Возможность использования контактного ультразвукового воздействия в условиях чрескостного остеосинтеза (экспериментальное исследование)

Л.Б. Резник¹, Г.Г. Дзюба¹, А.А. Новиков², К.Ю. Рожков¹, Д.А. Лебедева², Д.В. Котов¹

¹Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Омский государственный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации

The possibility of using contact ultrasound impact under transosseous osteosynthesis (an experimental study)

L.B. Reznik¹, G.G. Dziuba¹, A.A. Novikov², K.Iu. Rozhkov¹, D.A. Lebedeva², D.V. Kotov¹

¹The Omsk State Medical University, Omsk
²The Omsk State Technical University, Omsk

Цель. Изучить влияние низкочастотного ультразвука на термодинамические и диффузионные процессы в длинных трубчатых костях с целью возможности использования контактного ультразвукового воздействия на кость и возможности его сочетания с чрескостным остеосинтезом. **Материалы и методы.** Исследование проведено в виде стендового эксперимента на трупных сегментах длинной трубчатой кости животных. Использовали в качестве волноводов стержни, изготовленные на основе стержня-шурупа для аппарата внешней фиксации, погруженные в кость (стандартный стержень-шуруп, монолитный стержень-волновод, полый стержень-шуруп с вводимым волноводом). Определяли особенности термодинамического взаимодействия волноводов и кости, а также диффузионные процессы в кости, индуцируемые ультразвуком. Весь материал разделили на 6 равных групп и контрольную группу в зависимости от типа волновода и способа фиксации. **Результаты.** В группах со стандартным стержнем-шурупом (1 и 2) температура на границе «кость-волновод» – 45-55 градусов и диффузионные процессы – 9,92 мм (монокортикальная фиксация), 23 градуса, 1,1 мм соответственно (бикортикальная фиксация), в группе с монолитным стержнем-волноводом (3 и 4) 79 – 99 градусов, 39,8 мм (монокортикальная фиксация), 65 – 99 градусов, 35,7 мм (бикортикальная фиксация), в группах с полым стержнем – шурупом (5 и 6) 35-45 градусов, 28 мм (монокортикальная фиксация), 23-34 градуса, 10 мм (бикортикальная фиксация). **Заключение.** Использование в качестве волноводов для контактного ультразвукового воздействия стержня-шурупа и его модификаций индуцирует в кости термодинамические и диффузионные процессы. **Ключевые слова:** низкочастотный ультразвук, физические параметры, диффузия, кость.

Purpose. To study the effect of low-frequency ultrasound on the thermodynamic and diffusion processes in long tubular bones in order to have the possibility of using contact ultrasound impact on bone and its combining with transosseous osteosynthesis. **Materials and methods.** The study was conducted as a poster experiment using cadaver segments of animals' long tubular bone. We used pins made on the basis of an external fixator half-pin, inserted in the bone as waveguides (a standard half-pin, an entire pin-waveguide, a hollow half-pin with inserted waveguide). The features of waveguide-bone thermodynamic interaction were determined, as well as diffusion processes in bone induced by ultrasound. All the material was divided into six (6) equal groups and a control group depending on waveguide type and fixation technique. **Results.** The temperature at bone-waveguide interface was 45-55°, diffusion processes: 9.92 mm (monocortical fixation), 23°, 1.1 mm (bicortical fixation), respectively, – in the groups with a standard half-pin (1 and 2); 79-99°, 39.8 mm (monocortical fixation), 65-99°, 35.7 mm (bicortical fixation) – in the group with an entire pin-waveguide (3 and 4); 35-45°, 28 mm (monocortical fixation), 23-34°, 10 mm (bicortical fixation) – in the group with a hollow half-pin (5 and 6). **Conclusion.** The use of a half-pin and its modifications as waveguides for contact ultrasound impact induces thermodynamic and diffusion processes in the bone. **Keywords:** low-frequency ultrasound, physical parameters, diffusion, bone.

ВВЕДЕНИЕ

Низкочастотный ультразвук широко используется в травматологии и ортопедии [1]. Его применение можно разделить на 2 области: терапевтическое воздействие (противовоспалительное и анальгетическое действие, активизация действия лекарственных препаратов, стимуляция остеогенеза) и хирургическое (инструментальная ультразвуковая техника и локальные разрушения в глубине тканей с помощью фокусированного ультразвука) [2, 5]. Эффекты ультразвука можно разделить на физические, которые связаны с механическим прохождением ультразвуковой волны через ткани, и физиологические, связанные с биохимическими и биофизическими процессами в тканях. К физическим процессам относится повышение температуры в тканях, кавитация, переменное звуковое и радиационное давление, микротечения и другие [1]. К физиологиче-

ским процессам относится активация ферментов (адезилатциклаза, простогландины), активация экспрессии гена аггрекана, трансформирующих факторов роста, неоангиогенеза, роста хондробластов и хондроцитов, увеличение проницаемости клеточных мембран [2, 11]. При этом эффект ультразвука тем больше, чем выше плотность ткани, поэтому максимальный эффект воздействия наблюдается в костях. Однако кости окружены мягкотканым массивом, при прохождении через который ультразвуковые колебания значительно ослабевают, и до костной ткани доходит ультразвук низкой интенсивности. Наилучшие результаты получены при расположении ультразвукового излучателя на надкостнице. Широко изучается положительное влияние ультразвука на процессы регенерации костной ткани [8, 10]. Стимуляция остеогенеза особенно показана при

Резник Л.Б., Дзюба Г.Г., Новиков А.А., Рожков К.Ю., Лебедева Д.А., Котов Д.В. Возможность использования контактного ультразвукового воздействия в условиях чрескостного остеосинтеза (экспериментальное исследование) // Гений ортопедии. 2015. № 3. С. 55-59.

лечении открытых переломов, при которых имеется сочетание более двух неблагоприятных факторов для нормального течения регенерации (массивное повреждение мягких тканей, нарушение питания мягких тканей и кости, инфекция). Основным методом лечения открытых переломов является чрескостный остеосинтез. Поэтому перспективным при лечении открытых переломов является сочетание чрескостного остеосинтеза и контактного ультразвукового воздействия.

Цель исследования. Изучить влияние низкочастотного ультразвука на термодинамические и диффузионные процессы в длинных трубчатых костях с целью возможности использования сочетания чрескостного остеосинтеза и контактного ультразвукового воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в форме стендового эксперимента на трупных сегментах длинной трубчатой кости животных (свиньи) массой $1115,6 \pm 65,9$ г ($M \pm \sigma$). Экспериментальный биологический материал был разделен на 6 групп по 20 единиц ($n=20$) в соответствии с характером фиксации в кости и типом волновода. Сравнительная оценка влияния низкочастотного ультразвука на диффузию вещества в кости проводилась при частоте колебаний 26,5 кГц с амплитудой смещения рабочего торца волновода-инструмента 0-80 мкм, мощностью 50 и 150 Вт, с использованием медицинского ультразвукового аппарата «Тонзиллор» (рис. 1).

Рис. 1. Ультразвуковой аппарат «Тонзиллор»

Ультразвуковое воздействие осуществлялось в непрерывном режиме в течение 3 минут во всех экспериментальных и контрольной группах. Биологический материал был разделен на группы в зависимости от типа волновода и способа его фиксации в кости.

В качестве внутрикостного волновода в первой экспериментальной серии использовался стандартный стержень-шуруп для спице-стержневого аппарата внешней фиксации (мощность ультразвука 50 Вт) длиной 130 мм, погружавшийся в кость монокортикально (1 группа) и бикортикально (2 группа) (рис. 2).

Во второй серии экспериментов в качестве внутрикостного волновода использовался монолитный волновод-шуруп (стержень-волновод для аппарата внешней фиксации (заявка на патент № 2014150743), который для эффективной передачи ультразвуковых колебаний был выполнен по аналогии с известными волноводами-инструментами (мощность ультразвуковых колебаний

Задачи исследования:

1. Разработать стержни для проведения внеочагового чрескостного остеосинтеза, обладающие дополнительными возможностями пролонгированного воздействия на кость низкочастотным ультразвуком.

2. Изучить влияние ультразвука частотой 26,5 кГц, мощностью 50 и 150 Вт на диффузионные процессы в губчатой и кортикальной кости, а также распространение жидкости в костномозговом канале.

3. Оценить процессы теплообмена на границе «кость – волновод».

4. Оценить влияние способа фиксации (моно- и бикортикальная) волноводов в кости при различных режимах ультразвукового воздействия.

150 Вт), также погружавшийся в кость монокортикально (3 группа) и бикортикально (4 группа) (рис. 3, 4). При стандартной форме стержня-шурупа мощность ультразвука 150 Вт при его фиксации в кости приводила к механическому повреждению стержня.

Рис. 2. Фиксация стержня-шурупа в кости, где 1 – кость, 2 – стержень, 3 – контраст, введенный через дополнительное отверстие

Рис. 3. Монолитный волновод-шуруп, где 1 – погружная самонарезающая часть; 2 – резьбовая часть; 3 – конусовидное расширение; 4 – дополнительная резьбовая часть

Рис. 4. Монолитный волновод-шуруп, где 1 – кость; 2 – стержень – шуруп; 3 – акустический узел ультразвукового аппарата

В третьей группе экспериментов использовался полый стержень-шуруп для внеочагового остеосинтеза (рис. 5) [4], также фиксируемый монокортикально (5 группа) и бикортикально (6 группа). Ультразвуковое воздействие осуществлялось с помощью вводимого через полое отверстие стержня-шурупа волновода (мощность ультразвуковых колебаний 50 Вт).

Во всех группах продолжительность ультразвукового воздействия была 3 минуты.

Влияние ультразвука на диффузионные процессы в костномозговом канале оценивалось рентгенологиче-

ски по распространению в нем контраста (ультравист). Рентгенологическое исследование проводилось на аппарате Ares MR – MS Westfalia GMBH (рис. 6).

Рис. 5. Полый стержень-шуруп, где 1 – кость, 2 – полый стержень-шуруп, 3 – волновод – инструмент, 4 – акустический узел ультразвукового аппарата

Рис. 6. Рентгенограмма: распространение контраста по кости при использовании волновода, погруженного в кость, 1 – кость, 2 – волновод, 3 – скопление контраста в месте введения, 4 – распространение контраста

Для изучения распространения ультразвука непосредственно в костной ткани были использованы блоки губчатой кости объемом 6 и 22 см³ (количество единиц по 30, n=30). Ультразвуковое воздействие осу-

Рис. 7. Насыщение костного блока раствором при контактном действии ультразвука. Ув. × 18

ществлялось путем установки волноводов на поверхность костного блока с давлением на поверхность кости до 3 Н в течение 30 секунд.

В качестве критерия распространения ультразвука в кости использовалось изменение окрашивания и массы костного фрагмента после ультразвукового воздействия в жидкости. Контрольные взвешивания производились с использованием высокоточных электронных аналитических весов типа W_{x-n} (Польша), позволяющих регистрировать изменение массы объекта с точностью до 10⁻⁴ г (цена деления 0,0001 г). Для визуального наблюдения распространения ультразвука в кости в условиях контактного ультразвукового воздействия использовался окрашенный метиленовым синим и гематоксилином и эозином раствор в разведении 1:10. Чтобы точно определить направление движения жидкости костный блок на 6/8 выступал над поверхностью раствора (рис. 7).

С целью определения характеристик термодинамического взаимодействия в системе «кость – волновод» нами использована термopapa хромель-кобальтовая цифрового мультиметра Mastech M830BZ, обеспечивающая возможность высокоточной контактной фиксации температуры в интервале от (-20) до (+1370) °C, которая помещалась в зону контакта волновода-инструмента с костью (рис. 8).

При анализе распределения выборки критерием Шапиро-Уилка получено нормальное распределение в экспериментах по распространению ультразвука в сегментах трубчатой кости и с определением температуры, поэтому для статистической обработки данных использовались методы параметрической статистики (t-критерий). В эксперименте с костными блоками получено распределение, отличное от нормального, поэтому для статистической обработки использовались методы непараметрической статистики (критерий Манна – Уитни). Математические расчеты производились с использованием пакета приложений Statistica 10.

Рис. 8. Мультиметр и термopapa

РЕЗУЛЬТАТЫ

При использовании в качестве волновода стандартного стержня-шурупа распространение контраста проходило только при монокортикальной фиксации и на расстоянии 9,92±0,34 мм от торца-волновода.

При использовании монолитного стержня-волновода ультразвук распространялся как при монокортикальной, так и при бикортикальной фиксации, а контраст перемещался на расстояние 39,8 ± 0,69 мм (p=0,0000), при монокортикальной фиксации – 35,7±0,49 мм (p=0,0000). При использовании для ультразвукового

воздействия полого стержня-шурупа с вводимым в него волноводом-инструментом обнаружено распространение ультразвука на 28,0±0,58 мм (p=0,0000) при монокортикальной фиксации и 10,0±0,58 мм (p=0,0000) при бикортикальной фиксации.

При оценке влияния контактного ультразвукового воздействия на губчатую кость обнаружено, что в течение времени (30±5 сек.) костный блок высотой 40 мм насыщается окрашенным раствором. Костный блок заполняется раствором снизу вверх, неравномерно по

объёму из-за различных параметров капиллярности и степени остаточного заполнения кости детритом. В таблице 1 представлены результаты 30 серий экспериментов, раскрывающих динамику процесса на протяжении 30 секунд при следующих параметрах: частота ультразвука 26 кГц, амплитуда 60 мкм, фиксация волновода в поверхностных слоях кости, мощность 150 Вт.

Полученные данные показывают, что во всех сериях эксперимента при контактном взаимодействии ультра-

звук на кость диффузия идёт с отрицательным балансом для массы кости из-за замещения внутрикостного содержимого менее плотным окрашенным раствором.

Температура на границе «кость – волновод» представлена на рисунке 9.

Во всех группах, кроме 2 (бикортикальная фиксация стандартного стержня-шурупа), получены статистически значимые различия по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Таблица 1

Изменение массы костного блока в ультразвуковом поле

Объём костного блока (V_k), cm^3	Масса костного блока, г		Изменение массы костного блока, г	Критерий Манна-Уитни
	исходная	после УЗ-воздействия, M_s		
20	$2,8 \pm 0,39$	$2,61 \pm 0,4$	$0,19 \pm 0,07$	0,026
6	$1,01 \pm 0,03$	$0,89 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,015$	0,000

Рис. 9. Температура на границе «кость – волновод» в группах

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные свидетельствуют о том, что низкочастотный ультразвук мощностью 50 и 150 Вт активно влияет на распространение жидкости как в костномозговом канале, так и внутри собственно костного вещества при использовании волновода, погруженного в кость.

При использовании в качестве волновода стандартного стержня-шурупа ультразвук распространяется по кости только при монокортикальной фиксации. Бикортикальная фиксация не позволяет распространение ультразвуковых колебаний, так как волновод не развивает необходимую амплитуду. Контраст распространяется на 1 мм, что связано с диффузным пропитыванием тканей контрастом, так же как и в контрольной группе ($p = 0,38$). Распространение вещества в ультразвуковом поле при монокортикальной фиксации на ограниченное, но статистически значимое расстояние (9 мм) ($p < 0,05$).

Температура на границе «кость-волновод» даже при длительном непрерывном ультразвуковом воздействии (180 секунд) не вызывает термического повреждения

кости (температура не более 52 градусов). При использовании в качестве волновода монолитного волновода-шурупа ультразвуковые колебания распространялись и при монокортикальной, и при бикортикальной фиксации на расстояние 40 и 35 мм.

Нами получена статистически значимая разница как по сравнению с контрольной группой, так и моно- и бикортикальной фиксации ($p < 0,05$). Температура на границе «кость – волновод» была значительной с первых секунд ультразвукового воздействия (30 секунд – 68 градусов, 60 секунд и более 99 градусов), что вызвало повреждение кости и костного мозга. При использовании для ультразвукового воздействия стержня-шурупа для аппарата внешней фиксации, через сквозное отверстие которого вводился волновод, распространение вещества в ультразвуковом поле было на расстояние до 28 мм при монокортикальной фиксации и 10 мм при бикортикальной фиксации ($p < 0,05$). Температура нагрева в обоих случаях не вызвала термического повреждения кости.

ВЫВОДЫ

1. В ходе эксперимента получены новые данные о возможности многоцелевого использования фиксирующих стержней для внеочагового чрескостного остеосинтеза, в том числе в качестве долговременно функционирующих ультразвуковых волноводов в условиях чрескостного остеосинтеза.

2. Использование погруженных в кость волноводов при частоте ультразвуковых колебаний 26,5 кГц мощностью 50 и 150 Вт обеспечивает активацию распространения вещества в ультразвуковом поле в костномозговом канале в 9 раз при использовании стандартного стерж-

ня-шурупа (мощность 50 Вт), в 40 раз – при использовании монолитного стержня-волновода (мощность 150 Вт), в 28 раз при использовании полого стержня – шурупа с вводимым в него волноводом (мощность 50 Вт).

3. При монокортикальной фиксации контрастное вещество распространяется на большее расстояние, чем при бикортикальной фиксации (при мощности ультразвука 50 Вт в 2,8 раза, при мощности 150 Вт – в 1,1 раза), диффузионные процессы захватывают в кости большие площади при монокортикальной фиксации, чем при бикортикальной.

4. В месте контакта волновода с костью при прохождении ультразвуковых колебаний происходит повышение температуры до 100 градусов при мощности 150

Вт и до 38-52 градусов при мощности 50 Вт. При этом термическое повреждение костной ткани наблюдается только в группе с монолитным волноводом-шурпом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян В. Б. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии / В.Б. Акопян, Ю.А. Ершов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 225 с.
2. Применение низкочастотного ультразвука в лечении больных с длительно незаживающими заболеваниями мягких тканей / И.Л. Микитин, Ю.С. Винник, Г.Э. Карапетян, М.Н. Кузнецов, Н.М. Маркелова, А.А. Захарченко, Л.В. Кочетова, Е.С. Василенья, Ю.А. Назарьянц, Р.А. Пахомова, А.Б. Куликова // Кубан. науч. мед. вестн. 2013. № 4 (139). С. 82-84.
3. Дрожалова В.И., Артамонов Б.А. Ультразвуковая пропитка деталей. М.: Машиностроение, 1980. 41 с.
4. Стержень-шурп для аппарата внешней фиксации: полезная модель 143507 Российская Федерация. № 2014109497/14; заявл. 13.03.2014; опубл. 27.07.2014.
5. Резник Л.Б., Дзюба Г.Г., Новиков А.А. Эффективность применения ультразвука для удаления костного цемента при ревизионном эндопротезировании // Травматология и ортопедия России. 2012. № 1 (63). С. 30-35.
6. Резник Л.Б., Горячев А.Н. Использование ультразвуковых диффузионных процессов в цементном эндопротезировании // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. 2003. № 4. С. 149-154.
7. Алгоритм хирургического лечения посттравматических нарушений костного сращения на основе локальной стимуляции остеогенеза / Е.Д. Скляничук, В.И. Зоря, В.В. Гурьев, А.П. Васильев // Центр.-Азиат. мед. журн. 2009. Т. 15, Приложение 3. С. 281-282.
8. Влияние импульсного ультразвука низкой интенсивности на течение репаративного остеогенеза / В.И. Шевцов, А.В. Попков, А.М. Аранович, Д.А. Попков, В.А. Щуров, И.И. Мартель, Л.А. Гребенюк, Ю.М. Сысенко // Гений ортопедии. 2004. № 1. С. 81-88.
9. An ultrasound wearable system for the monitoring and acceleration of fracture healing in long bones / V.C. Protopappas, D.A. Baga, D.I. Fotiadis, A.C. Likas, A.A. Papachristos, K.N. Malizos // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2005. Vol. 52, No 9. P. 1597-1608.
10. Interobserver and intraobserver variation in the assessment of the healing of tibial fractures after intramedullary fixation / D.B. Whelan, M. Bhandari, M.D. McKee, G.H. Guyatt, H.J. Kreder, D. Stephen, E.H. Schemitsch // J. Bone Joint Surg. Br. 2002. Vol. 84, No 1. P. 15-18.
11. Exposure to low-intensity ultrasound increases aggrecan gene expression in a rat femur fracture model / K.H. Yang, J. Parvizi, S.J. Wang, D.G. Lewallen, R.R. Kinnick, J.F. Greenleaf, M.E. Bolander // J. Orthop. Res. 1996. Vol. 14, No 5. P. 802-809.

REFERENCES

1. Akopian V. B. Osnovy vzaimodeistviia ul'trazvuka s biologicheskimi ob'ektami. Ul'trazvuk v meditsine, veterinarii i eksperimental'noi biologii [The basics of ultrasound interaction with biological objects. Ultrasound in medicine, veterinary medicine, and experimental biology] / V.B. Akopian, Iu.A. Ershov. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2005. 225 s.
2. Primenenie nizkochastotnogo ul'trazvuka v lechenii bol'nykh s dlitel'no nezazhivajushimi zabolevanijami miagkikh tkanei [The use of low-frequency ultrasound in treatment of patients with chronic non-healing diseases of soft tissues] / I.L. Mikitin, Iu.S. Vinnik, G.E. Karapetian, M.N. Kuznetsov, N.M. Markelova, A.A. Zaharchenko, L.V. Kochetova, E.S. Vasilenja, Iu.A. Nazaryants, R.A. Pahomova, A.B. Kulikova // Kuban. Nauch. Med. Vestn. 2013. N 4 (139). S. 82-84.
3. Drozhalova V.I., Artamonov B.A. Ul'trazvukovaia propitka detalei [Ultrasound impregnation of details]. M.: Mashinostroenie, 1980. 41 s.
4. Sterzhen'-shurup dlja apparata vneshnei fiksacii: poleznaja model' 143507 Rossijskaia Federacija [A half-pin for external fixator: Utility Model 143507 RF]. N 2014109497/14; zaavl. 13. 03. 2014; opubl. 27. 07. 2014.
5. Reznik L.B., Dziuba G.G., Novikov A.A. Effektivnost' primeneniia ul'trazvuka dlia udaleniia kostnogo cementa pri revizionnom endoprotezirovanii [The efficiency of ultrasound using for bone cement removal during revision arthroplasty] // Travmatologija i Ortopediia Rossii. 2012. N 1 (63). S. 30-35.
6. Reznik L.B., Goriachev A.N. Ispolzovanie ul'trazvukovykh diffuzionnykh processov v cementnom endoprotezirovanii [The use of ultrasound diffusion processes in cement arthroplasty] // Biul. VSNC SO RAMN. 2003. N 4. S. 149-154.
7. Algoritim hirurgicheskogo lecheniia posttravmaticheskikh narushenii kostnogo srashheniia na osnove lokal'noi stimulacii osteogeneza [The algorithm of surgical treatment of bone union disorders based on osteogenesis local stimulation] / E.D. Sklianchuk, V.I. Zoria, V.V. Gur'ev, A.P. Vasil'ev // Centr.-Aziat. Med. Zhurn. 2009. T. 15, Prilozheniie 3. S. 281-282.
8. Vliianie impul'snogo ul'trazvuka nizkoi intensivnosti na techenie reparativnogo osteogeneza [The effect of low-intensity impulse ultrasound on the process of reparative osteogenesis] / V.I. Shevsov, A.V. Popkov, A.M. Aranovich, D.A. Popkov, V.A. Shchourov, I.I. Martel, L.A. Grebeniuck, Y.M. Sysenko // Genij Ortop. 2004. N 1. S. 81-88.
9. An ultrasound wearable system for the monitoring and acceleration of fracture healing in long bones / V.C. Protopappas, D.A. Baga, D.I. Fotiadis, A.C. Likas, A.A. Papachristos, K.N. Malizos // IEEE Trans. Biomed. Eng. 2005. Vol. 52, No 9. P. 1597-1608.
10. Interobserver and intraobserver variation in the assessment of the healing of tibial fractures after intramedullary fixation / D.B. Whelan, M. Bhandari, M.D. McKee, G.H. Guyatt, H.J. Kreder, D. Stephen, E.H. Schemitsch // J. Bone Joint Surg. Br. 2002. Vol. 84, No 1. P. 15-18.
11. Exposure to low-intensity ultrasound increases aggrecan gene expression in a rat femur fracture model / K.H. Yang, J. Parvizi, S.J. Wang, D.G. Lewallen, R.R. Kinnick, J.F. Greenleaf, M.E. Bolander //

Рукопись поступила 15.05.2015.

Сведения об авторах:

1. Резник Леонид Борисович – ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, д. м. н., профессор.
2. Дзюба Герман Григорьевич – ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, доцент кафедры травматологии и ортопедии, к. м. н.
3. Рожков Константин Юрьевич – ГБОУ ВПО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, очный аспирант кафедры травматологии и ортопедии.
4. Котов Дмитрий Викторович – БУЗОО «Медико-санитарная часть № 4», г. Омск, врач травматолог – ортопед.
5. Новиков Алексей Алексеевич – ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет» Минобрнауки России, профессор кафедры машиностроения и материаловедения, секция «Материаловедение и технологии конструкционных материалов», д. т. н.
6. Лебедева Дарья Александровна – ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет» Минобрнауки России, ассистент кафедры машиностроения и материаловедения, секция «Материаловедение и технологии конструкционных материалов».

Information about the authors:

1. Reznik Leonid Borisovich – the Omsk State Medical University, Head of the Department of Traumatology and Orthopaedics, Doctor of Medical Sciences, Professor.
2. Dziuba German Grigor'evich – the Omsk State Medical University, the Department of Traumatology and Orthopaedics, Associate Professor, Candidate of Medical Sciences.
3. Rozhkov Konstantin Iur'evich – the Omsk State Medical University, the Department of Traumatology and Orthopaedics, a full-time postgraduate.
4. Kotov Dmitrii Viktorovich – Budgetary Health Institution of the Omsk Region (BHIOR) Medical Unit No 4, a traumatologist-orthopedist.
5. Novikov Aleksei Alekseevich – the Omsk State Technical University, the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Materials Science and Construction Material Technology Unit, a professor of the Department, Doctor of Technical Sciences.
6. Lebedeva Dar'ia Aleksandrovna – the Omsk State Technical University, the Department of Mechanical Engineering and Materials Science, Materials Science and Construction Material Technology Unit, an assistant of the Department.