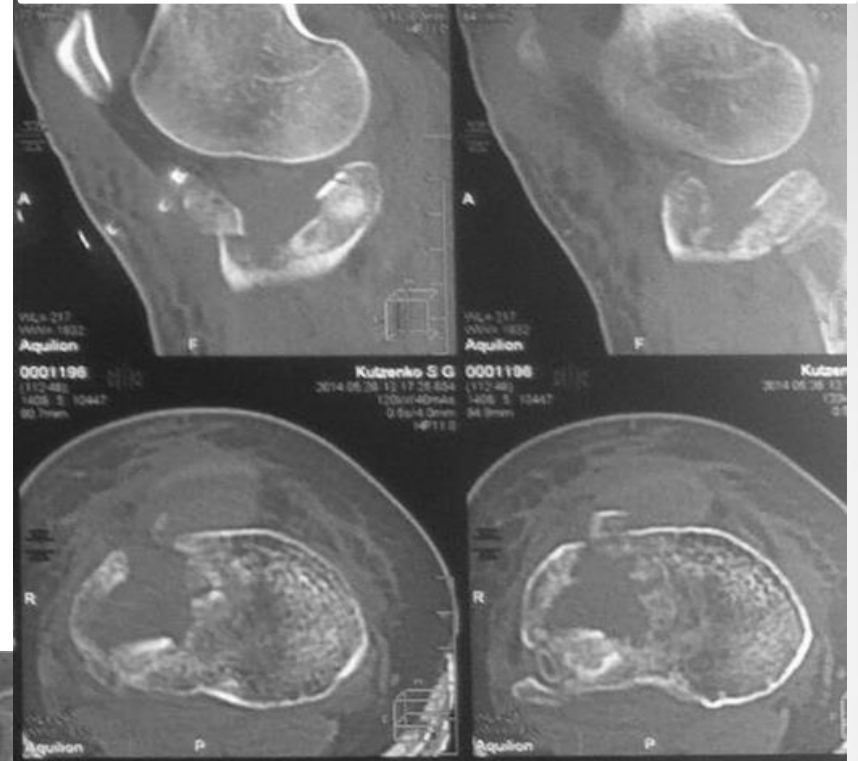
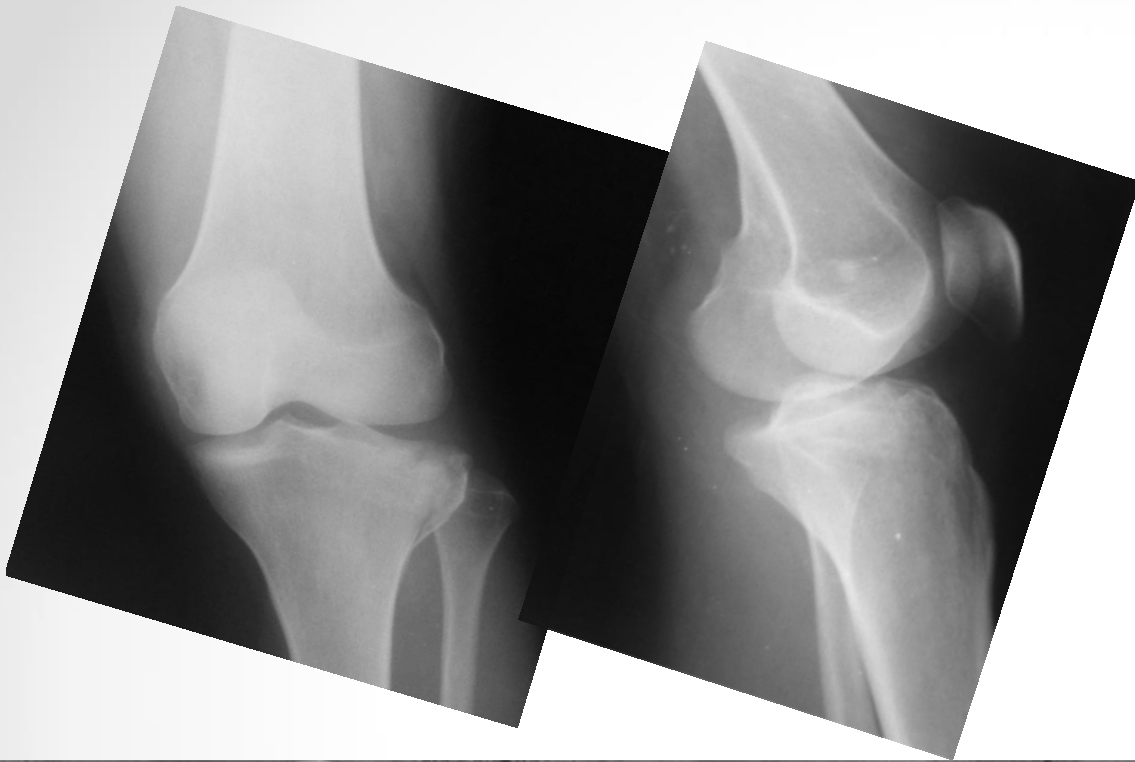
[Int J Nanomedicine](#). 2014 Sep 9;9:4277-91. doi: 10.2147/IJN.S62538. eCollection 2014.

### Carboxyl-modified single-wall carbon nanotubes improve bone tissue formation in vitro and repair in an in vivo rat model.

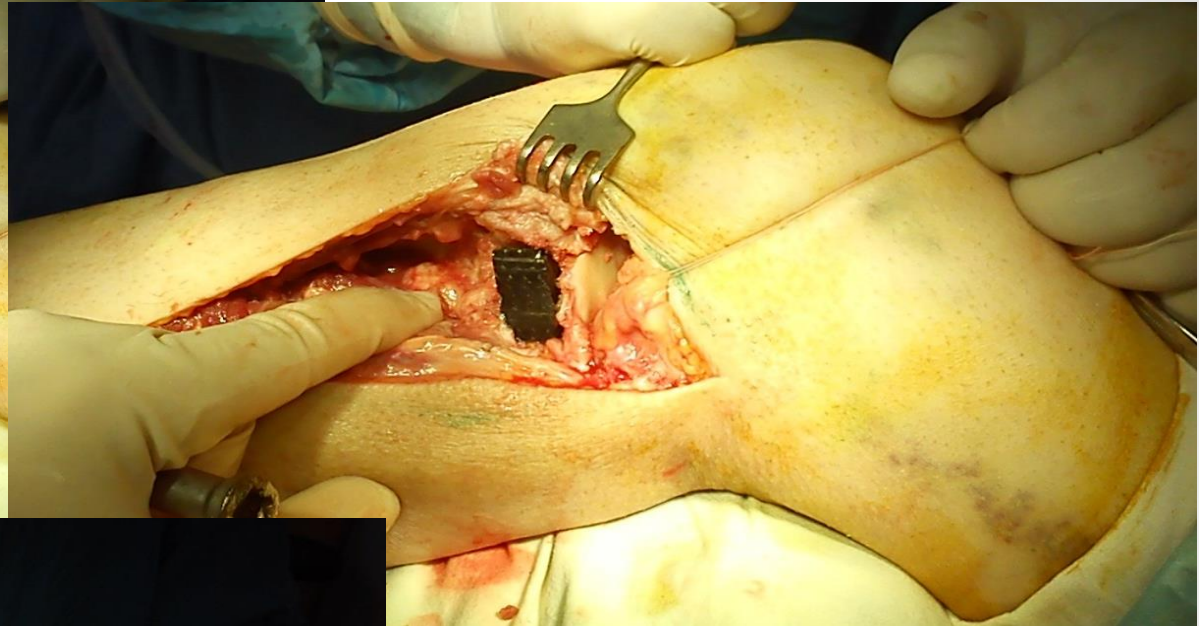
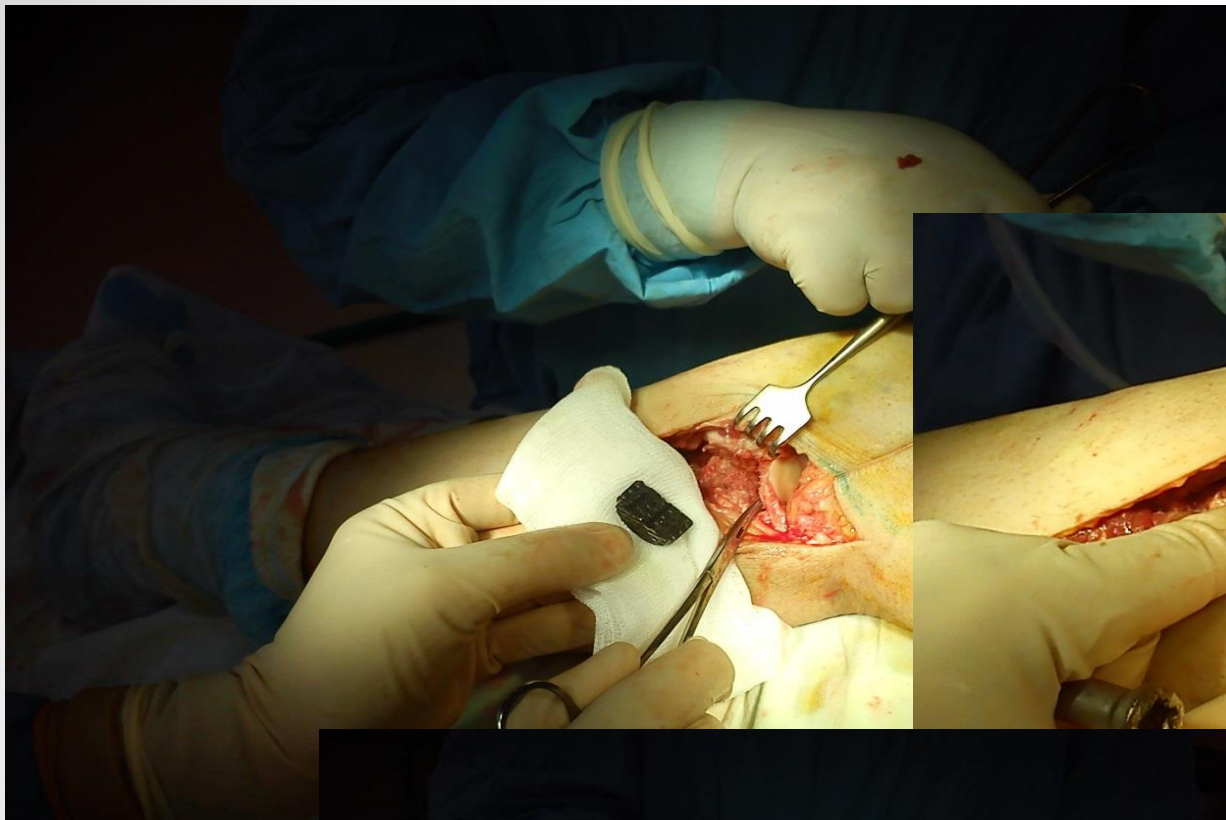
Barrientos-Durán A<sup>1</sup>, Carpenter EM<sup>2</sup>, Zur Nieden NI<sup>3</sup>, Malinin TI<sup>4</sup>, Rodríguez-Manzanogue JC<sup>5</sup>, Zanello LP<sup>6</sup>.

[+ Author information](#)

## Клинический пример



Больная Ф., 75 лет. Травма получена в результате падения с велосипеда. Госпитализирована в травматологическое отделение №1 МБУ ЦГКБ №24 с диагнозом: «Импрессионный перелом наружного мыщелка большеберцовой кости» В2.3



Этапы оперативного пособия  
при лечении больной Ф., 75 лет  
с применением УНИ



Функциональный результат  
через 6 месяцев

По данным рентгенографии в отдаленный период после травмы **признаков остеointеграции в углеродный трансплантат нет.**  
УНИ выполняет только опорную функцию.



# Титан - оптимальный материал для замещения дефектов костной ткани

Применение искусственных костнозамещающих материалов имеет ряд преимуществ перед другими вариантами остеопластики: совместимость с аутологичной костью, удобство моделирования, возможность использования в больших объемах.

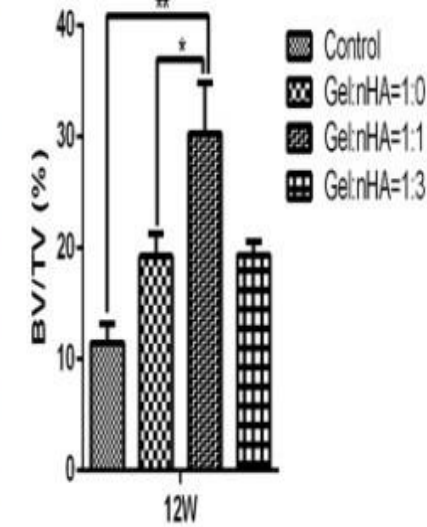
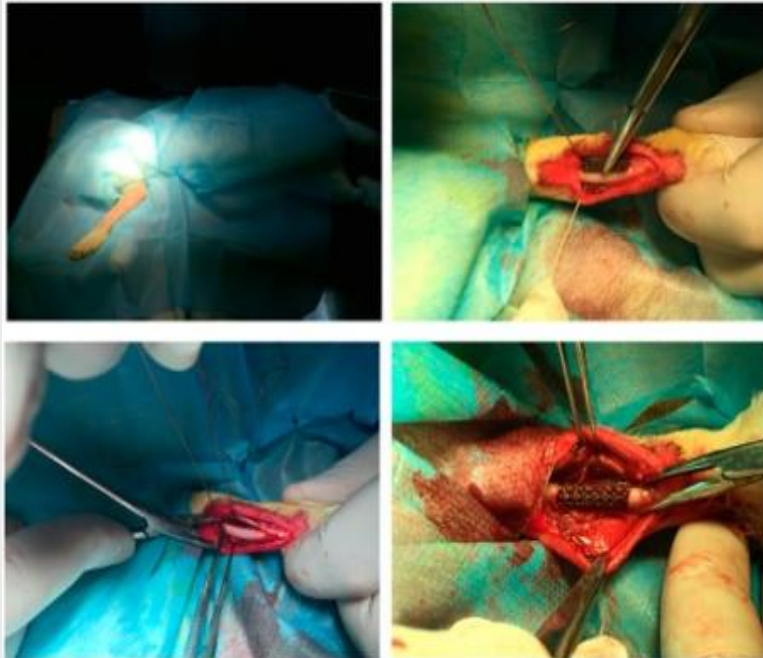


Среди таких материалов особая роль принадлежит титану, который во многих областях трансплантологии стал ведущим, благодаря своим уникальным биосовместимым характеристикам (Ryan G, Pandit A, Apatsidis DP. Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. Biomaterials 2006 May;27(13):2651-70).

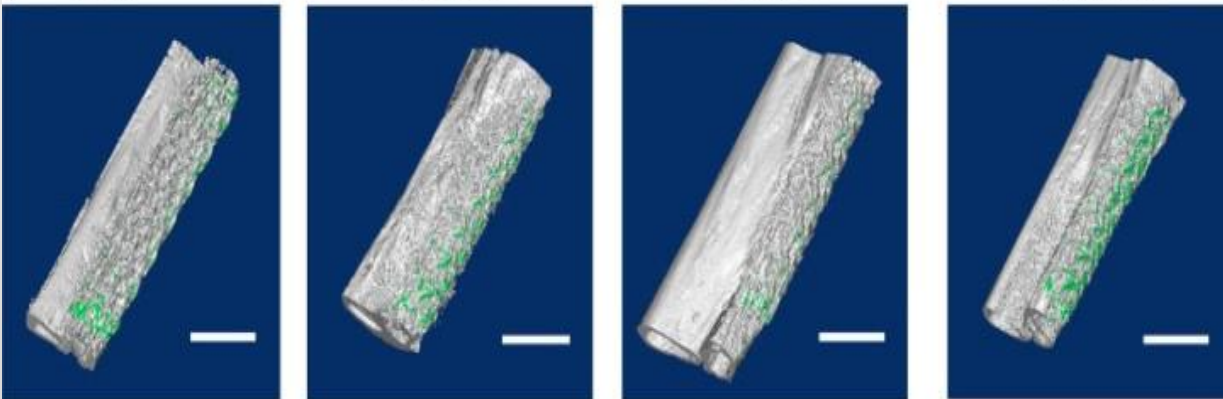
# Hybrid Macro-Porous Titanium Ornamented by Degradable 3D Gel/nHA Micro-Scaffolds for Bone Tissue Regeneration.

Yin B, Ma P, Chen J, Wang H, Wu G, Li B, Li Q, Huang Z, Qiu G, Wu Z.

Int J Mol Sci. 2016 Apr 15;17(4):575. doi: 10.3390/ijms17040575.



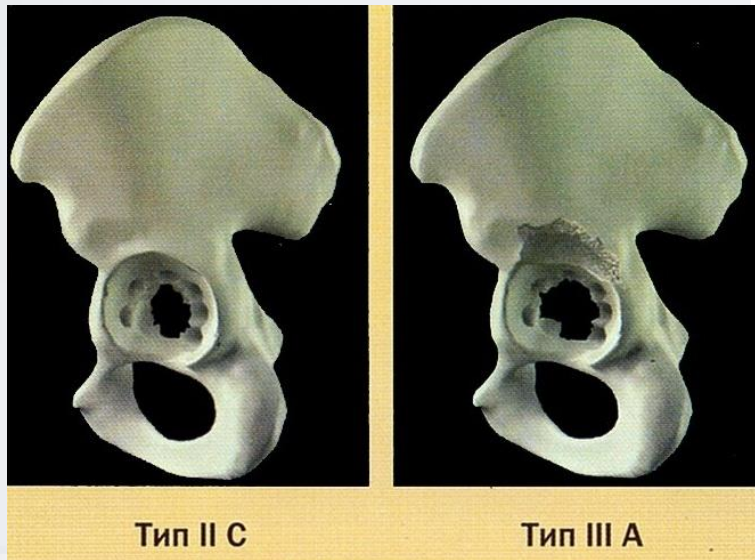
C control Gel:nHA=1:0 Gel:nHA=1:1 Gel:nHA=1:3



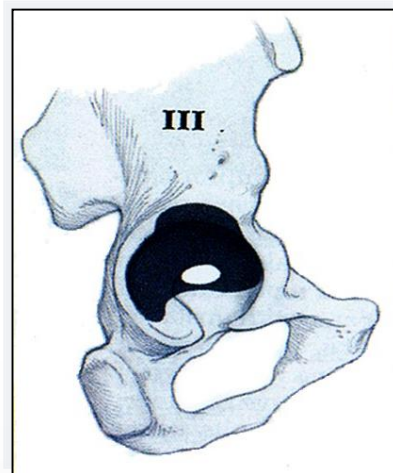
Выбор титановых сплавов в качестве материала для изготовления имплантатов с разными наноструктурированными поверхностями базируется на его биологической индифферентности, физико-химической устойчивости и высокой механической прочности, что позволяет использовать титан и его сплавы для замещения дефектов опорно-двигательного аппарата.

Surgical procedure and bone formation effects of different scaffolds. (A) surgical procedure; (B) BV/TV calculated by the CTAn software (Bruker Co. Kartzuizersweg, Kontich, Belgium); (C) the volume of regenerated bone reconstruction based on ex vivo micro-CT scans at 12 weeks. Scale bar: 4 mm. \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

# Использование титановых аугментов для восполнения дефектов костной ткани при ревизионном протезировании



Дефекты в области  
вертлужной впадины  
II C, III A Paprovsky,  
III AAOS

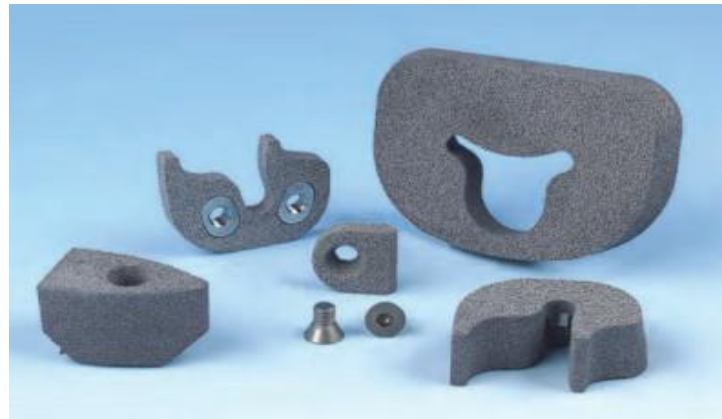


Разработка и сертификация технологии аддитивного прототипирования (3-D печать) персонафицированных имплантатов и фиксаторов.

Проект 2

Разработка компонентов и аугментов для восполнения дефектов костной и хрящевой ткани, изготовленных из титана с направленным наноструктурированием поверхности по технологии аддитивного прототипирования (3-D печать)

Проект 3



На современном этапе важная роль отводится технологическим разработкам в поисках оптимальных конструкций из титана, соответствующих конкретным биологическим и клиническим проблемам



# Сравнение циклов изготовления



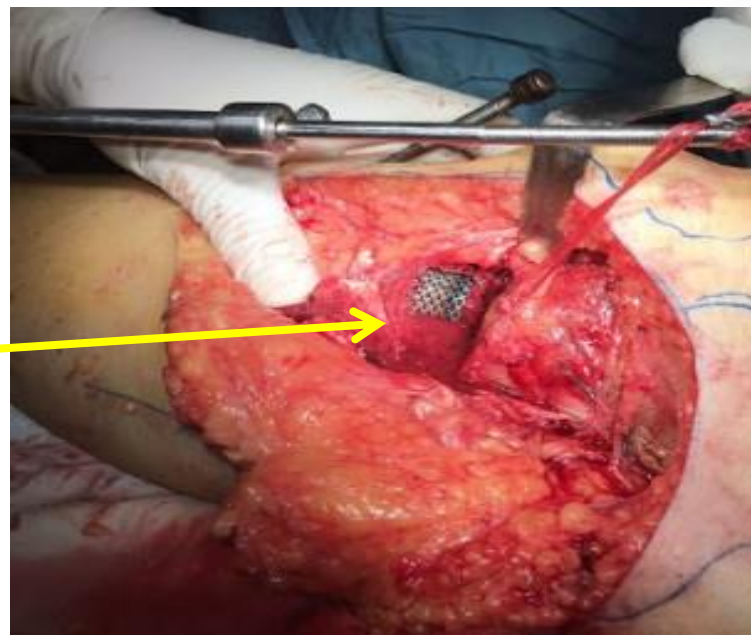
Импрессионный  
дефект



## Клинический пример

Имплантация персонифицированного аугмента из титана при восполнении посттравматического импрессионного дефекта большеберцовой кости.

Аугмент из пористого  
титана (3-D печать)



# Разработка новых технологий хирургического лечения пострезекционных, посттравматических несращений, дефектов и деформаций костей конечностей

## Проект 4

### Цель проекта

Улучшение результатов хирургического лечения больных с посттравматическими, пострезекционными дефектами и деформациями, ложными суставами костей конечностей с применением персонифицированных имплантатов, созданных по технологии аддитивного прототипирования с направленным наноструктурированием поверхности.

### Задачи проекта

1. Изучить остеоархитектонику и морфологию костной ткани в зависимости от локализации около и внутрисуставного дефекта, ложного сустава.
2. Установить взаимосвязь видоспецифической остеоархитектоники костной ткани в зависимости от локализации дефекта и оптимальной физико-механической характеристики и топографической архитектуры имплантата, восполняющего костный дефект.
3. Разработать имплант с наноструктурированным алмазоподобным покрытием для фиксации костей предплечья.
4. Разработать имплант из пористого титана на базе аддитивных технологий.
5. Провести ограниченную клиническую апробацию разработанных имплантатов и аугментов.
6. Уточнить показания для медицинского использования имплантата с заданной «топографической архитектурой» в зависимости от клинико-морфологической и топической характеристики костной патологии.
7. Разработать оптимальные технологические приемы имплантации в зависимости от клинико-морфологической и топической характеристики костной патологии.

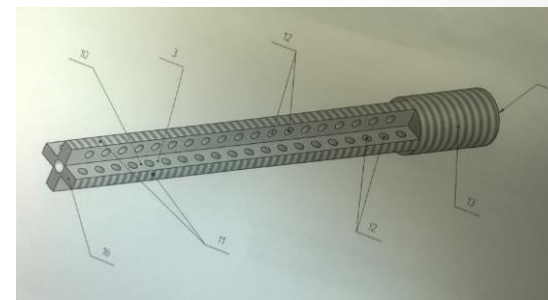
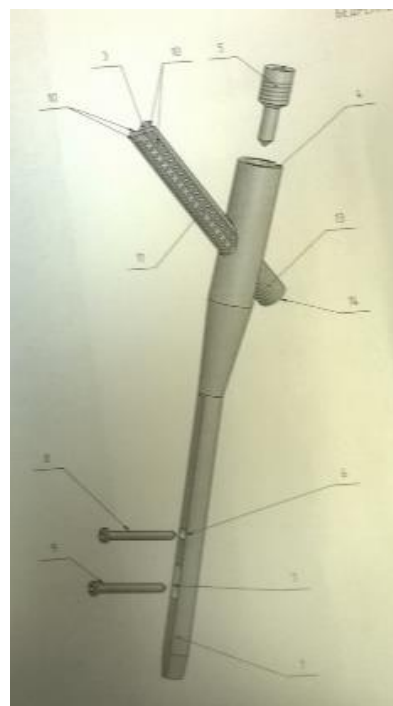
# Новые технологии хирургического лечения около - и внутрисуставных переломов проксимального отдела бедра с дефектами костной ткани



В качестве цефаломедуллярного фиксатора использовали ПБФ «Остеосинтез» (г. Рыбинск) с модифицированным шейечным винтом и модифицированным дистальным отверстием.



Стандартный ПБФ, «Остеосинтез», г. Рыбинск

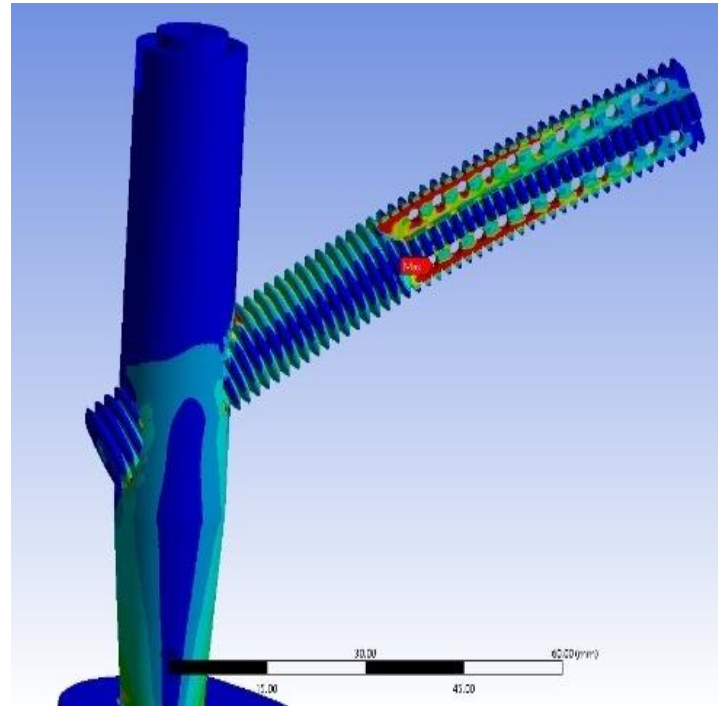
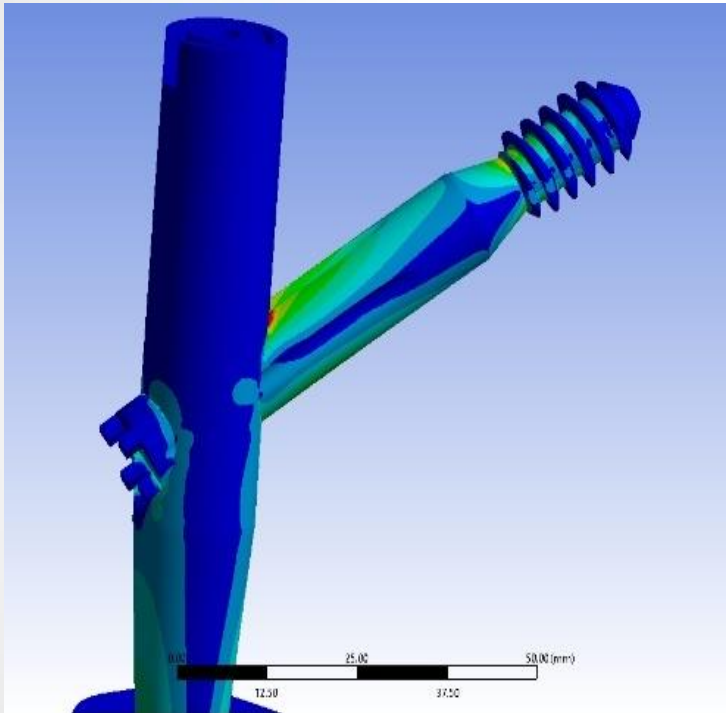


ПБФ с модифицированным шейечным винтом и модифицированным дистальным отверстием

Патент № 154108 РФ, Патент № 2473317 РФ



# Математический Анализ



Сравнительные характеристики нагрузок шейного винта в гамма-стержне: модифицированный шейный винт за счет упругих деформаций предотвращает «cup-out» - эффект (пролабирование винта через костную ткань головки бедренной кости) и обеспечивает стабильность остеосинтеза.



# Разработка новых методик реконструктивно – ревизионного и онкологического эндопротезирования крупных суставов с применением новых остеозамещающих материалов и технологии аддитивного прототипирования (3-D печать)

## Проект 5

### Цель проекта

Улучшение результатов первичного сложного, ревизионного и онкологического эндопротезирования крупных суставов с дефектами и деформациями имплантационного ложа на основе новых хирургических способов и цифрового производства прецизионных аугментов и компонентов эндопротеза из титана.

### Задачи проекта

Изучить остеоархитектонику и морфологию костной ткани в зависимости от локализации дефекта имплантационного ложа.

Установить взаимосвязь видоспецифической остеоархитектоники костной ткани в зависимости от локализации повреждения и оптимальной физико-механической характеристики и топографической архитектуры импланта, восполняющего костный дефект.

Проведение ограниченной клинической апробации имплантов (аугментов) для сложного первичного, ревизионного и онкологического эндопротезирования.

Уточнить показания для медицинского использования имплантас заданной «топографической архитектурой» в зависимости от клинко-морфологической и топической характеристики костной патологии при сложном, ревизионном и онкологическом эндопротезировании.

Разработать оптимальные технологические приемы имплантации в зависимости от клинко-морфологической и топической характеристики костной патологии при сложном первичном, ревизионном и онкологическом эндопротезировании

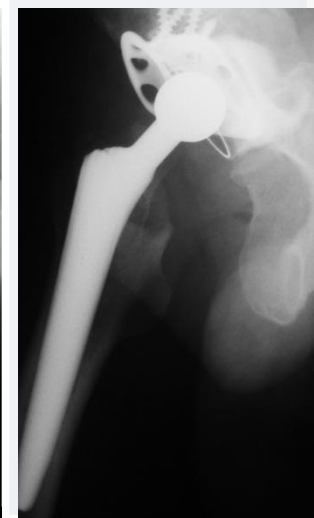
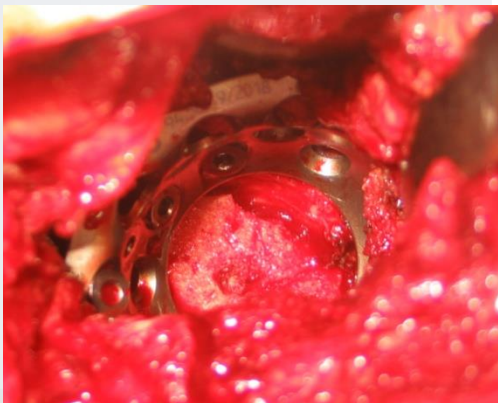
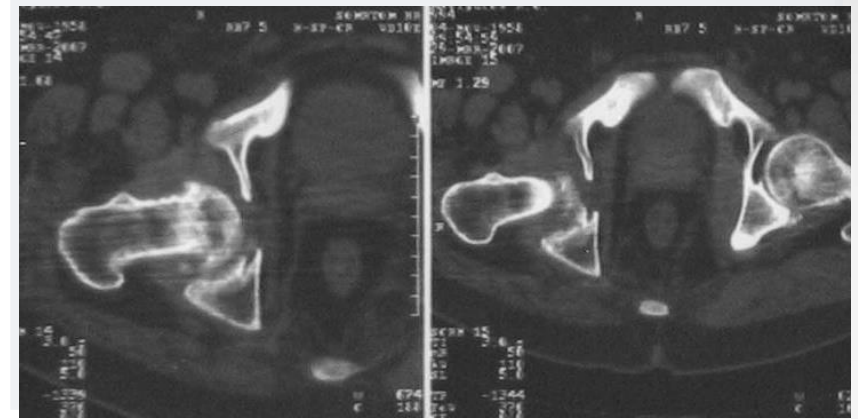
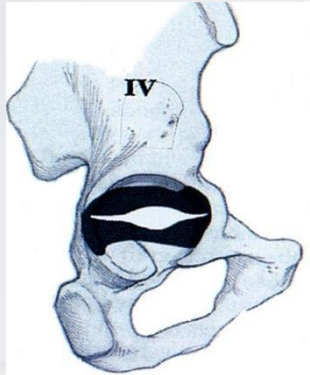
# Проблемы сложного и ревизионного эндопротезирования

- Дефекты вертлужной впадины
- Деформация вертлужной впадины
- Деформация проксимального отдела бедра
- Деформация диафиза бедренной кости
- Дефекты проксимального отдела бедра и диафиза бедра
- Структурные нарушения костной ткани в области имплантационного ложа (остеопороз, остесклероз, металлоз).

Эндопротезирование тазобедренного сустава при деформациях таза и бедренной кости является на сегодня одним из сложных хирургических вмешательств и сопряжено:

- с большей травматичностью и длительностью операционной сессии более 3 часов,
- обширным хирургическим доступом,
- значительной кровопотерей,
- опасностью гнойно-воспалительных и неврологических осложнений,
- опасностью интраоперационных переломов на фоне исходной тяжелой ригидности тазобедренного сочленения. (Е.А.Волокитина, Д.А.Колотыгин, Б.В.Камшилов, 2016 г.).

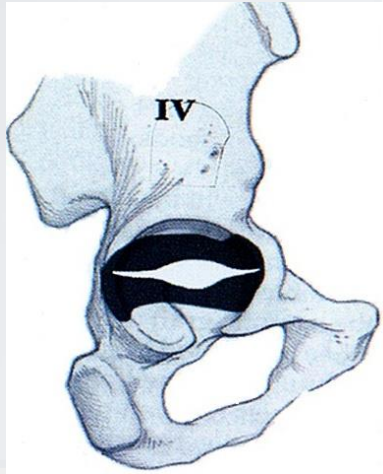
## Клинический пример



Реимплантация чашки протеза при дефекте вертлужной впадины с нарушением целостности тазового кольца - IV AAOS, использован массивный аллотрансплантат, перекрывающий зону дефекта и опорное кольцо Мюллера.



## Клинический пример

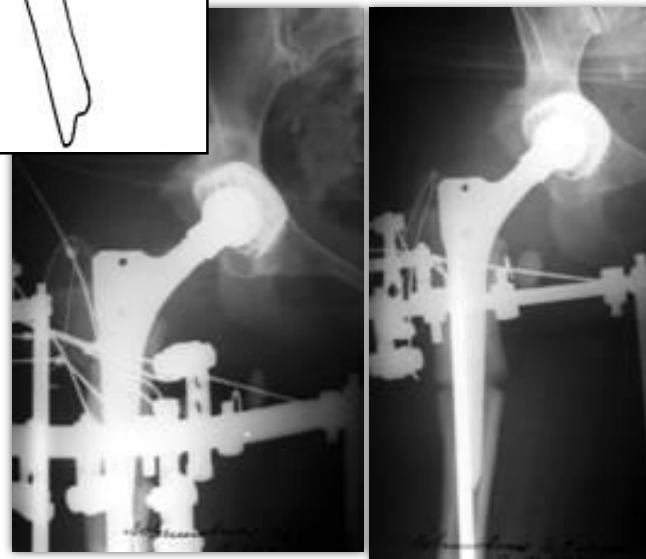
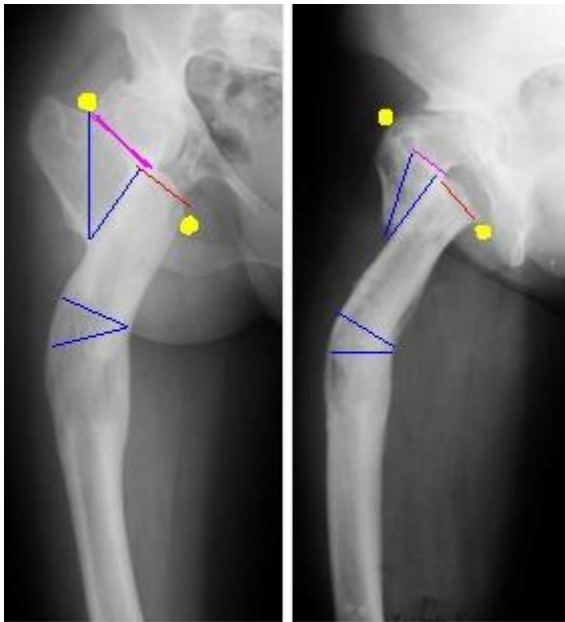


Реимплантация чашки протеза при дефекте вертлужной впадины с нарушением целостности тазового кольца - IV AAOS, использован массивный аллотрансплантат, перекрывающий зону дефекта и опорное кольцо Бурш-Шнайдера.



## Клинический пример

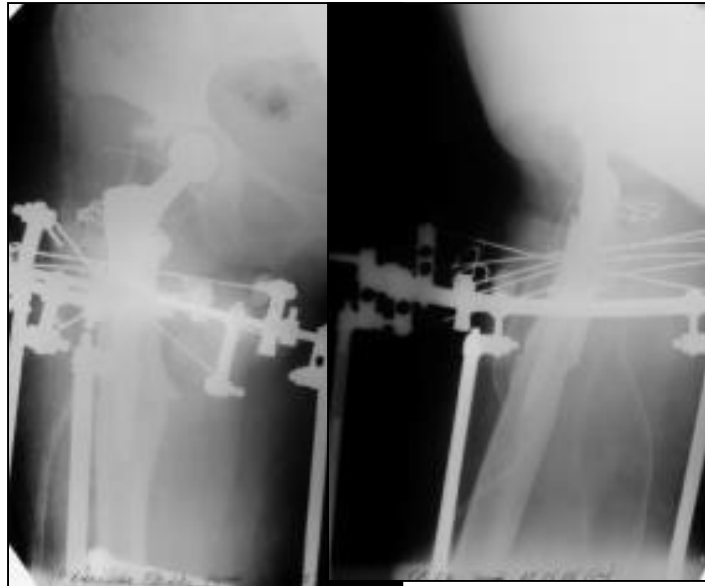
### Эндопротезирование при множественных деформациях бедренной кости



Эндопротезирование тазобедренного сустава с возвратной корригирующей остеотомией диафиза на вершине деформации, моделированием и транспозицией большого вертела, остеосинтез бедра на ножке протеза, дополненный аппаратом Илизарова.

## Клинический пример

### Эндопротезирование при множественных деформациях бедренной кости



Эндопротезирование тазобедренного сустава с возвратной корригирующей остеотомией диафиза на вершине деформации, моделированием и транспозицией большого вертела, остеосинтез бедра на ножке протеза, дополненный аппаратом Илизарова.

# Научные перспективы.....

- Разработка тканеинженерного остеохондрального конструкта для замещения локальных дефектов суставного хряща; одного мышцелка, двух мышцелков, и комплекс мышцелков бедренная кость – большеберцовая кость.
- Разработка биоэндопротезов (конструктов) межфалангового и коленного суставов по технологии тканевой инженерии и биопринтинга (3-D печать)

В настоящее время в мире разработана технология получения полноценного остеохондрального конструкта для замещения локальных дефектов суставного хряща (Jiang J., Tang A. 2010, Qiang Y., Yanhong Z., 2014). Логичным продолжением данных исследований является замещение всей площади суставной поверхности.

**БЛАГОДАРИМ ЗА ВНИМАНИЕ!**