

# ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ НА БЕДРЕННУЮ КОСТЬ ПОСЛЕ ОСТЕОСИНТЕЗА

## APPLICATION OF CALCULATING THE MAXIMUM PERMISSIBLE LOAD ON THE FEMUR AFTER OSTEOSYNTHESIS

**Ямщиков О.Н. Yamshchikov O.N.**  
**Емельянов С.А. Emelyanov S.A.**  
**Емельянова Н.В. Emelyanova N.V.**

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт, г. Тамбов, Россия

Derzhavin Tambov State University, Institute of Medicine, Tambov, Russia

После остеосинтеза чрезвертельных переломов бедренной кости лечение пациента длится несколько месяцев, что негативно сказывается на функции суставов и всей конечности. Невозможно представить коррекцию двигательного режима и нагрузки на конечность без учета степени консолидации перелома, а значит, существует проблема индивидуализации двигательного режима и нагрузок на конечность после остеосинтеза, основанная на объективных численных данных.

**Цель** – провести анализ динамики восстановления объема движений в тазобедренном суставе после остеосинтеза чрезвертельного перелома бедра при использовании численного расчета нагрузок на бедренную кость.

**Материал и методы.** Оценку динамики восстановления объема движений в тазобедренном суставе после остеосинтеза бедра проводили в двух однородных группах по 20 пациентов с чрезвертельными переломами в каждой. В основной группе применялась методика расчета нагрузки на бедренную кость после остеосинтеза, основанная на данных компьютерного моделирования и степени консолидации перелома в интересующий период восстановительного лечения.

**Результаты.** Через 180 суток после операции дефицит объема движений в суставе в основной группе был меньше, чем в группе сравнения на 6,2 %.

**Заключение.** Применение методики расчета максимальной допустимой нагрузки на бедренную кость после остеосинтеза, основанной на данных о степени консолидации перелома и показателях компьютерного моделирования, позволяет создать лучшие условия для активизации пациента и тем самым ускорить восстановление объема движений в суставах оперированной конечности.

**Ключевые слова:** нагрузка на конечность; объем движений в суставах; переломы бедренной кости.

After osteosynthesis of proximal femur fractures, the patient's treatment lasts up to several months, which negatively affects the function of the joints and the entire limb. It is impossible to imagine the correction of the motor regime and the load on the limb without taking into account the degree of consolidation of the fracture, which means that there is a problem of individualization of the motor regime and the loads on the limb after osteosynthesis based on objective numerical data.

**Objective** – to conduct the analysis of time course of recovery of range of motions in the hip joint after fixation of hip fracture with use of numerical calculation of load to the femoral bone.

**Materials and methods.** Assessment of the dynamics of the restoration of range of motion in the joints of the lower limb after surgery was performed in two homogeneous groups of 20 patients with hip fractures each. In the main group, a method was used to calculate the load on the limb after osteosynthesis, based on computer simulation data and the degree of fracture consolidation during the period of rehabilitation treatment of interest.

**Results.** 180 days after surgery, the deficit of range of motion in the joint in the main group was less than in the comparison group by 6.2 %.

**Conclusion.** Using the method of calculating the maximum allowable load on the limb after osteosynthesis, based on data on the degree of fracture consolidation and computer simulation indicators, allows creating better conditions for patient activation and speeding up the recovery of range of motion in the joints.

**Key words:** load on the limb; range of motion in the joints; fractures of the femur.

Основным методом лечения таких тяжелых травм, как чрезвертельный перелом бедренной кости является оперативный [1, 2]. На важность оперативного лечения и необходимость стандартизации тактики лечения пациентов с переломами проксимального отдела бедра указано в работах Т.Н. Воронцовой (2016) [3]. Вместе с тем, после проведенной хирургической операции лечение пациента длится

несколько месяцев, что негативно сказывается на функции суставов и всей конечности. Так, И.В. Рябчиков и соавт. (2013) отмечают, что «технологии восстановления функции опорно-двигательного аппарата, которыми располагают травматолог-ортопед и врач восстановительной медицины, зачастую не соответствуют предъявляемым требованиям современной медицины» [4]. По мнению В.Ф. Мирошни-

ченко (1975), А.Н. Шимбарского (1985), полноценное восстановительное лечение после остеосинтеза переломов бедра и голени практически у всех больных осуществляется на фоне уже сформировавшихся контрактур суставов [5, 6].

В настоящее время остеосинтез, позволяющий разрешать дозированную нагрузку на конечность до наступления полной консолидации перелома, применяется все чаще

**Для цитирования:** Ямщиков О.Н., Емельянов С.А., Емельянова Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНОЙ ДОПУСТИМОЙ НАГРУЗКИ НА БЕДРЕННУЮ КОСТЬ ПОСЛЕ ОСТЕОСИНТЕЗА //ПОЛИТРАВМА / POLYTRAUMA. 2019. № 4, С. 36-41. Режим доступа: <http://poly-trauma.ru/index.php/pt/article/view/190>

[7, 8]. Однако есть мнения, что не все пожилые пациенты могут ограничивать нагрузку на оперированную конечность при ходьбе, и при этом они склонны самостоятельно ограничивать нагрузку на поврежденную конечность [8, 9]. В большинстве публикаций, посвященных лечению переломов бедренных костей, описываются общие стандартные методики восстановления после операции: лечебная физкультура, кинезитерапия, механотерапия, физиотерапия и т.д. Описания предлагаемых программ реабилитации с четкими обоснованиями методик и критериев эффективности встречаются гораздо реже. Так, О.В. Никитина (2010) указывает на то, что «правильно подобранный двигательный режим, весовая нагрузка при передвижении в последующем являются для пациентов базовой основой реабилитационных мероприятий», однако отмечает, что в раннем послеоперационном периоде движения осуществлялись с ориентацией на субъективные ощущения больного [10].

Белинов Н.В. (2017) разработана и систематизирована 6-этапная программа реабилитации при травматических повреждениях проксимального отдела бедренной кости [11]. Двигательный режим после операции и параметры нагрузки на конечность варьируют в зависимости от метода остеосинтеза, наличия остеопороза, темпов консолидации перелома, что заставляет говорить о целесообразности индивидуализации нагрузки на конечность с учетом этих параметров [12].

В публикациях последних лет описаны методики компьютерного моделирования нагрузок на конечность после остеосинтеза [13-15]. Невозможно представить коррекцию двигательного режима и интенсивность разработки движений в суставах конечности без учета степени консолидации перелома. Так, А.Б. Слободской (2003), А.Ю. Попов (2006) применяли метод вычисления разницы оптической плотности (РОП) костной ткани в области перелома [16, 17]. Также описано применение компьютерных технологий для оценки костного регенерата и процессов остеорепаляции [18, 19]. Однако

объективных критериев расчета безопасных нагрузок на конечность в различные периоды консолидации так и не предложено.

В литературе последних лет мы не нашли публикаций, посвященных математическому расчету нагрузки на конечность с учетом числовых значений консолидации перелома. Следовательно, остается нерешенной проблема индивидуализации двигательного режима и нагрузок на конечность после остеосинтеза, основанных на объективных численных данных.

**Цель исследования** — провести анализ динамики восстановления объема движений в тазобедренном суставе после остеосинтеза чрезвертельного перелома бедра при использовании численного расчета нагрузок на бедренную кость.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования влияния применения предложенной методики расчета нагрузок на бедренную кость после остеосинтеза на динамику восстановления объема движений в суставах пациенты были разделены на 2 однородные группы. Группу сравнения составили 20 пациентов с чрезвертельными переломами 31A1 по классификации АО/ASIF [20], величина нагрузки на бедренную кость в послеоперационном периоде которым определялась согласно общепринятым критериям и субъективной оценке врача травматолога. Основную группу составили 20 пациентов с чрезвертельными переломами, величина нагрузки на конечность которым применялась после определения расчетной максимально допустимой нагрузки. Пациентам основной группы проводилось предоперационное компьютерное моделирование остеосинтеза с определением допустимых нагрузок на конечность. В группе сравнения мужчины составили 45 %, в основной группе — 40 %. Средний возраст пациентов в группе сравнения составил 66,8 года, в основной группе — 68,5 года. В группе сравнения 5 % пациентов были моложе 40 лет, 5 % были старше 80 лет. В основной группе 5 % пациентов были старше 80 лет.

Для определения расчетной максимальной допустимой нагрузки

(РН) на бедренную кость после остеосинтеза в интересующий период восстановительного лечения нами применен следующий алгоритм. Сначала вычисляли разницу нагрузок (РН), равную разности между начальной максимальной допустимой нагрузкой (НМН) в период до начала консолидации перелома, определенной в результате компьютерного моделирования остеосинтеза, и полной нагрузкой (ПН) на конечность, равной массе тела пациента:  $РН = ПН - НМН$ . При проведении компьютерного моделирования остеосинтеза в предоперационном периоде рассчитываются значения напряжения и смещения в межотломковом пространстве после фиксации перелома металлоконструкцией. Максимально допустимой считали нагрузку на кость, которая не приводила к возникновению смещения, превосходящего смещение, определенное для модели бедренной кости без перелома; при этом значения эквивалентного напряжения в зоне перелома не превышали соответствующие показатели той же зоны кости без перелома. Определенная таким образом величина максимальной допустимой нагрузки на кость непосредственно после операции варьирует в зависимости от множества факторов (таких как пол, возраст, конституция пациента, наличие сопутствующих заболеваний и т.д.), определяющих структурные и анатомические особенности кости, а также от вида перелома. Таким образом, величина максимальной допустимой нагрузки на конечность в раннем послеоперационном периоде определялась индивидуально для каждого пациента.

Далее на основе данных рентгенограмм, полученных в интересующий период времени вычисляли коэффициент консолидации  $\alpha$  по формуле:  $\alpha = 2 - РОП$ . При этом разницу оптической плотности (РОП) определяли по методике, описанной А.Б. Слободским (2003), А.Ю. Поповым (2006). Суть методики состоит в том, что оптическая плотность зоны перелома при наличии диастаза аналогична оптической плотности мягких тканей. По мере консолидации перелома оптическая плотность

зоны перелома приближается к оптической плотности кортикального слоя, что можно определить, применяя для оценки рентгеновских снимков графический редактор персонального компьютера. РОП является отношением оптической плотности кортикального слоя к оптической плотности зоны перелома и при полной консолидации приближается к 1,0.

После определения коэффициента  $\alpha$  вычисляли итоговую расчетную максимальную допустимую нагрузку на конечность по формуле:  $PMH = NMH + (PH \times \alpha)$ . При коэффициенте  $\alpha \leq 0,1$  считали, что консолидация перелома отсутствует и нагрузка соответствует начальной максимальной допустимой нагрузке, определенной по результатам компьютерного моделирования; при коэффициенте  $\alpha \geq 0,8$  консолидацию перелома считали завершённой и разрешали полную нагрузку на конечность.

Восстановление функции конечности после переломов бедренной кости оценивали по дефициту объема движений в тазобедренном суставе в динамике. Оценка дефицита объема движений в тазобедренном суставе после переломов бедренной кости проводилась по усредненному показателю объема при активном сгибании, разгибании и отведении в суставе в процентах от показателей здоровой конечности. Среднюю суммарную оценку дефицита объема движений

у пациентов проводили на 15, 30, 60, 90, 150, 180-е сутки с момента операции. Всем пациентам проводился остеосинтез динамической бедренной системой (DHS).

Все пациенты дали информированное согласие в момент госпитализации в соответствии с требованиями Федерального закона № 152-ФЗ от 27.06.2006 г. (в редакции от 22.02.2017 г.) «О персональных данных», что соответствует требованиям Хельсинкской декларации 1964 года, пересмотренной в 2013 году, «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 г. № 266. Данные, представленные в исследовании, обезличены.

Статистический анализ осуществлен посредством статистических программ SPSS Statistics 21. Произведен расчет средней арифметической, ошибки средней арифметической, t-критерий достоверности разности двух величин. Критический уровень значимости (p) при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимался равным 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При оценке объема движений в суставе оперированной конечности в первые 2 недели после операции выявлен дефицит объема движений в среднем более 40 % у пациентов обеих групп. Основной причиной

ограничений активных движений был болевой синдром. Причем у 10 % пациентов основной группы и 15 % пациентов группы сравнения в связи с выраженным болевым синдромом на протяжении первых 15 дней после операции объем активных движений в тазобедренном суставе составлял не более 30 % от нормальных значений. Все пациенты активизировались со вторых суток с момента операции, когда разрешалось присаживание в постели, а с третьих суток – ходьба с помощью костылей. Стоит отметить, что в половине случаев в обеих исследуемых группах пациенты вставали и начинали передвигаться с помощью костылей только в присутствии врача, опасаясь излишне нагрузить конечность, а при отсутствии врача предпочитали не вставать с постели, даже получив перед этим подробные консультации. Всем пациентам назначалась разработка движений в суставах нижних конечностей с первых дней после операции. Начиная с 30-х суток после операции, отмечалось уменьшение дефицита объема движений в суставе (таб.).

Как следует из полученных данных, в начальный период, до 30-х суток после операции различия в дефиците объема движений в суставе в двух группах составили менее 4 % ( $t = 0,83$ ;  $p = 0,41$ ). В этот период наблюдалось наиболее выраженное снижение интенсивности болевого синдрома и отека области

Таблица  
Динамика восстановления объема движений в тазобедренном суставе  
Table  
Time course of restoration of range of motions in hip joint

Группы Groups	Общее число пациентов Total number of patients (n)	Дефицит объема движений в суставах в % от нормы Deficit in range of motions in joints in % of normal						
		15-е сутки 15 <sup>th</sup> day	30-е сутки 30 <sup>th</sup> day	60-е сутки 60 <sup>th</sup> day	90-е сутки 90 <sup>th</sup> day	120-е сутки 120 <sup>th</sup> day	150-е сутки 150 <sup>th</sup> day	180-е сутки 180 <sup>th</sup> day
Основная группа Main group	20	44.45 ± 3.17	33.25 ± 2.61	21.05 ± 1.42	10.75 ± 1.19	8.1 ± 0.71	3.5 ± 0.77	2.1 ± 0.71
Группа сравнения Comparison group	20	47.8 ± 3.52	36.25 ± 2.47	30.4 ± 2.42	24.4 ± 1.67	15.5 ± 1.24	10.4 ± 1.05	8.3 ± 0.85

Примечание: \* – достоверность различий с группой сравнения  $p < 0,05$ .

Note: \* – reliability of differences for comparison group,  $p < 0.05$ .

операции. Однако в сроки более 30 суток после операции в основной группе отмечалось более значительное увеличение объема движений в суставе, чем в группе сравнения. На 60-е сутки с момента операции дефицит объема движений в суставе оперированной конечности у пациентов основной группы был на 9,4 % меньше, чем в группе сравнения ( $t = 3,33$ ;  $p = 0,002$ ). На 90-е сутки с момента операции дефицит объема движений в суставе оперированной конечности у пациентов основной группы был уже на 13,65 % меньше, чем в группе сравнения ( $t = 6,66$ ;  $p < 0,05$ ), что отражает более интенсивную активизацию и разработку движений в суставе у пациентов основной группы. Спустя 180 суток после операции дефицит объема движений в тазобедренном суставе в группе сравнения был больше, чем в основной группе на 6,2 % ( $t = 5,6$ ;  $p < 0,05$ ). Различия в показателях объема движений в тазобедренном суставе у пациентов исследуемых групп в позднем послеоперационном периоде обусловлены более интенсивной активизацией пациентов основной группы на протяжении всех месяцев наблюдений. В основной группе пациенты имели возможность знать более точные безопасные значения весовой нагрузки на конечность, а значит позволять большую функцию для конечности.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Попытки объективизировать данные о стабильности остеосинтеза и степени консолидации перелома проводились различными авторами. Так, метод динамического определения разницы оптической плотности впервые применен в травматологическом отделении 16 Центрального военного специализированного госпиталя МО РФ. Попов А.Ю. (2006) применял вычисления разницы оптической плотности (РОП) костной ткани в области перелома в различные периоды лечения и предложил классификацию степени консолидации переломов, исходя их оптических свойств костной ткани в зоне перелома. Применение метода позволило более объективно подойти к вопросу оценки степени консолидации перелома, но методи-

ки численного расчета нагрузки на конечность не предложено [17]. В зарубежной литературе нами также не обнаружено примеров численного расчета нагрузки, основанного на степени консолидации перелома и характеристиках остеосинтеза. Поэтому мы предлагаем применять эти данные для расчета безопасных нагрузок на конечность в различные периоды консолидации с условием компьютерного моделирования безопасных смещений и напряжений в зоне остеосинтеза.

Применение предложенной методики у пациентов, перенесших остеосинтез чрезвертельного перелома бедра, повлияло на величину восстановления объема движений в тазобедренном суставе после операции. Так, дефицит объема движений в суставе в раннем периоде, до 1-3 месяцев после операции можно объяснить травматичностью операции, болевым синдромом, отеком мягких тканей, то есть теми причинами, которые могут быть устранены с течением времени. Этим объясняется, по нашему мнению, наибольшая выраженность динамики восстановления объема движений в этот период. В более позднем периоде, когда наступает консолидация перелома, большее значение начинают играть формирующиеся рубцы. Именно поэтому в этот временной промежуток наиболее актуален точный расчет возможных нагрузок на конечность, который позволил бы без риска нарушения консолидации предложить максимальный режим двигательной активности.

Можно предположить, что увеличение объема активных движений в суставе после остеосинтеза во многом зависит от психологического настроения пациента. Когда пациент знает, что рекомендованная нагрузка на конечность рассчитана точно и риска повторного перелома нет, и при этом ее уменьшение может затормозить лечение, то желание «перестраховаться и на всякий случай» не наступать на ногу отступает. Более смелая активизация и нагрузка на конечность заставляет больше двигаться, увеличивает активность пациента. Наиболее выражено это у пожилых пациентов, склонных «щадить» поврежденную конечность, при этом объем активных

и пассивных движений в суставах может значительно различаться, а, как известно, чем длительнее иммобилизация, тем более выражено функциональное нарушение.

Расчет нагрузок в послеоперационном периоде, основанный на численных значениях, на наш взгляд, имеет перспективу для применения в клинических условиях, однако нужно отметить и некоторые особенности методики расчета, способные ограничить ее применение: необходимость стандартизированного рентгенологического контроля процесса консолидации перелома, наличие возможности измерить РОП зоны перелома, провести компьютерное моделирование остеосинтеза, которое в настоящее время требует привлечения значительных ресурсов, а процедура расчета на серверах высокопроизводительных вычислений может занимать несколько часов. Возможно, решить упомянутые проблемы позволит развитие и усовершенствование вычислительной техники.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение методики расчета максимальной допустимой нагрузки на бедренную кость после остеосинтеза, основанной на данных о степени консолидации перелома и показателях компьютерного моделирования, позволяет создать лучшие условия для активизации пациента и ускорить восстановление объема движений в суставах оперированной конечности.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят за помощь в проведении компьютерного моделирования сотрудников Образовательно-научного института наноструктур и биосистем ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» в лице Голядкиной А.А.

### Информация о финансировании и конфликте интересов

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## REFERENCES / ЛИТЕРАТУРА:

1. Ardatov SV, Pankratov AS, Ogurtsov DA, Shitikov DS, Kim YuD, Tatarenko IE. Approach to proximal femur fractures treatment. *Science and Innovations in Medicine*. 2017; 3(7): 63-68. Russian (Подход к лечению переломов проксимального отдела бедра /Ардатов С.В., Панкратов А.С., Огурцов Д.А., Шитиков Д.С., Ким Ю.Д., Татаренко И.Е. //Наука и инновации в медицине. 2017. 3(7). 63-68.)
2. Kotelnikov GP, Mironov SP. Traumatology. National guidelines: brief edition. M.: Geotar-media; 2017. 528 p. Russian (Травматология. Национальное руководство: краткое издание /под ред. Котельникова Г.П., Миронова С.П.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 528 с.)
3. Vorontsova TN, Bogopol'skaya AS, Chernyi AZh, Shevchenko SB. Cohort structure of patients with proximal femur fractures and estimation of average annual demand for emergency surgical treatment. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2016; 1(22): 7-20. Russian (Воронцова Т.Н., Богопольская А.С., Чёрный А.Ж., Шевченко С.Б. Структура контингента больных с переломами проксимального отдела бедренной кости и расчет среднегодовой потребности в экстренном хирургическом лечении //Травматология и ортопедия России. 2016. Т. 22, № 1. С. 7-20.)
4. Ryabchikov IV, Pankov IO. Research of balance of patients after operative treatment of fractures of the proximal end of the femur in the course of medical rehabilitation. *Modern Problems of Science and Education*. 2013; (3): 146. Russian (Рябчиков И.В., Панков И.О. Исследование баланса пациентов после оперативного лечения переломов проксимального отдела бедренной кости в процессе медицинской реабилитации //Современные проблемы науки и образования. 2013. № 3. С. 146.)
5. Zhanaspaev MA. Functional rehabilitation treatment of unilateral fractures of the thigh and bones of the leg. PhD abstract. Semipalatinsk, 1996. 23 p. Russian (Жанаспаев, М.А. Функциональное восстановительное лечение односторонних переломов бедра и костей голени: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Семипалатинск, 1996. 23 с.)
6. Nashner L. Sensory, neuromuscular, and biomedical contributions to human balance. Balance: Proceedings of the APTA Forum, 1989. P. 5-12.
7. Windolf J, Hollander DA, Hakimi M, Linhart W. Pitfalls and complications in the use of the proximal femoral nail. *Langenbecks Arch Surg*. 2005; 390(1): 59-65. DOI: 10.1007/s00423-004-0466-y.
8. Dubrov VE, Shcherbakov IM, Saprykina KA et al. Mathematical Modeling of the «Bone-Fixator» System during the Treatment of Intertrochanteric Fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2019; 25(1): 113-121. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-113-12. Russian (Дубров В.Э., Щербаков И.М., Сапрыкина К.А., Кузькин И.А., Зюзин Д.А., Яшин Д.В. и др. Математическое моделирование состояния системы «кость-металлофиксатор» в процессе лечения чрезвертельных переломов бедренной кости //Травматология и ортопедия России. 2019. Т. 25, № 1. С. 113-121. DOI: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-113-12)
9. Koval KJ, Sala DA, Kummer FJ, Zuckerman JD. Postoperative weight-bearing after a fracture of the femoral neck or an intertrochanteric fracture. *J Bone Joint Surg Am*. 1998; 80(3): 352. DOI: 10.2106/00004623-199803000-00007
10. Nikitina OV. The physical rehabilitation in the early postoperation period with blocked femoral nailing. *Pedagogics, Psychology and Medicobiological Problems of Physical Education and Sports*. 2010; (6): 79-81. Russian (Никитина О.В. Физическая реабилитация в раннем послеоперационном периоде после блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза бедра //Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. 2010. № 6. С. 79-81.)
11. Belinov NV. Restorative treatment of patients after fixation of proximal femur fractures. In: *Integrative processes in science in modern conditions: collection of articles of International scientific practical conference*. 4 parts. 5 June 2017. Volgograd, 2017. 216-219. Russian (Белинов Н.В. Восстановительное лечение больных после остеосинтеза переломов проксимального отдела бедренной кости //Интегративные процессы в науке в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции: в 4-х частях, 05 июня 2017г, г. Волгоград. Волгоград, 2017. С. 216-219.)
12. Karev DB, Karev BA, Boltrukevich SI. Experience in the rehabilitation of patients with proximal femur fractures. *News of Surgery*. 2009; 2(17): 58-64. Russian (Карев Д.Б., Карев Б.А., Болтрукевич С.И. Опыт реабилитации пациентов с переломами проксимального отдела бедренной кости //Новости хирургии. 2009. Т. 2, № 17. С. 58-64.)
13. Yamshchikov ON, Emelyanov SA, Markov DA, Balaev DV, Savelyeva TI. The selection of operative treatment technique for femur proximal zone fracture: the possibilities of computer simulation. *Herald of Ivanovo Medical Academy*. 2015; 20(3): 52-55. Russian (Ямщиков О.Н., Емельянов С.А., Марков Д.А., Балаев Д.В., Савельева Т.И. Возможности использования компьютерного моделирования для выбора метода оперативного лечения перелома проксимального отдела бедренной кости //Вестник Ивановской медицинской академии. 2015. Т. 20, № 3. С. 52-55.)
14. Hambli R, Allaoui S. A robust 3D finite element simulation of human proximal femur progressive fracture under stance load with experimental validation. *Ann Biomed Eng*. 2013; 41(12): 2515-2527. DOI: 10.1007/s10439-013-0864-9
15. Helwig P, Faust G, Hindenlang U, Kröplin B, Eingartner C. Finite element analysis of a bone-implant system with the proximal femur nail. *Technol Health Care*. 2006; 14(4-5): 411-419. DOI: 10.1016/S0021-9290(06)84862-1
16. Slododskoy AB. Prediction of degree of union of bone fractures. In: *Actual issues of radial diagnosis in traumatology, orthopedics and adjacent disciplines: materials of All-Russian Conference*. Kurgan, 2003; 219-222. Russian (Слободской А.Б. Прогнозирование степени консолидации переломов костей //Актуальные вопросы лучевой диагностики в травматологии, ортопедии и смежных дисциплинах: материалы Всерос. конф. Курган, 2003. С. 219-222.)
17. Popov AYU. Three-dimensional modeling of reposition of fragments in fractures of long bones. PhD abstract. Saratov, 2006. 24 p. Russian (Попов А.Ю. Трёхмерное моделирование репозиции отломков при переломах длинных костей: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Саратов, 2006. 24 с.)
18. Diachkova GV, Mikhailov ES, Yerofeyev SA, Nizhechick SA, Korabelnikov MA. Qualitative and quantitative indices of roentgenological assessment of a distraction regenerate bone. *Genius of Orthopedics*. 2003; (4): 11-14. Russian (Дьячкова Г.В., Михайлов Е.С., Ерофеев С.А., Нижечик С.А., Корабельников М.А. Качественные и количественные показатели рентгенологической оценки дистракционного регенерата //Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 11-14.)
19. Popkov AV, Aborin SA, Gorevanov EA, Klimov OV. The analysis of the optical density of the X-ray image of the femoral distraction regenerate bone in the process of lengthening of congenitally shortened femur using the technique of bifocal distraction osteosyn-

thesis. *Genius of Orthopedics*. 2003; (4): 21-24. Russian (Попков А.В., Аборин С.А., Гореванов Э.А., Климов О.В. Анализ оптической плотности рентгенографического изображения дистракционного костного регенерата бедренной кости при удлинении врожденно укороченного бедра методом билочкального дис-

тракционного остеосинтеза //Гений ортопедии. 2003. № 4. С. 21-24.)

20. Muller ME, Allgower M, Schneider R, Willenegger H. Manual of Internal Fixation. Techniques Recommended by the AO Group, Ed. 3. New-York: Springer, 1991. P. 282-299.

#### Сведения об авторах:

**Ямщиков О.Н.**, к.м.н., заведующий кафедрой госпитальной хирургии с курсом травматологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт, г. Тамбов, Россия.

**Емельянов С.А.**, доцент кафедры госпитальной хирургии с курсом травматологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт, г. Тамбов, Россия.

**Емельянова Н.В.**, к.м.н., доцент кафедры госпитальной хирургии с курсом травматологии, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Медицинский институт, г. Тамбов, Россия.

#### Адрес для переписки:

Емельянов С.А., ул. Б. Васильева 6/55, г. Тамбов, Тамбовская область, Россия, 392000.

Тел: +7 (915) 884-23-63

E-mail: cep\_a@mail.ru

**Статья поступила в редакцию:** 21.11.2019

**Рецензирование пройдено:** 29.11.2019

**Подписано в печать:** 02.12.2019

#### Information about authors:

**Yamshchikov O.N.**, candidate of medical science, head of department of hospital surgery with course of traumatology, Derzhavin Tambov State University, Institute of Medicine, Tambov, Russia.

**Emelyanov S.A.**, docent of department of hospital surgery with course of traumatology, Derzhavin Tambov State University, Institute of Medicine, Tambov, Russia.

**Emelyanova N.V.**, candidate of medical science, docent of department of hospital surgery with course of traumatology, Derzhavin Tambov State University, Institute of Medicine, Tambov, Russia.

#### Address for correspondence:

Emelyanov S.A., B. Vasilyeva St., 6/55, Tambov, Russia, 392000.

Tel: +7(915)884-23-63

E-mail: cep\_a@mail.ru

**Received:** 21.11.2019

**Review completed:** 29.11.2019

**Passed for printing:** 02.12.2019