

## Исследование регионарной гемодинамики у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости при лечении в условиях комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза

Т.И. Долганова<sup>1</sup>, Т.И. Менщикова<sup>1</sup>, С.Н. Колчин<sup>1</sup>, Д.Ю. Борзунов<sup>1,2</sup>, Д.С. Моховиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Российский научный центр "Восстановительная травматология и ортопедия" им. акад. Г.А. Илизарова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Курган, Россия;

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Тюменский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Тюмень, Россия

## Regional hemodynamics in patients with femoral shaft nonunions treated with combined external fixation and intramedullary nail

T.I. Dolganova<sup>1</sup>, T.I. Menschikova<sup>1</sup>, S.N. Kolchin<sup>1</sup>, D.Yu. Borzunov<sup>1,2</sup>, D.S. Mokhovikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation;

<sup>2</sup>Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

**Цель.** Анализ периферической гемодинамики у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости при лечении в условиях комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза. **Материалы и методы.** Выделены две группы пациентов: 1 группа – 11 пациентов с деформациями на вершине псевдоартроза, лечение проведено по методике последовательного комбинированного остеосинтеза; 2 группа – 15 пациентов с псевдоартрозами, ассоциированными с укорочением бедра, лечение проведено по методике синхронного комбинированного distractionно-компрессионного остеосинтеза. Использованы методики обследования: УЗДС вен и параоссальных сосудов в зоне регенерата («НІТАСНІ» HI Vision Avius); УЗДГ (АНГИО-ПЛЮС, Москва); тетраполярная РВГ нижних конечностей (Реограф РГПА-6/12, г. Таганрог). **Результаты и обсуждение.** Объемный кровоток бедра и голени (по данным РВГ) в послеоперационном периоде не имеет различий на интактной и оперированной конечности вне зависимости от методики остеосинтеза. У всех пациентов на этапах комбинированной фиксации и фиксации аппаратом Илизарова регистрировали магистральный тип кровотока, значения линейной систолической скорости и пульсаторного индекса достоверно не отличались от значений нормы и интактной конечности, не выявлены гемодинамические критерии вазоконстрикции магистральных сосудов. «Синдром обкрадывания» дистальных сегментов за счет эффекта «функционального шунтирования» выявляли у пациентов с нестабильными металлоконструкциями, но его проявление не усиливалось после оперативного лечения у пациентов I группы. У всех пациентов по данным УЗДС в кортикальной зоне диафиза бедренной кости регистрировали выраженную цветовую картограмму артериальной и венозной компонент, значения расчетных периферических индексов, отражающих тонус сосудов, были высокими: PI = 12 ± 3,5; RI = 0,9 ± 0,1. **Выводы.** При лечении пациентов с псевдоартрозами бедренной кости с применением комбинированных методик чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза не выявлены значимые гемодинамические изменения в магистральных артериях. Вазодилатация вен, регистрируемая у пациентов при лечении в условиях комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза, является фактором риска по тромбозамболоческому осложнению. При комбинированном интрамедуллярном остеосинтезе регистрируется локальное усиление артериальной и венозной компонент параоссального кровотока в кортикальной зоне псевдоартроза.

**Ключевые слова:** регионарная гемодинамика, псевдоартроз, остеосинтез, аппарат Илизарова

**Objective** The purpose of the study was to explore peripheral hemodynamics in patients with femoral shaft nonunions treated with combined external fixation and intramedullary nail. **Material and methods** Two groups of patients were identified. Group I included 11 patients with a deformity at the apex of nonunion treated with consecutive combined osteosynthesis. Group II consisted of 15 patients with nonunions and femoral shortening treated with synchronous combined distraction-compression osteosynthesis. Methods of examination comprised duplex ultrasound of veins and paraosseous vessels at the regeneration site (HITACHI HI Vision Avius), USDG (ANGIO-PLUS, Moscow) and tetrapolar rheovasography (RVG) of lower limbs (Rheograph RGA-6/12, Taganrog). **Results and discussion** Volumetric blood flow of the femur and tibia measured postoperatively with RVG showed no differences in the intact and operated limb whatever technique was applied. In all patients, major blood flow was recorded at stages of combined fixation and Ilizarov fixation, linear systolic velocity and pulsatility index were not significantly different from normal and intact limb values, hemodynamic criteria of vasoconstriction of major vessels were not identified. The steal syndrome of distal segments due to functional bypass was observed in patients with unstable metal constructs and did not aggravate after surgical treatment in Group I. Duplex ultrasound scan of the femoral shaft cortical bone showed expressed arterial and venous color map in all patients with high peripheral indices reflecting vascular tone and measuring PI = 12 ± 3.5; RI = 0.9 ± 0.1. **Conclusion** No significant hemodynamic changes were detected in major arteries during treatment of patients with femoral nonunions using combined techniques of external fixation and intramedullary nail. Vasodilatation of veins recorded during treatment of patients with femoral nonunions using combined techniques of external fixation and intramedullary nail was determined as a risk factor for venous thromboembolism. A local increase in the arterial and venous paraosseous blood flow was recorded at the cortical site of nonunion with combined intramedullary osteosynthesis.

**Keywords:** regional hemodynamics, nonunion, osteosynthesis, Ilizarov external fixation

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в клинической практике применяются комбинированные методики чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза при реабилитации

пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости [1, 2, 3]. Рассверливание костномозгового канала является обязательным этапом оперативного пособия

перед имплантацией интрамедуллярного стержня. В работах ряда авторов доказано, что рассверливание костномозгового канала не нарушает внутрикостный кровоток [4], сопровождается усилением кортикального кровотока и остеогенного потенциала [5] и приводит к распространенному кровенаполнению окружающих кость мышц [6] с сохранением данного эффекта до 12 недель [7]. В экспериментальной модели сочетание травматического повреждения костной и мягких тканей при фиксации перелома с использованием интрамедуллярного гвоздя сопровождалось усилением мышечного кровотока на фоне уменьшения костного кровотока [8]. По данным других авторов, использование интрамедуллярного гвоздя приводит к снижению в 2 раза кровотока по а. nutriticia [9] и уменьшению кортикального кровотока в течение 4 недель [10]. Также отмечено возможное сочетание участков сниженного кортикального кровотока с локальным его увеличением в зоне перелома кости [11].

В клинической практике усиление кровотока по системе внутрикостных и периостальных сосудов получило положительное признание в лечении пациентов с псевдоартрозами, что обусловлено первостепенным значением периоста во вторичном сращении трубчатых костей и последующим ремоделированием эндостальной сосудистой сети [12, 13]. Результаты исследования периферической гемодинамики и парциального давления кислорода в тканях методом транскутанной полярографии не имеют статистически значимых отклонений и, по сути, отражают механизм травмирования конечности

при переломах кости без влияния интрамедуллярного стержня на регионарную гемодинамику [14].

Травматические повреждения длинных трубчатых костей нижних конечностей сопровождаются тромбозом глубоких вен нижних конечностей в 7,4 % случаев [15]. У пациентов, прооперированных по поводу переломов костей нижних конечностей, частота тромбозов вен нижних конечностей составляет от 33 до 53 % [16]. Отсутствие движений коленного сустава полностью исключает работу малой подкожной вены голени, вызывая серьезные расстройства венозной гемодинамики [17]. В развитии клинически значимого тромбоза после чрескостного остеосинтеза ведущую роль играют нарушения венозной гемодинамики, вызванные дисфункцией мышечно-венозной помпы. При использовании интрамедуллярного остеосинтеза пациенты имеют возможность нагружать поврежденную конечность при ходьбе и осуществлять движения суставов. Применение чрескостного остеосинтеза предусматривает возможность осевой нагрузки, однако движения смежных суставов в данном случае значительно ограничены [18].

В доступной литературе нами не было найдено публикаций, посвященных возможным изменениям со стороны артериального и венозного кровотока нижних конечностей при комбинированном применении методик чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза.

**Цель** настоящей работы – анализ периферической гемодинамики у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости при лечении в условиях комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа основана на опыте лечения 26 пациентов с псевдоартрозами и дефектами диафиза бедренной кости, пролеченных с применением методик комбинированного чрескостного и блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза в период с 2008 по 2016 год. Все пациенты имели посттравматическую этиологию псевдоартрозов, давность с момента первичной травмы варьировала от 1 года до 13 лет. Исходя из клинкорентгенологической картины и методики остеосинтеза пациенты были разделены на две группы.

У 11 пациентов (I группа) с деформациями на вершине псевдоартроза лечение проведено по методике последовательного комбинированного остеосинтеза. Методику выполняли в две операционные сессии. Первое оперативное пособие заключалось в применении чрескостного остеосинтеза аппаратом Илизарова с последующей дозированной коррекцией деформации бедра. После восстановления оси конечности проводили антеградный блокируемый остеосинтез и демонтаж аппарата.

У 15 пациентов (II группа) с псевдоартрозами, ассоциированными с укорочением бедра, лечение проведено по методике синхронного комбинированного дистракционно-компрессионного остеосинтеза. Выполнение данной методики предполагало две операционные сессии. Первое оперативное пособие заключалось в одновременном монтаже аппарата и имплантации стержня с выполнением остеотомии бедренной кости для удлинения. С 5-7 суток после операции начинали дистракцию с темпом 1,0-1,5 мм/сут. для

компенсации укорочения. После восстановления длины конечности выполняли блокирование стержня по статической схеме, аппарат Илизарова демонтировали.

В период стационарного лечения тромбозов глубоких вен нижних конечностей не было зарегистрировано ни в одном клиническом наблюдении. Всем пациентам профилактику тромбозов проводили согласно протоколу ведения больных, разработанному для профилактики тромбэмболии легочной артерии при хирургических вмешательствах – адаптированный вариант отраслевого стандарта (ГОСТ 91500.11.0007-2003), утвержденный Приказом МЗ РФ № 233 от 09.06.2003 г.

Инструментальное исследование периферической гемодинамики выполняли:

- у пациентов I группы после первой операционной сессии на этапе фиксации в аппарате Илизарова и после второй операционной сессии - имплантации стержня;
- у пациентов II группы после первой операционной сессии на этапе комбинированного остеосинтеза после окончания дистракции и после второй операционной сессии - снятия аппарата Илизарова и установки запираемых винтов.

#### *Методики обследования*

1. Дуплексное сканирование вен и ультразвуковое исследование сосудов мягких тканей и надкостницы в зоне регенерата выполняли на ультразвуковом сканере «НІТАСНІ» HI Vision Avius. По общепринятой методике использовали мультисекторный линейный датчик с частотой 5-12 МГц в В-режиме с применением цвето-

вого и энергетического доплеровского картирования и доплеровского спектрального анализа кровотока сосудов.

2. Ультразвуковая доплерография артерий (АНГИО-ПЛУС, Москва). Локацию проводили в стандартных точках ультразвуковым датчиком с частотой 4 МГц и 8 МГц у пациентов в положении лежа на спине. Для количественного анализа доплерограмм при постпроцессорной обработке сигнала оценивали максимальную (пиковую) скорость прямого кровотока ( $V_{max}$ ) и пульсаторный индекс (PI).

3. Тетраполярную реовазографию нижних конечностей выполняли при помощи компьютерной установки Реограф полианализатор РГПА-6/12 (г. Таганрог), используя циркулярные электроды. По данным РВГ были проанализированы следующие показатели:

- реографический показатель, отражающий кровенаполнение тканей, с учетом их базисного сопротивления;
- показатель модуля упругости (МУ, %) и показатель эластичности сосудов, отражающие эластико-тонические свойства крупных артериальных сосудов;
- дикротический индекс (ДКИ, %) и показатель периферического сопротивления сосудов (ППСС, %), отражающие преимущественно величину сосудистого

сопротивления, определяемого тонусом мелких сосудов исследуемой области (артериол, капилляров);

- диастолический индекс (ДСИ, %), отражающий преимущественно состояние венул и вен. Увеличение его свидетельствует о гипотонусе вен и затрудненном венозном оттоке.

Статистическая обработка данных производилась с помощью пакета анализа данных Microsoft EXCEL-2000 и AtteStat. Проверка распределения профилей асимметрии расчетных показателей интактной конечности (РВГ бедра и голени, УЗДГ артерий), где число наблюдений составило  $n = 26$  по модифицированным критериям Колмогорова, Смирнова, критериям асимметрии и эксцесса, показала, что гипотеза нормальности отклоняется, т.е. исследуемые показатели не подчиняются «закону нормального распределения». Количественные характеристики выборочных совокупностей представлены в таблице в виде медианы с уровнем  $25\% \div 75\%$  процентилей и числа наблюдений ( $n$ ), равного числу обследованных. Результаты исследований обработаны методом вариационной статистики, применяемом для малых выборок, с принятием уровня значимости  $p \leq 0,05$ . Статистическую значимость различий определяли с использованием критерия Вилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлены результаты реовазографии бедра и голени, в таблице 2 – показатели УЗДГ нижних конечностей у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости на этапах лечения комбинированными методиками чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза.

По данным реовазографии нижних конечностей у пациентов до лечения, как при нестабильном остеосинтезе, так и при отсутствии инородных тел в бедренной кости, достоверных различий показателей РВГ бедра и голени больной и интактной конечностей выявлено не было (табл. 1). Только у пациентов I группы на этапе фиксации аппаратом по данным РВГ на бедре регистрировали увеличение расчетных параметров, отражающих преимущественно величину сосудистого сопротивления (ДКИ, в среднем, на 80 %) и состояние венул и вен (ДСИ, в среднем, на 60 %). При контрольном обследовании пациентов через 3 месяца после снятия аппарата по данным РВГ не выявлено отклонений от нормы всех расчетных показателей оперированной и интактной конечностей.

У пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости до лечения и в условиях комбинированного остеосинтеза при графической регистрации доплерограмм на aa. femoralis, poplitea, tibialis post., tibialis ant. на больной и интактной конечностях регистрировали трехкомпонентный сигнал, характерный для неизмененного магистрального кровотока. Значения линейной систолической скорости кровотока ( $V_{max}$ ) и пульсаторного индекса на поврежденной конечности достоверно не отличались от значений интактной конечности (табл. 2). При наличии у пациентов ранее установленных нестабильных металлоконструкций при сохраненном магистральном типе кровотока регистрировали снижение  $V_{max}$ , в среднем, на 30 % в бассейне передней большеберцовой артерии.

У пациентов I и II групп на этапах фиксации аппаратом Илизарова и при комбинированной фиксации регистрировали магистральный тип кровотока в артериях нижней конечности, значения линейной систолической скорости кровотока ( $V_{max}$ ) и пульсаторного индекса достоверно не отличались от значений нормы и интактной конечности.

По данным УЗДС вен у пациентов I и II группы на этапе фиксации аппаратом Илизарова и при комбинированном остеосинтезе на оперированной конечности регистрировали УЗ картину вазодилатации поверхностных и глубоких вен оперированной конечности. Наружная подвздошная вена, общая, поверхностная и глубокая бедренные вены на всем доступном исследованию протяжении были проходимы, расширены, стенки их не утолщены, выявляли асимметрию диаметра просвета до 20-35 %. Компрессивность вен была сохранена, отмечали фазный кровоток, связанный с дыханием. Основной венозный отток на оперированной конечности осуществлялся через большую подкожную вену с его усилением и асимметрией скоростных показателей венозного оттока на 40-55 %. Признаков клапанной недостаточности в общей бедренной и большой подкожной венах выявлено не было. По данным УЗИ определяли расширение подколенной, суральных, поверхностных, перфорантных и глубоких вен голени. Вены хорошо сжимались датчиком. Стенки их не были утолщены, в просвете сосудов дополнительных масс выявлено не было. Цветовую картограмму кровотока определяли только при компрессии датчиком. Скорость венозного оттока по задней большеберцовой вене была снижена, отмечали слабоположительную пробу с дистальной пальцевой компрессией.

По данным УЗДС при отсутствии инородных тел в зоне псевдоартроза диафиза бедренной кости определяли цветовую картограмму кровотока единичных артериол в кортикальной зоне и в прилежащих мягких

тканях. Значения пульсаторного индекса (PI), отражающего тонус сосудов, составляли  $3,29 \pm 0,31$ . При наличии нестабильных металлоконструкций регистрировали усиление цветовой картограммы артериальной и венозной компонент в кортикальной зоне псевдоартроза и в прилежащих мягких тканях. Значения пульсаторного индекса были увеличены на 50-70 % ( $PI = 5,26 \pm 0,44$ ), что свидетельствовало о повышенном тонусе мелких сосудов.

У пациентов I и II группы после первой операционной сессии регистрировали цветовую картограмму усиления артериального и венозного компонентов в кортикальной зоне и прилежащих мягких тканях, значения расчетных периферических индексов, отражающих тонус сосудов, были высокими:  $PI = 12 \pm 3,5$ ;  $RI = 0,9 \pm 0,1$  (рис. 1). В процессе лечения комбинированным остеосинтезом степень выраженности сосудистого рисунка была больше у пациентов с исходно нестабильным остеосинтезом.

Таблица 1

Показатели реовазограмм бедра и голени у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости на этапах лечения комбинированными методиками чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза (медиана; 0,25 ÷ 0,75 процентиль)

	БИ	РП	МУ	ДКИ	ДСИ	ПЭС	ППСС
<b>Интактная конечность (n = 52)</b>							
бедро	113 (86 ÷ 175)	0,16 (0,12 ÷ 0,20)	15,0 (13,0 ÷ 16,5)	45,0 (31,5 ÷ 55,5)	48,0 (37,5 ÷ 66,5)	125,0 (109,5 ÷ 138,0)	89,0 (79,5 ÷ 97,0)
голень	279 (212 ÷ 343)	0,44 (0,38 ÷ 0,52)	18,0 (15,0 ÷ 19,0)	26,0 (18,0 ÷ 33,0)	33,0 (26,5 ÷ 37,0)	127,0 (115,0 ÷ 147,5)	65,0 (56,0 ÷ 72,5)
<b>До лечения больная конечность</b>							
Отсутствие инородных тел (n = 10)							
бедро	107,7 (83,7 ÷ 132,6)	0,14 (0,13 ÷ 0,19)	14,5 (11,5 ÷ 16,5)	42,5 (35,5 ÷ 49,0)	49,5 (38,5 ÷ 61,5)	121,5 (106 ÷ 146)	83 (72,5 ÷ 90)
голень	275 (220 ÷ 289)	0,44 (0,32 ÷ 0,59)	16,5 (15,0 ÷ 19,0)	25,5 (17,0 ÷ 32,5)	28,5 (21,5 ÷ 34,5)	126,0 (111,5 ÷ 140)	56,0 (47,0 ÷ 68,5)
Нестабильный металлоостеосинтез (n = 16)							
бедро	115,3 (99,8 ÷ 166,1)	0,13 (0,10 ÷ 0,15)	13,0 (10,0 ÷ 16,0)	42,0 (39,0 ÷ 45,0)	47,0 (44,0 ÷ 65,0)	113,0 (104 ÷ 116)	87 (59,0 ÷ 94,0)
голень	338 (305,2 ÷ 463,1)	0,44 (0,38 ÷ 0,47)	14,0 (11,0 ÷ 16,0)	21,0 (12,0 ÷ 28,0)	31,0 (26,0 ÷ 44,0)	119,0 (92,0 ÷ 120,0)	52,0 (47,0 ÷ 59,0)
<b>I группа (n = 11)</b>							
Этап: фиксация аппаратом							
бедро	123,3 (110 ÷ 156)	0,14 (0,07 ÷ 0,25)	17,5 (12,0 ÷ 20,0)	77,5* (58,0 ÷ 84,0)	88,5* (63,0 ÷ 104,0)	105,5 (96,0 ÷ 134,0)	102,0 (79,0 ÷ 116,0)
голень	216,8 (162,3 ÷ 258)	0,46 (0,25 ÷ 0,53)	18,0 (15,0 ÷ 22,0)	25,5 (15,0 ÷ 33,0)	26,5 (18,0 ÷ 48,0)	128,0 (113,0 ÷ 165,0)	77,0 (62,5 ÷ 78,5)
Этап: интрамедуллярная фиксация							
бедро	141,5 (84,2 ÷ 143,9)	0,14 (0,06 ÷ 0,20)	15,5 (13,0 ÷ 17,0)	44,0 (33,0 ÷ 48,5)	50,0 (37,0 ÷ 58,0)	111,0 (96,5 ÷ 124,0)	109,0 (75,0 ÷ 113,5)
голень	298,7 (247 ÷ 322,5)	0,40 (0,23 ÷ 0,44)	18,0 (17,0 ÷ 22,0)	22,0 (19,0 ÷ 33,0)	31,0 (21,0 ÷ 34,5)	123,0 (106,0 ÷ 145,0)	67,0 (58,0 ÷ 75,5)
<b>II группа (n = 15)</b>							
Этап: фиксация «аппарат + стержень»							
бедро	121,5 (107 ÷ 152)	0,14 (0,11 ÷ 0,19)	16,3 (12,0 ÷ 18,4)	49,4 (44,0 ÷ 65,0)	53,5 (47,0 ÷ 74,5)	129,5 (112,5 ÷ 140,5)	115,5 (107 ÷ 134,0)
голень	302,0 (258 ÷ 388)	0,45 (0,28 ÷ 0,55)	18,4 (15,5 ÷ 20,5)	20,0 (17,0 ÷ 38,0)	27,5 (22,5 ÷ 52,0)	133,4 (115 ÷ 144,5)	75,5 (67,9 ÷ 79,0)
Этап: блокированный стержень							
бедро	138,5 (117 ÷ 168)	0,12 (0,10 ÷ 0,14)	15,5 (14,0 ÷ 16,0)	43,5 (37,0 ÷ 45,0)	50,5 (44,0 ÷ 69,5)	122,5 (110,5 ÷ 144,5)	111,5 (106 ÷ 120,0)
голень	280,9 (248 ÷ 376)	0,41 (0,23 ÷ 0,49)	19,0 (17,5 ÷ 20,0)	25,0 (20,5 ÷ 38,0)	27,5 (23,5 ÷ 38,0)	124,5 (112 ÷ 156,5)	70,5 (69,5 ÷ 76,0)
Контроль через 3 месяца (n = 16)							
бедро	92,2 (75,4 ÷ 131,5)	0,17 (0,12 ÷ 0,27)	11,5 (10,0 ÷ 15,5)	48,0 (33,0 ÷ 49,0)	48,5 (37,0 ÷ 50,0)	113,0 (97,0 ÷ 136,0)	108,0 (75,0 ÷ 115,5)
голень	235,5 (190 ÷ 345,0)	0,47 (0,32 ÷ 0,51)	17,5 (15,5 ÷ 19,9)	22,0 (18,8 ÷ 39,4)	27,0 (24,5 ÷ 44,0)	117,0 (105,0 ÷ 132,5)	69,0 (52,0 ÷ 77,1)

Примечание: \* – показана достоверность ( $p \leq 0,05$ ) различия относительно значений интактной конечности до лечения. БИ (ом) – базовый импеданс тканей; РП (отн. ед.) – реографический показатель с учетом импеданса тканей; МУ (%) – модуль упругости; ППСС (%) – показатель периферического сопротивления сосудов; ДСИ (%) – диастолический индекс; ДКИ (%) – дикротический индекс; n – число наблюдений.



Таблица 2

Показатели УЗДГ нижних конечностей у пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости на этапах лечения методиками комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза

ОБА		ГАБ		ПдкА		ЗББА		ПББА		ТАС	
Vmax см/сек	PI	Vmax см/сек	PI	Vmax см/сек	PI	Vmax см/сек	PI	Vmax см/сек	PI	Vmax см/сек	PI
<b>Интактная конечность (n = 26)</b>											
72,6 (55,0 ÷ 84,0)	1,62 (1,01 ÷ 1,95)	68,9 (54,0 ÷ 71,2)	1,51 (1,11 ÷ 1,64)	48,2 (40,1 ÷ 59,6)	1,49 (1,29 ÷ 1,84)	55,9 (42,9 ÷ 79,7)	2,02 (1,44 ÷ 2,22)	44,9 (33,9 ÷ 68,7)	2,12 (1,34 ÷ 2,33)	54,9 (41,8 ÷ 78,7)	2,48 (1,44 ÷ 2,62)
<b>До лечения больная конечность (n = 26)</b>											
<b>Отсутствие инородных тел (n = 10)</b>											
70,9 (58,0 ÷ 82,0)	1,69 (1,11 ÷ 1,98)	66,9 (54,0 ÷ 78,2)	1,57 (1,12 ÷ 1,71)	58,2 (42,1 ÷ 69,1)	1,89 (1,21 ÷ 1,96)	56,9 (40,9 ÷ 70,7)	1,88 (1,22 ÷ 2,12)	49,9 (38,9 ÷ 61,7)	2,02 (1,39 ÷ 2,37)	54,7 (45,8 ÷ 76,7)	2,38 (1,30 ÷ 2,52)
<b>Нестабильный металлоостеосинтез (n = 16)</b>											
71,9 (55,0 ÷ 79,0)	1,69 (1,21 ÷ 1,82)	64,9 (55,0 ÷ 71,8)	1,66 (1,22 ÷ 1,74)	55,2 (43,1 ÷ 62,1)	1,59 (1,31 ÷ 1,76)	53,9 (42,9 ÷ 71,7)	2,88 (1,62 ÷ 3,02)	29,9* (18,9 ÷ 41,7)	2,42 (1,69 ÷ 2,77)	34,7* (25,8 ÷ 46,7)	2,08 (1,80 ÷ 2,53)
<b>I группа (n = 11)</b>											
<b>Этап: фиксация аппаратом</b>											
73,9 (58,0 ÷ 82,0)	1,49 (1,33 ÷ 1,77)	54,9 (45,0 ÷ 74,8)	1,56 (1,22 ÷ 1,84)	35,2 (23,1 ÷ 52,4)	1,64 (1,31 ÷ 1,88)	52,7 (41,9 ÷ 66,7)	2,44 (1,77 ÷ 2,98)	30,9* (21,1 ÷ 41,9)	2,11 (1,74 ÷ 2,34)	37,8* (29,8 ÷ 49,9)	2,22 (1,81 ÷ 2,64)
<b>Этап: интрамедуллярная фиксация</b>											
74,9 (51,0 ÷ 85,0)	1,77 (1,44 ÷ 1,95)	64,9 (47,0 ÷ 79,7)	1,26 (1,02 ÷ 1,88)	55,2 (29,2 ÷ 82,4)	1,94 (1,41 ÷ 2,77)	59,7 (41,7 ÷ 76,9)	2,01 (1,88 ÷ 3,55)	39,9 (28,1 ÷ 61,9)	2,11 (1,74 ÷ 2,34)	37,8 (29,8 ÷ 69,9)	2,22 (1,81 ÷ 2,64)
<b>II группа (n = 15)</b>											
<b>Этап: фиксация «аппарат + стержень»</b>											
77,2 (60,0 ÷ 88,0)	1,79 (1,53 ÷ 2,05)	65,1 (44,0 ÷ 75,5)	2,12 (1,49 ÷ 2,29)	55,9 (33,8 ÷ 70,0)	1,75 (1,34 ÷ 1,99)	55,1 (44,2 ÷ 70,0)	2,44 (1,79 ÷ 2,69)	40,2 (30,9 ÷ 62,0)	2,88 (1,99 ÷ 3,09)	45,4 (30,9 ÷ 75,9)	3,81 (2,80 ÷ 4,24)
<b>Этап: заблокированный стержень</b>											
74,2 (61,0 ÷ 89,0)	1,69 (1,55 ÷ 2,11)	55,1 (40,0 ÷ 72,9)	1,44 (1,29 ÷ 1,67)	53,9 (38,8 ÷ 72,0)	1,59 (1,40 ÷ 1,77)	48,2 (40,2 ÷ 66,0)	2,34 (1,80 ÷ 2,55)	41,2 (35,9 ÷ 66,4)	2,18 (1,86 ÷ 2,44)	43,4 (35,9 ÷ 65,9)	2,33 (2,08 ÷ 2,54)
<b>Контроль через 3 месяца (n = 16)</b>											
76,1 (61,9 ÷ 80,1)	1,30 (1,21 ÷ 1,54)	75,1 (50,0 ÷ 83,1)	1,64 (1,41 ÷ 1,81)	50,9 (31,8 ÷ 68,1)	1,79 (1,51 ÷ 1,92)	58,0 (41,3 ÷ 68,3)	2,44 (1,99 ÷ 2,65)	41,4 (36,9 ÷ 56,9)	2,16 (1,94 ÷ 2,39)	53,4 (39,4 ÷ 70,0)	2,50 (2,21 ÷ 2,87)

Примечание: \* – показана достоверность ( $p \leq 0,05$ ) различия относительно значений интактной конечности до лечения. Vmax (см/сек) – максимальная линейная скорость кровотока; PI – пульсаторный индекс; n – число наблюдений.

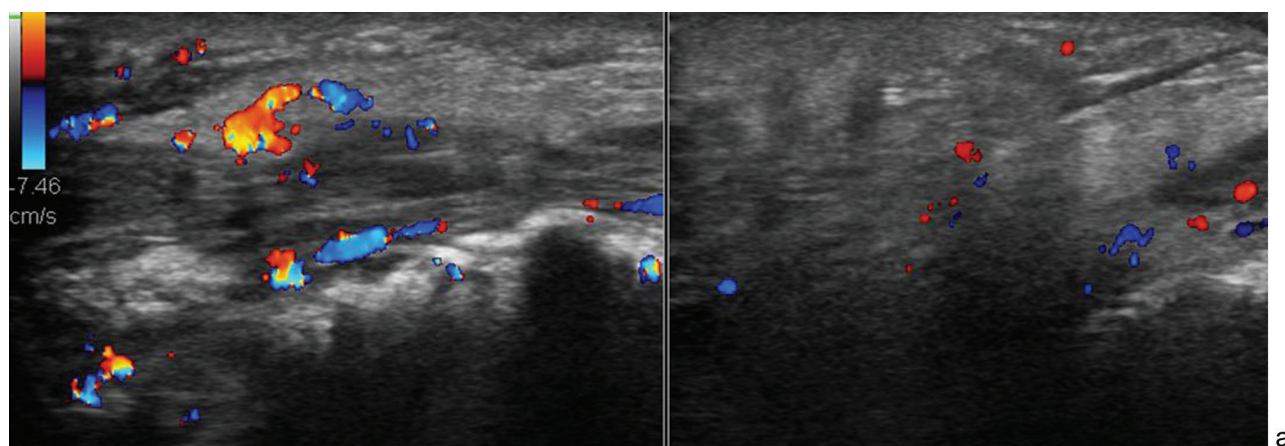
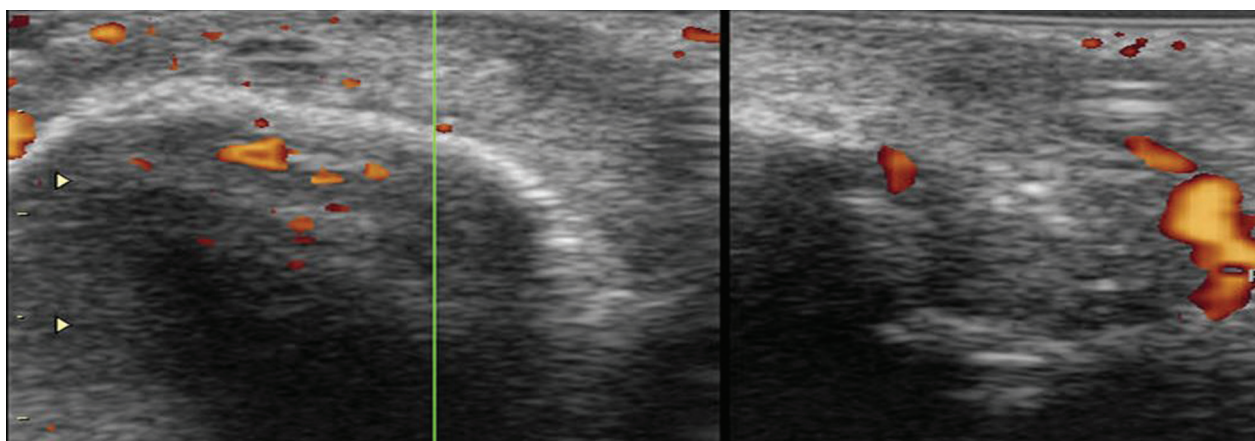


Рис. 1. Цветовая картограмма артериальной и венозной компонент: а – сканирование вдоль длинной оси сегмента, визуализируется развитая сосудистая сеть в зоне дефекта



Продолжение рис. 1. Цветовая картограмма артериальной и венозной компонент: б – косо-диагональное сканирование в области дефекта, визуализируются фрагменты регенерата и сосудистые ветки  $d = 3-5$  мм

На втором оперативном этапе по данным УЗДС в зоне псевдоартроза диафиза бедра регистрировали цветовую

картограмму уменьшения артериальной и венозной компонент в кортикальной зоне и прилежащих мягких тканях.

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Ходьба и осевая нагрузка при фиксации бедра методом чрескостного остеосинтеза (аппаратом Илизарова) осуществляется пациентами с ограничением движений коленного сустава оперированной конечности, что способствует развитию венозного стаза за счет нарушения функции мышечно-венозной помпы [19]. Это подтверждается данными реовазографии – регистрируется увеличение расчётных параметров, отражающих преимущественно величину сосудистого сопротивления и состояние венул и вен, и интерпретируется как повышение периферического сопротивления сосудов при гипотонусе вен, затруднении венозного оттока.

При интрамедуллярной и комбинированной фиксации бедра с сохранением движений коленного сустава расчетные показатели реовазографии, отражающие периферический тонус сосудов и венозный отток, достоверно не отличались от значений нормы и показателей контралатеральной конечности, но по данным УЗДС отмечалась дилатация вен. Венозный стаз, сопровождающийся дилатацией вен и венозной гипертензией, создаёт благоприятные условия для формирования поздних тромбэмболических осложнений. Ранняя функциональная нагрузка при интрамедуллярном остеосинтезе позволяла увеличивать амплитуду активных движений суставов поврежденной конечности и способствовала нормализации венозной гемодинамики, что предупреждало развитие тромбоза.

Полученные значения реовазограмм при лечении пациентов с псевдоартрозами диафиза бедренной кости на этапах комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза согласуются с данными авторов, полученными при обследовании пациентов с разными видами остеосинтеза костей голени [20]. Объёмный кровоток бедра и голени (по данным РВГ) в послеоперационном периоде не имеет различий на интактной и оперированной конечности вне зависимости от методики остеосинтеза.

По данным УЗДГ на всех этапах лечения в условиях комбинированного чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза не выявлено гемодинамических критериев вазоконстрикции магистральных сосудов,

описанных в литературе у пациентов с диафизарными переломами длинных трубчатых костей конечностей в остром периоде и первые 5-10 дней после остеосинтеза [21, 22, 23].

Полученные результаты согласуются с данными других исследований, где показано, что при интрамедуллярном остеосинтезе к концу второй недели после остеосинтеза восстанавливается фазность и скоростные параметры кровотока, отсутствует вазодилатация магистральных сосудов [20].

Отмеченное снижение линейной скорости кровотока у пациентов I группы на этапе фиксации аппаратом Илизарова, в среднем на 30 %, в бассейне передней большеберцовой артерии может быть связано с ограничением регионарного кровообращения на голени и стопе в условиях снижения их функциональной активности. Снижение кровоснабжения дистальных сегментов (голени – при костной патологии бедра, стопы - при переломах костей голени) интерпретируется как формирование синдрома «обкрадывания» за счет возникновения эффекта «функционального шунтирования» в области травмы [25, 26]. Аналогичные изменения регистрировали у пациентов с нестабильным металлоостеосинтезом, но их проявление не усиливалось после фиксации аппаратом Илизарова у пациентов I группы. У пациентов II группы в условиях комбинированной фиксации «синдром обкрадывания» не был выявлен.

На этапах фиксации аппаратом Илизарова, интрамедуллярным стержнем или при их сочетании в организме отсутствует потребность в защитном механизме перестройки адаптивного потенциала в целях решения задачи сохранения его жизненно важных функций [26].

Полученные результаты, подтверждающие усиление кортикального кровотока и окружающих кость мышц, согласуются с данными других авторов [5, 6, 7]. Повышенный тонус мелких сосудов надкостницы и прилежащих мягких тканей является компенсаторной реакцией сосудистой системы на операционную травму. За счет вазоконстрикции уменьшается перфузия и отек тканей, но может развиваться синдром гемореологической недостаточности, проявляющийся

в уменьшении индекса доставки кислорода к тканям [26]. Усиление выраженности сосудистого рисунка у пациентов с исходно нестабильным вариантом ком-

бинированного остеосинтеза свидетельствовало о высоком уровне остеогенеза при использовании данной методики лечения.

#### ВЫВОДЫ

1. Использование технологии чрескостного остеосинтеза, блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза и их комбинаций сопровождается усилением кортикального кровотока и кровотока в окружающих кость мышцах в зоне псевдоартроза.

2. По данным УЗДГ и РВГ не выявлена реакция магистрального русла при использовании комбинированной технологии чрескостного и интрамедуллярного остеосинтеза.

3. При комбинированном интрамедуллярном остеосинтезе регистрируется локальное усиление артериальной и венозной компонент параоссального кровотока в кортикальной зоне псевдоартроза.

4. При использовании чрескостного и комбинированного остеосинтеза регистрируется вазодилатация вен, что создаёт неблагоприятные условия, способствует формированию поздних тромбозомболических осложнений и требует специфической профилактики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Комбинированное и последовательное использование чрескостного и блокируемого интрамедуллярного видов остеосинтеза при лечении пациентов с ложными суставами, дефектами и деформациями : мед. технология / ФГУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена Росмедтехнологий», ФГУ «УНИИТО им. В.Д. Чаплина Росмедтехнологий» ; авт. мед. технологии: Л.Н. Соломин, А.Н. Челноков, А.П. Варфоломеев, С.А. Ласунский, К.В. Закревский, Р.Р. Шарафиев. М., 2010. 26 с.
2. Borzunov D.Y., Mitrofanov A.I., Kolchev O.V. Use of transosseous and intramedullary blocked osteosynthesis in the treatment of patients with consequences of fractures of long bones // J. Orthop. Trauma Surg. Relat. Res. 2011. Vol. 6, No 3. P. 17-22 URL: <https://www.jotsrr.org/archive/jotsrr-volume-6-issue-3-year-2011.html> (accessed 10.12.2017).
3. Экспериментально-клиническое обоснование комбинированного остеосинтеза при замещении дефектов длинных костей (предварительное сообщение) / А.А. Еманов, А.И. Митрофанов, Д.Ю. Борзунов, С.Н. Колчин // Травматология и ортопедия России. 2014. № 1. С. 16-23.
4. Cortical perfusion and local fat occlusion after intramedullary nailing of the ovine tibia – comparison of different surgical procedures / C.A. Mueller, V. Schlegel, F. Hoegel, C. Eckhardt, U. Schlegel, B.A. Rahn, U. Pfister, N.P. Suedkamp // Injury. 2009. Vol. 40, No 7. P. 760-766. DOI: 10.1016/j.injury.2009.01.106.
5. Bedi A., Karunakar M.A. Physiologic effects of intramedullary reaming // Instr. Course Lect. 2006. Vol. 55. P. 359-366.
6. Schemitsch E.H., Kowalski M.J., Swiontkowski M.F. Soft-tissue blood flow following reamed versus unreamed locked intramedullary nailing: a fractured sheep tibia model // Ann. Plast. Surg. 1996. Vol. 36, No 1. P. 70-75.
7. Vécsei V., Hajdu S., Negrin L.L. Intramedullary nailing in fracture treatment: history, science and Küntscher's revolutionary influence in Vienna, Austria // Injury. 2011. Vol. 42, No Suppl. 4. P. S1-S5. DOI: 10.1016/S0020-1383(11)00419-0.
8. The effect of muscle contusion on cortical bone and muscle perfusion following reamed, intramedullary nailing: a novel canine tibia fracture model / H. Koo, T. Hupel, R. Zdero, A. Tov, E.H. Schemitsch // J. Orthop. Surg. Res. 2010. Vol. 5. P. 89. DOI: 10.1186/1749-799X-5-89.
9. Early changes in nutrient artery blood flow following tibial nailing with and without reaming: a preliminary study / M.R. Brinker, S.D. Cook, J.N. Dunlap, P. Christakis, M.N. Elliott // J. Orthop. Trauma. 1999. Vol. 13, No 2. P. 129-133.
10. Nakamura T., Itoman M., Yokoyama K. Cortical revascularization after reamed and unreamed intramedullary nailing in the rabbit femur: a microangiographic histometric analysis // J. Trauma. 1999. Vol. 47, No 4. P. 744-751.
11. Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology / M.R. Bong, F.J. Kummer, K.J. Koval, K.A. Egol // J. Am. Acad. Orthop. Surg. 2007. Vol. 15, No 2. P. 97-106.
12. Pape H.C., Giannoudis P. The biological and physiological effects of intramedullary reaming // J. Bone Joint Surg. Br. 2007. Vol. 89, No 11. P. 1421-1426. DOI: 10.1302/0301-620X.89B11.19570.
13. Pfeifer R., Sellei R., Pape H.C. The biology of intramedullary reaming // Injury. 2010. Vol. 41, No Suppl. 2. P. S4-S8. DOI: 10.1016/S0020-1383(10)70002-4.
14. Tissue perfusion after intramedullary nailing of tibial shaft fracture / T. Lindström, E. Gullichsen, A. Aho, H. Helenius, J. Niinikoski // Ann. Chir. Gynaecol. 1998. Vol. 87, No 4. P. 317-320.
15. Shukurov E. Ultrasound diagnosis of the lower extremity deep vein thrombosis in the patients with multiple fractures of the bones of the lower extremities // European Science Review. 2016. No 7-8. P. 162-164.
16. Асеева И.А., Зубарев А.Р., Стагкевич А.Р. Ультразвуковая диагностика тромбозов вен нижних конечностей у травматологических больных // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2001. № 2. С. 77-82.
17. Думпе Э.П., Уханов Ю.И., Швальб П.Г. Физиология и патология венозного кровообращения нижних конечностей. М. : Медицина, 1982. 168 с.
18. Нарушения венозной гемодинамики и тромбозомболические осложнения при остеосинтезе переломов нижних конечностей / В.В. Лукьянов, А.В. Бондаренко, А.А. Бондаренко, В.А. Пелеганчук // Политравма. 2009. № 4. С. 32-38.
19. Особенности регионарной гемодинамики при накомстом остеосинтезе диафизарных переломов костей голени / В.В. Писарев, С.Е. Львов, И.В. Васин, Э.В. Тихомолова // Гений ортопедии. 2012. № 4. С. 29-33.
20. Писарев В.В., Львов С.Е., Васин И.В. Показатели регионарной гемодинамики раннего послеоперационного периода при остеосинтезе переломов костей голени // Вестник Ивановской медицинской академии. 2012. Т. 17, № 4. С. 34-37.
21. Инфекционные осложнения послеоперационной раны при металлоостеосинтезе закрытых переломов длинных трубчатых костей / В.В. Писарев, С.Е. Львов, Ю.А. Ошурков, В.В. Калущков, В.Н. Кулыгин, А.С. Львов // Травматология и ортопедия России. 2008. № 2. С. 14-19.
22. Исследование регионарной макрогемодинамики в процессе иммобилизации диафизарных переломов плечевой кости стержневыми и спице-стержневыми аппаратами внешней фиксации / С.А. Хайрединов, К.С. Юсупов, С.И. Киреев, В.П. Морозов // Политравма. 2007. № 1. С. 59-61.
23. Исследование регионарной макрогемодинамики в процессе фиксации диафизарных переломов стержневыми аппаратами внешней фиксации / О.В. Бейдик, О.А. Царев, С.И. Киреев, К.К. Левченко, Ю.В. Трошкин, Д.В. Афанасьев // Гений ортопедии. 2004. № 4. С. 46-48.
24. Регионарная гемодинамика при различных видах оперативного лечения диафизарных переломов костей голени / В.В. Писарев, С.Е. Львов, И.В. Васин, Э.В. Тихомолова // Травматология и ортопедия России. 2012. № 1 (63). С. 36-42.
25. Коэффициент диффузии кислорода в волокнах скелетных мышц / В.М. Беличенко, В.И. Баранов, С.В. Новосельцев, К.А. Шошенко // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2002. Т. 36, № 3. С. 31-38.
26. Лытаев С.А. Механизмы гемодинамики при повреждении нижних конечностей различной этиологии // Физиология человека. 2003. № 2. С. 92-99.

#### REFERENCES

1. Solomin L.N., Chelnokov A.N., Varfolomeev A.P., Lasunskii S.A., Zakrevskii K.A., Sharafiev R.R., comp. *Kombinirovannoe i posledovatelnoe ispolzovanie chreskostnogo i blokiruemogo intramedullarnogo vidov osteosinteza pri lechenii patientsov s lozhnymi sustavami, defektami i deformatsiyami: med. tekhnologiya* [Combined and sequential use of transosseous and locked intramedullary osteosynthesis types when treating patients with pseudoarthroses, defects and deformities: medical technology]. M., 2010. 26 p. (in Russian).



- Borzunov D.Y., Mitrofanov A.I., Kolchev O.V. Use of transosseous and intramedullary blocked osteosynthesis in the treatment of patients with consequences of fractures of long bones. *J. Orthop. Trauma Surg. Relat. Res.*, 2011, vol. 6, no. 3, pp. 17-22 Available at: <https://www.jotsrr.org/archive/jotsrr-volume-6-issue-3-year-2011.html> (accessed 10.12.2017).
- Emanov A.A., Mitrofanov A.I., Borzunov D.Iu., Kolchin S.N. Eksperimentalno-klinicheskoe obosnovanie kombinirovannogo osteosinteza pri zameshchenii defektov dlinnykh kostei (predvaritelnoe soobshchenie) [Experimental-and-clinical substantiation of combined osteosynthesis when filling long bone defects (a preliminary report)]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2014, no. 1, pp. 16-23. (in Russian)
- Mueller C.A., Schlegel V., Hoegel F., Eckhardt C., Schlegel U., Rahn B.A., Pfister U., Suedkamp N.P. Cortical perfusion and local fat occlusion after intramedullary nailing of the ovine tibia – comparison of different surgical procedures. *Injury*, 2009, vol. 40, no. 7, pp. 760-766. DOI: 10.1016/j.injury.2009.01.106.
- Bedi A., Karunakar M.A. Physiologic effects of intramedullary reaming. *Instr. Course Lect.*, 2006, vol. 55, pp. 359-366.
- Schemitsch E.H., Kowalski M.J., Swiontkowski M.F. Soft-tissue blood flow following reamed versus unreamed locked intramedullary nailing: a fractured sheep tibia model. *Ann. Plast. Surg.*, 1996, vol. 36, no. 1, pp. 70-75.
- Vécsei V., Hajdu S., Negrin L.L. Intramedullary nailing in fracture treatment: history, science and Küntscher's revolutionary influence in Vienna, Austria. *Injury*, 2011, vol. 42, no. Suppl. 4, pp. S1-S5. DOI: 10.1016/S0020-1383(11)00419-0.
- Koo H., Hupel T., Zdero R., Tov A., Schemitsch E.H. The effect of muscle contusion on cortical bone and muscle perfusion following reamed, intramedullary nailing: a novel canine tibia fracture model. *J. Orthop. Surg. Res.*, 2010, vol. 5, pp. 89. DOI: 10.1186/1749-799X-5-89.
- Brinker M.R., Cook S.D., Dunlap J.N., Christakis P., Elliott M.N. Early changes in nutrient artery blood flow following tibial nailing with and without reaming: a preliminary study. *J. Orthop. Trauma*, 1999, vol. 13, no. 2, pp. 129-133.
- Nakamura T., Itoman M., Yokoyama K. Cortical revascularization after reamed and unreamed intramedullary nailing in the rabbit femur: a microangiographic histometric analysis. *J. Trauma*, 1999, vol. 47, no. 4, pp. 744-751.
- Bong M.R., Kummer F.J., Koval K.J., Egol K.A. Intramedullary nailing of the lower extremity: biomechanics and biology. *J. Am. Acad. Orthop. Surg.*, 2007, vol. 15, no. 2, pp. 97-106.
- Pape H.C., Giannoudis P. The biological and physiological effects of intramedullary reaming. *J. Bone Joint Surg. Br.*, 2007, vol. 89, no. 11, pp. 1421-1426. DOI: 10.1302/0301-620X.89B11.19570.
- Pfeifer R., Sellei R., Pape H.C. The biology of intramedullary reaming. *Injury*, 2010, vol. 41, no. Suppl. 2, pp. S4-S8. DOI: 10.1016/S0020-1383(10)70002-4.
- Lindström T., Gullichsen E., Aho A., Helenius H., Niinikoski J. Tissue perfusion after intramedullary nailing of tibial shaft fracture. *Ann. Chir. Gynaecol.*, 1998, vol. 87, no. 4, pp. 317-320.
- Shukurov E. Ultrasound diagnosis of the lower extremity deep vein thrombosis in the patients with multiple fractures of the bones of the lower extremities. *European Science Review*, 2016, no. 7-8, pp. 162-164.
- Aseeva I.A., Zubarev A.R., Statkevich A.R. Ultrazvukovaya diagnostika trombozov ven nizhnikh konechnostei u travmatologicheskikh bolnykh [Ultrasound diagnosis thromboses of the lower limb veins in traumatological patients]. *Ultrazvukovaya i Funktsionalnaya Diagnostika*, 2001, no. 2, pp. 77-82. (in Russian)
- Dumpe E.P., Ukhano Iu.I., Shvalb P.G. *Fiziologiya i patologiya venoznogo krovoobrashcheniya nizhnikh konechnostei* [Physiology and pathology of the lower limb venous circulation]. M., Meditsina, 1982. 168 p. (in Russian)
- Lukianov V.V., Bondarenko A.V., Bondarenko A.A., Peleganchuk V.A. Narusheniya venoznoi gemodinamiki i tromboembolicheskie oslozhneniya pri osteosinteze perelomov nizhnikh konechnostei [Disorders of venous hemodynamics and thromboembolic complications for osteosynthesis of the lower limb fractures]. *Politравма*, 2009, no. 4, pp. 32-38. (in Russian)
- Pisarev V.V., Lvov S.E., Vasin I.V., Tikhomolova E.V. Osobennosti regionalnoi gemodinamiki pri nakostnom osteosinteze diafizarnykh perelomov kostei goleni [Special features of regional hemodynamics during internal osteosynthesis of diaphyseal fractures of leg bones]. *Genij Ortopedii*, 2012, no. 4, pp. 29-33. (in Russian)
- Pisarev V.V., Lvov S.E., Vasin I.V. Pokazateli regionalnoi gemodinamiki rannego posleoperatsionnogo perioda pri osteosinteze perelomov kostei goleni [Regional hemodynamics values of the early postoperative period for osteosynthesis of leg bone fractures]. *Vestnik Ivanovskoi Meditsinskoi Akademii*, 2012, vol. 17, no. 4, pp. 34-37. (in Russian)
- Pisarev V.V., Lvov S.E., Oshurkov Iu.A., Kalutskov V.V., Kulygin V.N., Lvov A.S. Infektsionnye slozhneniya posleoperatsionnoi rany pri metallosteosinteze zakrytykh perelomov dlinnykh trubchatykh kostei [Infection complications of postoperative wound for metal osteosynthesis of closed long tubular bone fractures]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2008, no. 2, pp. 14-19. (in Russian)
- Khairidinov S.A., Iusupov K.S., Kireev S.I., Morozov V.P. Issledovanie regionalnoi makrohemodinamiki v protsesse immobilizatsii diafizarnykh perelomov plechevoi kosti spterzhnevymi i spites-sterzhnevymi apparatami vneshnei fiksatsii [Studying regional macrohemodynamics in the process of immobilization of humeral shaft fractures using rod and wire-rod devices for external fixation]. *Politравма*, 2007, no. 1, pp. 59-61. (in Russian)
- Beidick O.V., Tsariov O.A., Kireyev S.I., Levchenko K.K., Troshkin Y.V., Afanasiyev D.V. Issledovanie regionalnoi makrohemodinamiki v protsesse fiksatsii diafizarnykh perelomov sterzhnevymi apparatami vneshnei fiksatsii [The study of regional macrohemodynamics during fixation of shaft fractures using external half-pin fixators]. *Genij Ortopedii*, 2004, no. 4, pp. 46-48. (in Russian)
- Pisarev V.V., Lvov S.E., Vasin I.V., Tikhomolova E.V. Regionarnaya gemodinamika pri razlichnykh vidakh operativnogo lecheniya diafizarnykh perelomov kostei goleni [Regional hemodynamics for various types of surgical treatment of leg bone shaft fractures]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii*, 2012, no. 1 (63), pp. 36-42. (in Russian)
- Belichenko V.M., Baranov V.I., Novoseltsev S.V., Shoshenko K.A. Koeffitsient diffuzii kisloroda v voloknakh skeletnykh myshts [Oxygen diffusion coefficient in skeletal muscle fibers]. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina*, 2002, vol. 36, no. 3, pp. 31-38. (in Russian)
- Lytaev S.A. Mekhanizmy gemodinamiki pri povrezhdeniyakh nizhnikh konechnostei razlichnoi etiologii [Hemodynamics mechanisms for the lower limb injuries of different etiology]. *Fiziologiya Cheloveka*, 2003, no. 2, pp. 92-99. (in Russian)

Рукопись поступила 14.12.2017

#### Сведения об авторах:

- Долганова Тамара Игоревна, д. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
- Менщикова Татьяна Ивановна, д. б. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
- Колчин Сергей Николаевич, к. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия, Email: sergei.kolchin@gmail.com
- Борзунов Дмитрий Юрьевич, д. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия  
ФГБОУ ВО «Тюменский ГМУ» Минздрава России, г. Тюмень, Россия, Email: borzunov@bk.ru
- Моховиков Денис Сергеевич, к. м. н., ФГБУ «РНИЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

#### Information about the authors:

- Tamara I. Dolganova, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
- Tatyana I. Menshikova, Ph.D. of Biological Sciences, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation
- Sergey N. Kolchin, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation; Email: sergei.kolchin@gmail.com
- Dmitry Yu. Borzunov, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation; Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation, Email: borzunov@bk.ru
- Denis S. Mokhovikov, M.D., Ph.D., Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russian Federation