

## АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАТИВНОГО ПРОЦЕССА В ОБЛАСТИ ПЕРЕЛОМА БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ (экспериментальное исследование)

И.Ф. Ахтямов<sup>1</sup>, Ф.В. Шакирова<sup>2</sup>, Ю.А. Ключкина<sup>1</sup>, Д.А. Бакланова<sup>2</sup>,  
Э.Б. Гатина<sup>1</sup>, Э.О. Алиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России,  
ул. Бутлерова, д. 49, г. Казань, Россия, 420012

<sup>2</sup> ФГБОУ ВПО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана»  
Минсельхоза России,  
Сибирский тракт, д. 35, г. Казань, Россия, 420029

### Реферат

**Цель исследования** – оценка репаративной регенерации костной ткани и состояния сосудистого русла оперированной конечности при интрамедуллярном остеосинтезе большеберцовой кости имплантатами с покрытием нитридами титана и гафния.

**Материал и методы.** Эксперименты проводились на 40 кроликах обоего пола в возрасте 6–10 месяцев с массой тела 2500±70 г. Эксперимент был одобрен локальным этическим комитетом. Животные были разделены на две равные группы. В группе сравнения непосредственно после перелома производили интрамедуллярный остеосинтез спицами из стали, в опытной группе для этой цели использовали стальные спицы с комплексным покрытием нитридами титана и гафния. С помощью режима цветового доплеровского картирования оценивали состояние сосудистого русла проксимальнее места перелома. Комплексное ультразвуковое исследование выполнялось до оперативного вмешательства, а также на 10, 30, 60-е сутки послеоперационного периода.

**Результаты.** Клинико-функциональное наблюдение показало купирование болевого синдрома к 10-м суткам после операции и возможность полноценной опоры на оперированную конечность к 30-м суткам в обеих группах. Применение фиксаторов с покрытием нитридами титана и гафния не нарушало стадий процесса костной регенерации. Перестроечные процессы костной ткани развивались активнее и в более ранние сроки, в отличие от группы сравнения, что характеризовалось повышенной плотностью кортикальной пластинки большеберцовой кости в зоне ранее проведенной остеоклазии по данным спиральной компьютерной томографии.

**Заключение.** Применение фиксаторов с покрытием нитридами титана и гафния, обладающих высокой прочностью, термической и химической стабильностью, сопровождалось формированием в зоне остеотомии кортикальной пластинки с более высокой плотностью. Выявлены изменения, характерные для дилатации сосудов в зоне травмы в раннем послеоперационном периоде, которые можно рассматривать как положительный момент в формировании первичной костной мозоли. Нормализация показателей в группе с использованием имплантатов, покрытых нитридами титана и гафния, происходила в более ранние сроки, чем в группе с имплантатами без покрытия. Результаты исследования показали, что интрамедуллярный остеосинтез спицами с покрытием нитридами титана и гафния можно считать перспективным методом лечения переломов.

**Ключевые слова:** интрамедуллярный остеосинтез, репаративный остеогенез, имплантаты с биоинертным покрытием.

### Введение

Интрамедуллярный остеосинтез занял приоритетные позиции в лечении переломов длинных костей [13]. Несмотря на постоянное совершенствование материалов и техники фиксации костных фрагментов, вопросы совместимости имплантата и организма остаются актуальными. Одним из перспективных направлений исследований в этой области остается разработка

и внедрение в клиническую практику биоинертных покрытий, снижающих риск развития возможных осложнений остеосинтеза. В ряде исследований и соответствующих публикациях была подтверждена эффективность и безопасность покрытия имплантатов нитридами сверхтвердых металлов [2, 3, 17], которые обладают биосовместимостью и обеспечивают адекватную остеоинтеграцию [18]. Эти покрытия харак-

☞ Ахтямов И.Ф., Шакирова Ф.В., Ключкина Ю.А., Бакланова Д.А., Гатина Э.Б., Алиев Э.О. Анализ регенеративного процесса в области перелома большеберцовой кости (экспериментальное исследование). *Травматология и ортопедия России*. 2016; (1):100-107.

✉ Ахтямов Ильдар Фуатович. ул. Бутлерова, д. 49, г. Казань, Россия, 420012; e-mail: yalta60@mail.ru

1 Рукопись поступила: 30.08.2015; принята в печать: 29.01.2016

теризуются химической инертностью, хорошей устойчивостью к окислению в экстремальных условиях и бактерицидностью [1, 12, 19].

На этом фоне вызывает интерес локальная реакция тканей в зоне перелома на имплантацию подобных конструкций. Проводились исследования костного регенерата рентгенологическими методами, однако их результаты несколько односторонне иллюстрируют репаративный процесс [6, 7].

Сочетанный анализ состояния кости и окружающих мягких тканей зоны повреждения значительно расширяет возможности исследователя в изучении этого вопроса. Визуализация состояния параоссальных мягких тканей и репаративного процесса в зоне перелома позволяет прогнозировать течение посттравматического периода и возможные осложнения [8, 11]. Изменение васкуляризации в зоне регенерата на этапах репарации занимает ведущее место среди факторов, способствующих костному сращению, и является определяющим в его прогнозировании [4, 5, 14, 16]. Ультразвуковое исследование широко используется для получения информации о состоянии мягких тканей, расположении костных отломков в месте перелома, а применение методики цветового доплеровского картирования и энергетического картирования позволяет определить количество и топографию сосудов, оценить спектральные параметры и характер кровотока в зоне регенерации и в магистральных сосудах [14]. Работы, посвященные изучению спектральных параметров кровотока при интрамедуллярном остеосинтезе костей голени, в доступной литературе единичны [9].

**Цель исследования** – оценка репаративной регенерации костной ткани и состояния сосудистого русла оперированной конечности при интрамедуллярном остеосинтезе большеберцовой кости имплантатами с покрытием нитридами титана и гафния.

### Материал и методы

Исследования проводились на кафедре ветеринарной хирургии ФГБОУ ВПО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана». Все экспериментальные исследования проводились согласно требованиям «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей» (1986).

Эксперименты проводились на 40 кроликах обоего пола в возрасте 6–10 месяцев и массой тела  $2500 \pm 70$  г. Эксперимент был одобрен локальным этическим комитетом при ФГБОУ ВПО

«Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России (протокол № 5 от 25 июня 2013 г.).

Всем животным производили открытую остеоклазию большеберцовой кости в области средней трети диафиза с последующим ретроградным введением имплантата в костномозговой канал [10].

В группе сравнения (20 животных) непосредственно после перелома производили остеосинтез спицами из стали 12Х18Н9Т диаметром 2 мм.

В опытной группе (20 животных) использованы для этой цели такие же спицы с комплексным покрытием из нитрида титана и нитрида гафния. Для его создания был использован способ ионно-плазменного нанесения с электронодуговым испарением. Толщина покрытия – 0,5–2 мкм, диаметр структурных шарообразных элементов – 20–100 нм (фазовый состав покрытия – смесь нитрида титана и нитрида гафния в кристаллическом состоянии) [1].

Мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) области костного регенерата проводили до вмешательства и затем на 10, 30, 60-е сутки после него на томографе Toshiba Aquilion-16 (Япония); параметры – 120 кВ, 200 мАс, фильтр Bone, толщина среза 0,5 мм) [3, 13]. При проведении денситометрии определяли плотность периостальной мозоли и кортикальной пластинки в зоне остеоклазии в единицах HU [6, 7].

В послеоперационном периоде за животными вели ежедневное наблюдение на протяжении всего периода лечения, длительность которого составила 60 суток.

Поскольку развитие регенерата обусловлено васкуляризацией зоны повреждения, логичной явилась опосредованная оценка изменения кровотока в средней трети голени оперированного животного. Исследования параоссальных тканей проводили на ультразвуковом сканере SonoScapeS6 высокочастотным линейным датчиком 7,5–10 МГц. Комплексное ультразвуковое исследование выполнялось до оперативного вмешательства, на 10, 30, 60-е сутки послеоперационного периода. Обследование начиналось с В-режима для оценки общей сонографической картины поврежденной области: выявления инфилтративных изменений параоссальных тканей (отек, лимфостаз), наличия гематом, степени повреждения мышц, стояния костных фрагментов. Далее, переходя в режим доплеровского картирования, изучалось состояние магистральных сосудов оперированной и интактной конечностей выше зоны перелома (*a. poplitea*). Датчик располагался по каудо-медиальной поверхности верхней трети голени

(позади коленного сустава). В режиме спектрального доплеровского картирования проводился анализ формы кривой скорости кровотока. Далее оценивались показатели стандартного автоматического заключения: ТАМАХ – средняя по времени максимальная скорость кровотока, индекс пульсативности (Pi), отражающий упруго-эластические свойства артерий, индекс резистивности (Ri), отражающий сопротивление кровотоку дистальнее места измерения [9].

Статистическую обработку полученных данных проводили с применением пакета программ «SPSS» версия 13. Вычисляли среднеарифметическое выборочное значение показателя (M), стандартную ошибку среднеарифметического значения (m) по каждой из сравниваемых величин с определением достоверности различий (p) по методу Стьюдента – Фишера.

**Результаты**

При проведении МСКТ костей голени кроликов до остеоклазии средняя величина плотности кортикальной пластинки большеберцо-

вой кости в средней трети диафиза составляла 2890,0±63,1 (табл. 1).

**10-е сутки наблюдения.** В этот срок после операции на серии рентгеновских компьютерных томограмм у животных обеих групп были получены изображения костей голени правой конечности, фиксированных интрамедуллярной конструкцией (рис. 1). Поскольку для остеосинтеза были использованы подобные металлические спицы, то наличие определенного «фона» расценивалось равнозначно для томограмм животных обеих групп.

В обеих группах в зоне остеоклазии наблюдалась периостальная реакция. Плотность формировавшейся периостальной мозоли у животных группы сравнения на данном сроке статистически достоверно была в 1,9 раза ниже, чем у животных опытной группы (табл. 1).

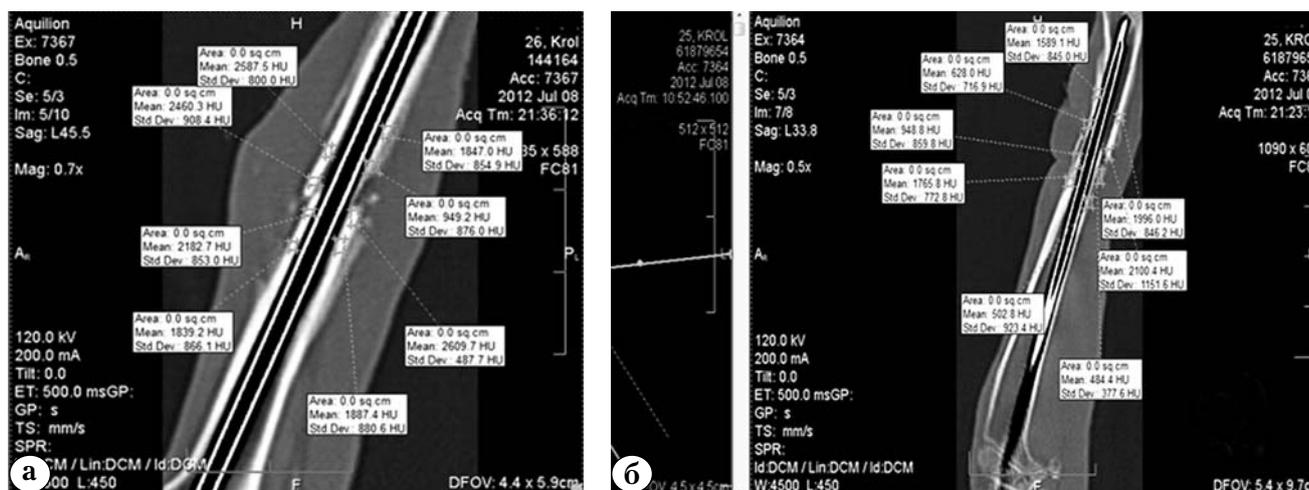
Так как отсутствуют данных литературы о нормах скоростей и показателей кровотока в артериях конечности кролика (по данным сонографии), за основу были взяты показатели кровотока у животных до оперативного вмешательства. На всех спектрограммах регистрировался

Таблица 1

**Денситометрические показатели кортикальной пластинки, НУ**

Группа	Срок наблюдения, сутки			
	До операции	10-е	30-е	60-е
Группа сравнения (n = 20)	2890,0±63,1	443,0±44,0**	1163,3±44,8**	1708,0±171,6*
Опытная группа (n = 20)		877,0±30,0	1429,3±6,8	2159,7±80,8

Достоверные различия в отношении показателей опытной группы: \* – p<0,05; \*\* – p<0,001.



**Рис. 1.** МСКТ большеберцовой кости в области перелома на 10-е сутки наблюдения: а – группа сравнения; б – опытная группа

магистрално измененный второй тип кровотока (двухфазная кривая), хотя из-за высокой частоты сердечных сокращений инцизура, как правило, слабо выражена (рис. 2).

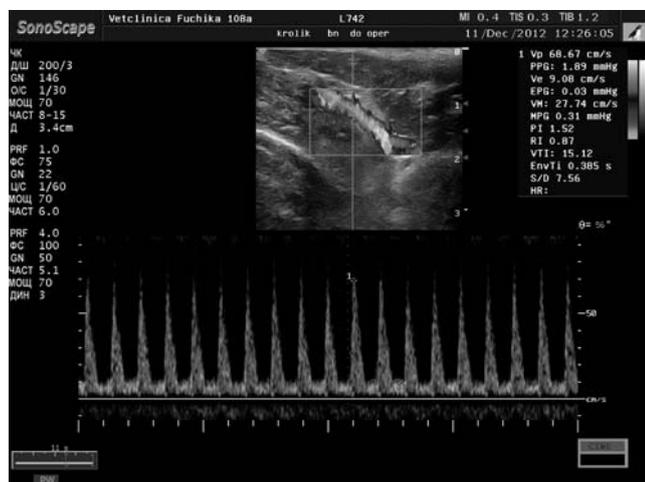


Рис. 2. Спектр доплеровского сдвига частот кровотока в подколенной артерии у кролика

Показатели кровотока в интактной конечности у животных группы сравнения не имели достоверных отличий на протяжении всего опыта. При этом в оперированной конечности на 10-е сутки отмечалось повышение ТАМАХ и снижение индексов  $P_i$  и  $R_i$  (табл. 2).

У животных опытной группы максимальное увеличение ТАМАХ на оперированной конечности отмечалось так же на этом сроке после операции. Показатель  $R_i$  на оперированной конечности в группе, где использовались имплантаты с покрытием, снизились максимально именно на 10-е сутки.

Однако несмотря на то, что средние показатели ТАМАХ в этой группе превысили дооперационные на 67,7%, статистической достоверности выявить не удалось.

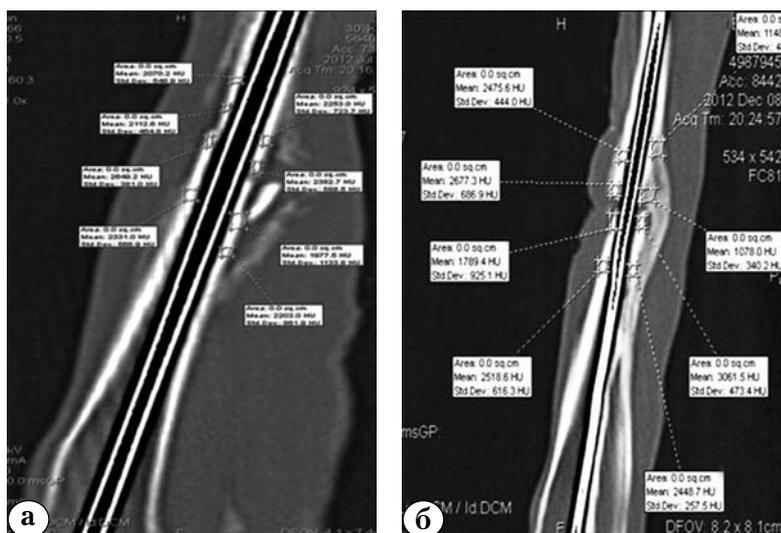
**30-е сутки наблюдения.** По данным компьютерной томографии, были выявлены достоверные различия между группами, где плотность кортикальной пластинки у животных с имплантатами из стали без покрытия была статистически значимо ниже на 23% ( $1163 \pm 44,8$  HU), чем у животных опытной группы  $1429 \pm 6,8$  HU ( $p = 0,001$ ) (рис. 3).

Таблица 2

Динамика показателей артериального кровотока по *a. poplitea*

Показатели	Группа сравнения (n = 20)		Опытная группа (n = 20)	
	интактная конечность	оперированная конечность	интактная конечность	оперированная конечность
<b>До операции</b>				
Индекс $P_i$	1,66±0,21	1,24±0,25	1,59±0,12	1,64±0,24
Индекс $R_i$	0,82±0,06	0,77±0,06	0,92±0,01	0,87±0,03
ТАМАХ, см/с	24,46±3,21	19,17±1,12	19,06±0,94	20,84±1,62
<b>10-е сутки</b>				
Индекс $P_i$	1,39±0,32	0,7±0,05* **	1,6±0,28	1,04±0,11
Индекс $R_i$	0,81±0,06	0,67±0,04	0,81±0,05	0,68±0,05
ТАМАХ, см/с	23,93±5,97	35,31±6,57	20,55±1,04	34,26±7,58
<b>30-е сутки</b>				
Индекс $P_i$	0,91±0,18**	0,87±0,19	1,54±0,24	0,72±0,17*
Индекс $R_i$	0,78±0,05	0,75±0,04	0,760,04	0,85±0,05
ТАМАХ, см/с	25,58±1,56	31,82±5,92	26,51±1,97	23,52±3,11
<b>60-е сутки</b>				
Индекс $P_i$	0,94±0,18	1,08±0,31	1,02±0,26	0,81±0,24
Индекс $R_i$	0,89±0,04	0,81±0,04	0,92±0,04	0,84±0,01*
ТАМАХ, см/с	21,83±3,76	26,92±6,32	22,60±1,99	23,09±2,20

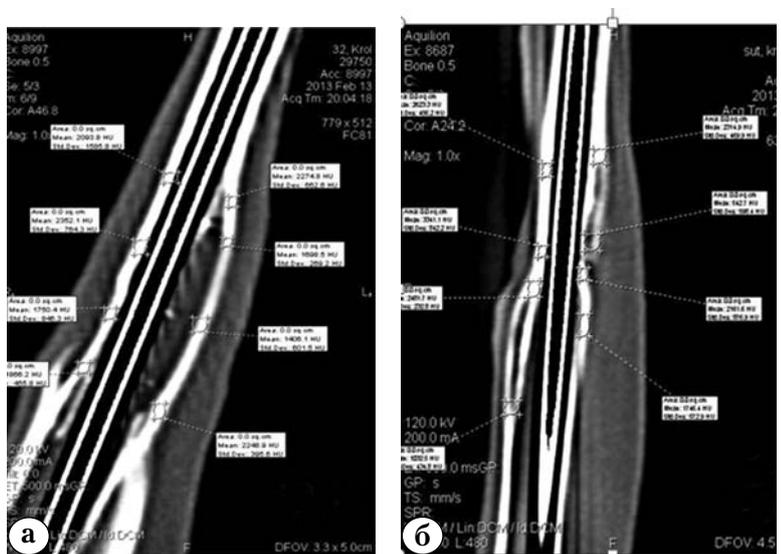
Достоверные различия с показателями интактной конечности – \* –  $p < 0,05$ ; достоверные различия с показателями опытной группы – \*\* –  $p < 0,05$ .



**Рис. 3.** МСКТ большеберцовой кости, зона перелома; 30-е сутки эксперимента (MPR-реконструкция): а – группа сравнения; б – опытная группа

По данным доплерографии, максимальное снижение  $P_i$  на оперированной конечности в обеих группах было отмечено именно в данный срок наблюдения. Характерно, что в опытной группе на 30-е сутки уже была заметна тенденция к возврату дооперационных значений ТАМАХ на оперированной конечности, в то время как в группе сравнения то же явление наблюдалось лишь к 60-м суткам.

**60-е сутки эксперимента.** Плотность вновь сформированной кортикальной пластинки в зоне остеоклазии у животных группы сравнения на этом сроке (имплантаты из стали 12Х18Н9Т) была статистически значимо ниже, чем у животных опытной группы (на 26%) ( $p = 0,045$ ) (рис. 4). Показатели доплерографии на этом сроку не отличались от дооперационных значений.



**Рис. 4.** МСКТ большеберцовой кости, зона перелома. 60-е сутки эксперимента (MPR-реконструкция): а – группа сравнения; б – опытная группа

### Обсуждение

Результаты клинично-функционального наблюдения показали купирование болевого синдрома к 10-м суткам наблюдения и возможность полноценной опоры животных на оперированную конечность к 30-м суткам в обеих группах. Контрольные томограммы на этом сроке подтвердили срастание перелома.

Проведенные исследования изменений плотности костной ткани методом компьютерной денситометрии при остеосинтезе переломов большеберцовой кости показали существенное отличие между исследуемыми группами животных на каждом из этапов послеоперационного наблюдения. Полученные показатели позволяют констатировать существенное пре-

имущество в нарастании показателя плотности кортикальной пластинки в зоне проведенной остеоклазии при использовании фиксаторов с нанотехнологическим покрытием смеси нитридов титана и гафния. Наблюдалось практически двукратное превалирование индекса плотности костной ткани NU на 10-е сутки наблюдения. Тенденция сохранялась и к 60-м суткам, когда этот показатель в основной группе оказался выше на 20,9%.

Денситометрический контроль состояния артерий в зоне вмешательства позволил зафиксировать характерную активизацию сосудистой реакции. Снижение ультразвуковых индексов  $P_i$  и  $R_i$  может быть обусловлено вазодилатацией в зоне травмы. В раннем послеоперационном периоде (10-е сутки наблюдения) это можно рассматривать как положительный момент в формировании первичного костного регенерата, направленный на увеличения кровотока в зоне репаративного остеогенеза. Увеличение ТАМАХ можно связать с компенсаторно-приспособительной реакцией организма в виде усиления кровоснабжения оперированных сегментов за счет вазодилатации магистрального русла проксимальнее уровня перелома [5, 9], т.е. артериальной гиперемии.

### Выводы

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что интрамедуллярный остеосинтез имплантатами с покрытием смесью нитридов титана и гафния сопровождается формированием кортикальной пластинки в зоне остеоклазии и более высокими показателями плотности, определяемыми с помощью МСКТ.

Для раннего периода после интрамедуллярного остеосинтеза характерно увеличение кровотока в зоне репаративного остеогенеза, что можно связать с компенсаторно-приспособительной реакцией организма в виде усиления кровоснабжения оперированных сегментов за счет вазодилатации магистрального русла проксимальнее уровня перелома.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

### Литература

- Абдуллин И.Ш., Миронов М.М., Гарипова Г.И. Бактерицидные и биологически стойкие покрытия для медицинских имплантатов и инструментов. *Медицинская техника*. 2004; (4):20-22.
- Ахтямов И.Ф., Шакирова Ф.В., Гатина Э.Б. и др. Морфологическое исследование локального влияния имплантатов с покрытиями на основе сверхтвердых соединений на костную ткань в условиях индуцированной травмы. *Журнал клинической и экспериментальной ортопедии им. Г.А. Илизарова*. 2015; (1):65-70.
- Ахтямов И.Ф., Ф.В. Шакирова, Э.Б. Гатина и др. Морфофункциональное состояние регионарных лимфатических узлов в условиях интрамедуллярного остеосинтеза фиксаторами с покрытием на основе сверхтвердых соединений. *Травматология и ортопедия России*. 2014; (2):78-84.
- Долганова Т.И., Долганова Т.И., Карасев А.Г., Долганов Д.В. Периферическая гемодинамика у пострадавших с полисегментарными переломами нижних конечностей при лечении методом чрескостного остеосинтеза. *Вестник травматологии и ортопедии Урала*. 2012; (1-2):11-17.
- Долганова Т.И., Шабалин Д.А., Шихалева Н.Г. Ультразвуковая доплерография пальцевых артерий при удлинении культи фаланг пальцев мини-фиксаторами. *Травматология и ортопедия России*. 2011; (2):107-113.
- Дьячкова Г.В., Степанов Р.В., Суходолова Л.В., Бойчук С.П., Хубаев Н.Д., Обанина Н.Ф. Анализ репаративного костеобразования при лечении больных с переломами длинных трубчатых костей по данным компьютерной томографии и двухэнергетической рентгеновской абсорбциометрии. *Вестник новых медицинских технологий*. 2006; (3):74-78.
- Дьячкова Г.В., Дьячков К.А., Александров С.М., Ларионов Т.А., Ключин Н.М. Оценка качества кости методом мультисрезовой компьютерной томографии у больных хроническим остеомиелитом. *Травматология и ортопедия России*. 2013; (3):88-94.
- Ермак, Е.М. Современные ультразвуковые технологии в диагностике деструктивных и репаративных процессов в костной и хрящевой тканях: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2006. 36 с.
- Клюшклина Ю.А. Ультразвуковая семиотика поврежденных длинных трубчатых костей с элементами репарации на этапах лечения: учебно-методическое пособие. Казань: МеДДок; 2002. 28 с.
- Лопухин М.Ю. Экспериментальная хирургия. М.: Медицина; 1971. 279 с.
- Писарев В.В., Олейник А.В., Тихомолова Э.В., Васин И.В. Ультразвуковая диагностика течения репаративного процесса при оперативном лечении переломов костей голени. *Вестник Ивановской медицинской академии*. 2013; 18(3):35-39.
- Поздеев О.К., Ахтямов И.Ф., Шулаева М.П., Гатина Э.Б. и др. Влияние нанотехнологических покрытий на жизнеспособность условно-патогенных микроорганизмов. *Травматология и ортопедия России*. 2014; (3-4):112-120.
- Тихилов Р.М., Воронцова Т.Н., Беленький И.Г. Вопросы стандартизации специализированной медицинской помощи пострадавшим с переломами костей голени в условиях городского многопрофильного стационара. *Травматология и ортопедия России*. 2013; (2):5-12.
- Фишкин В.И., Львов С.Е., Удальцов В.Е. Регионарная гемодинамика при переломах костей. М.: Медицина; 1981. 184 с.
- Шевцов В.И., Дьячков А.Н., Городиевских Н.И. и др. Кровообращение и остеогенез при замещении костных дефектов в эксперименте. *Гений ортопедии*. 2006; (4):59-64.
- Щуров В.А., Мурадисинов С.О., Щуров И.В., Бойчук С.П. Оценка кровоснабжения костного регенерата методом высокочастотной ультразвуковой доплерографии. *Травматология и ортопедия России*. 2008; (3):39-41.
- Chen Y., Laha T., Balani K., Agarwal A. Nanomechanical properties of hafnium nitride coating. *Scripta Materialia*. 2008; 58:1121-1124.

18. Sovak G., Weiss A., Gotman I. Osseointegration of Ti6Al4V alloy implants coated with titanium nitride by a new method. *J Bone Joint Surg.* 2000; 82-B: 290-296.
19. Yousef A., Akhtyamov I., Shakirova F., Zubairova L. et al. Effect of hafnium and titanium coated implants on several blood biochemical markers after osteosynthesis in rabbits. *Int J Clin Exp Med.* 2014; 7(10):3473-3477.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Ахтямов Илдар Фуатович* – профессор д-р мед. наук заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний, ГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России

*Шакирова Фаина Владимировна* – д-р вет. наук доцент и.о. заведующего кафедрой ветеринарной хирургии, ФГБОУ ВПО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана» Минсельхоза России

*Клюшкина Юлия Аркадьевна* – канд. мед. наук ассистент кафедры ультразвуковой диагностики, ГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России

*Бакланова Дарья Александровна* – аспирантка кафедры ветеринарной хирургии, ФГБОУ ВПО «Казанская государственная академия ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана» Минсельхоза России

*Татина Эльмира Биктемировна* – канд. мед. наук соискатель кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний, ГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России

*Алиев Эльчин Ильяс-оглы* – соискатель кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний, ГБОУ ВПО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России

ANALYSIS OF HEALING PROCESS AT THE SITE OF TIBIA FRACTURE  
(experimental study)

I.F. Akhtyamov<sup>1</sup>, F.V. Shakirova<sup>2</sup>, Yu.A. Klushkina<sup>1</sup>, D.A. Baklanova<sup>2</sup>,  
E.B. Gatina<sup>1</sup>, E.I. Aliev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan State Medical University, ul. Butlerova, 49, Kazan, Russia, 420012

<sup>2</sup> Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine, Sibirskiy trakt, 35, Kazan, Russia, 420029

**Abstract**

*Purpose of the study:* to quantify the density of the cortical bone of the tibia at the site of reparative regeneration and the state of the vascular bed (hemodynamics) of the operated limb after intramedullary internal fixation using pins coated with titanium and hafnium nitrides.

*Material and methods.* Study was performed on 40 rabbits aged from 6 to 10 months weighting 2500±70 grams. The experiment was approved by local ethical committee. Animals were divided into two equal groups. In comparison group the authors used intramedullary fixation with stainless steel pins, in test group – stainless steel pins with combined titanium and hafnium nitrides coating. Color Doppler imaging was used to evaluate vascular bed proximal to fracture site. Comprehensive ultrasound testing was performed before the surgery as well as at 10th, 30th and 60th day after the surgery.

*Results.* The authors observed clinical and functional relief of pain syndrome by 10th day after the surgery and ability of full weight bearing of operated extremity by 30th day after the surgery in both groups. Application of pins coated with titanium and hafnium nitrides did not violate regeneration process. Bony remodeling in test group was noted as more active and completed at an earlier stage, in contrast to comparison group, and was characterized by higher density of tibial cortex at site of instrumental fracture as confirmed by helical computer tomography examination.

*Conclusion.* Use of implants coated by titanium and hafnium nitrides and characterized by higher strength, thermal and chemical stability results in formation of a denser cortical bone at the site of osteotomy. The authors noted changes typical of vasodilatation at the injury site in early postoperative period that can be regarded as a positive factor in callus formation. In the group where implants coated with titanium and hafnium nitrides were applied, parameters returned to values of intact bone at an earlier date than in the group with uncoated implants. Results of the study proved that intramedullary fixation by pins coated with titanium and hafnium nitrides can to be considered as perspective for fracture treatment.

**Key words:** intramedullary internal fixation, reparative osteogenesis, implants with bio-inert coating.

**Conflict of interest:** none.

**Cite as:** Akhtyamov IF, Shakirova FV, Klushkina UA, Baklanova DA, Gatina EB, Aliev EI. [Analysis of healing process at the site of tibia fracture (experimental study)]. *Traumatologiya i ortopediya Rossii.* 2016; (1): 100-107. [in Russian]

**✉ Akhtyamov Ildar F.** Ul. Butlerova, 49, Kazan, Russia, 420012; e-mail: yalta60@mail.ru

**1** Received: 30.08.2015; Accepted for publication: 29.01.2016

## References

1. Abdullin I.Sh., Mironov M.M., Garipova G.I. Bactericidal and biologically resistant coatings for medical implants and instruments. *Meditsinskaya tekhnika* [Medical equipment]. 2004; (4):20-22.
2. Akhtyamov I.F., Shakirova F.V., Gatina E.B. et al. Morphological examination of local effect of implants coated with superhard compounds on bone at induced injury. *Zhurnal klinicheskoi i ehksperimental'noi ortopedii im. G.A. Ilizarova* [Ilizarov Journal of Clinical and Experimental Orthopedics]. 2015; (1):65-70.
3. Akhtyamov I.F., Shakirova F.V., Gatina E.B. et al. Morphofunctional state of regional lymph nodes during intramedullary nailing with implants coated by superhard compounds. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2014; (2):78-84.
4. Dolganova T.I., Karasev A.G., Dolganov D.V. The peripheral hemodynamics in patients with polysegmental fractures of the lower limbs during external osteosynthesis. *Vestnik travmatologii i ortopedii Urala* [Bulletin of Traumatology and Orthopedics of Urals]. 2012; 1(2):11-17.
5. Dolganova, T.I., Shabalin T.I., Shikhaleva N.G. Doppler ultrasonography of finger arteries at finger stumps lengthening by minifixators. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2011; (2):107-113.
6. D'yachkova G.V., Stepanov R.V., Sukhodolova L.V., Boychuk S.P., Khubaev N.D., Obanina N.F. Analysis of reparative osteogenesis in patients with long bone fractures according to CT and dual energy X-ray absorptiometry data. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy* [Bulletin of New Medical Technologies]. 2006; (3):74-78.
7. D'yachkova G.V., D'yachkov K.A., Aleksandrov S.M., Larionov T.A., Klyushkin N.M. Evaluation of bone quality by computed tomography in patients with chronic osteomyelitis. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2013; (3): 88-94.
8. Ermak E.M. Modern ultrasound technology in the diagnosis of destructive and reparative processes in bone and cartilage tissue [dissertation thesis ... doctor of medical sciences]. M.; 2006. 36 p.
9. Klushkina Yu.A. Ultrasound semiotics of long bone injuries with elements of reparation on treatment stages. Kazan: Med Doc, 2002. 28 p.
10. Lopukhin M.Yu. Experimental surgery. M.: Meditsina; 1971. 279 p.
11. Pisarev V.V., Olejnik A.V., Tikhomolova E.V., Vasin I.V. Ultrasonic diagnostics of reparative process in surgical treatment of fractures of shin bones. *Vestnik Ivanovskoy Meditsinskoy Akademii* [Bulletin of the Ivanovo Medical Academy]. 2013; 18(3):35-39.
12. Pozdeev O.K., Akhtyamov I.F., Shulaeva M.P., Gatina E.B. et al. The effect of nanotechnology coatings on the viability of opportunistic pathogens. *Travmatologiya zhene ortopediya* [Traumatology and Orthopedics]. 2014; (3-4):112-120.
13. Tikhilov R.M., Vorontsova T.N., Belen'kiy I.G. Standardization of specialized medical care to patients with tibial fractures in city multifield hospital. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2013; (2):5-12.
14. Fishkin V.I., Lvov S.E., Udal'tsov V.E. Regional hemodynamics in patients with bone fractures. M.: Meditsina; 1981. 184 s.
15. Shevtsov V.I., D'yachkov A.N., Gorodievskikh N.I. et al. Blood circulation and bone formation during the treatment of bone defects in the experiment. *Geniy ortopedii* [Genius of Orthopedics]. 2006; (4):59-64.
16. Shurov, V.A. S.O. Muradisinov, Shchurov I.V., Boychuk S.P. Evaluation of blood supply of bone regeneration by low-frequency Doppler ultrasound. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2008; (3):39-41.
17. Chen Y., Laha T., Balani K., Agarwal A. Nanomechanical properties of hafnium nitride coating. *Scripta Materialia*. 2008; 58:1121-1124.
18. Sovak G., Weiss A., Gotman I. Osseointegration of Ti6Al4V alloy implants coated with titanium nitride by a new method. *J Bone Joint Surg. Br.* 2000; 82: 290-296.
19. Yousef A., Akhtyamov I., Shakirova F., Zubairova L. et al. Effect of hafnium and titanium coated implants on several blood biochemical markers after osteosynthesis in rabbits. *Int J Clin Exp Med*. 2014; 7(10):3473-3477.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

*Akhtyamov Ildar F.* – professor, head of traumatology, orthopedics and surgery of extreme states department, Kazan State Medical University

*Shakirova Faina V.* – associate professor, acting head of the veterinary surgery department, Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine

*Klushkina Uliya A.* – assistant of the department of ultrasound diagnostics, Kazan State Medical University

*Baklanova Darya A.* – postgraduate of the department of veterinary surgery, Bauman Kazan State Academy of Veterinary Medicine

*Gatina Elmira B.* – traumatology, orthopedics and surgery of extreme states department, Kazan State Medical University

*Aliev Elchin I.* – department of traumatology, orthopedics and surgery of extreme conditions, Kazan State Medical University