

Остеосинтез авульсивных переломов у больных с различной минеральной плотностью костной ткани

Л.Б. Резник¹, В.В. Гурьев², М.А. Турушев¹, Д.А. Негров³, Р.Е. Ильин⁴

¹ ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Омск, Россия

² НУЗ «Дорожная клиническая больница им. Н. А. Семашко на ст. Люблино ОАО «РЖД», г. Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» Минобрнауки России, г. Омск, Россия

⁴ ГБУЗ ЯНАО «Ноябрьская центральная городская больница», г. Ноябрьск, Россия

Реферат

Цель исследования — сравнить эффективность остеосинтеза биодеградируемыми и титановыми имплантатами авульсивных переломов у пациентов с различной минеральной плотностью кости. **Материал и методы.** На экспериментальном этапе исследования для оценки якорных свойств имплантата в остеопорозной и здоровой кости было выделено две группы костных блоков из головок бедренных костей пациентов. В первую группу вошли блоки 31 пациента с остеопорозом, во вторую — 27 блоков пациентов без остеопороза. В первой группе в 13 костных блоках имплантированы кортикальные биодеградируемые винты из полилактидгликолевой кислоты (PLGA), в 10 костных блоках — титановые винты, в 8 — биодеградируемые пины (PLGA). Во второй группе имплантированы 10 титановых, 10 биодеградируемых винтов и 7 биодеградируемых пинов. Прочность фиксации имплантата в кости исследовалась pull-out тестом. Затем, в зависимости от используемого фиксатора, вновь полученные от первой группы экспериментальные костные блоки с остеопорозом разделены на три группы для оценки устойчивости к разрушающему воздействию имплантата. В эксперименте выполнено моделирование остеосинтеза авульсивного перелома на этих костных блоках. В первой группе (11 костных блоков) чрезкостный остеосинтез отсеченного фрагмента выполнялся титановым винтом, во второй группе (9 костных блоков) — биодеградируемым винтом, в третьей группе (11 костных блоков) — биодеградируемым пином. Результаты остеосинтеза оценивались по наличию разрушения малого костного фрагмента имплантатом и стабильности фиксации. В клиническом разделе исследования проведен сравнительный анализ 65 оперативных вмешательств (38 человек с остеопорозом и 27 без остеопороза) у больных с авульсивными переломами. В 24 случаях для остеосинтеза использованы биодеградируемые винты, в 31 случаях титановые винты АО/ASIF, в 10 — пины. **Результаты.** Экспериментальные исследования показали, что устойчивость к pull-out тесту биодеградируемого винта в сравнении с металлическим винтом больше на 25,7% в остеопорозной кости. В кости без остеопороза не получено статистически значимых отличий. Устойчивость к pull-out тесту биодеградируемого пина на 3% выше, чем металлического винта. Эффективность остеосинтеза на модели авульсивного перелома в условиях остеопороза с использованием титанового винта оказалась хуже: в 27,2% кортикальный металлический винт разрушал малый костный фрагмент. По результатам клинического исследования не получено отрицательных результатов при использовании биодеградируемых фиксаторов, в 12,5% случаев остеосинтеза титановым винтом отмечена миграция костного фрагмента. Полученные в ходе клинического исследования данные коррелировали с экспериментальными данными. Это делает использование биодеградируемых имплантатов более перспективным. **Заключение.** Для остеосинтеза авульсивных переломов у пациентов с нормальной минеральной плотностью кости возможно использование как титановых, так и биодеградируемых фиксаторов с эквивалентной прочностью фиксации отломков. При остеосинтезе кости с измененными биомеханическими свойствами предпочтительнее использовать биодеградируемые имплантаты.

Ключевые слова: авульсивный перелом, остеосинтез, остеопороз, биодеградируемые винты, титановые винты, прочность фиксации.

Резник Л.Б., Гурьев В.В., Турушев М.А., Негров Д.А., Ильин Р.Е. Остеосинтез авульсивных переломов у больных с различной минеральной плотностью костной ткани. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(4):72-80. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-72-80.

Cite as: Reznik L.B., Guryev V.V., Turushev M.A., Negrov D.A., Il'in R.E. [Avulsion Fractures Osteosynthesis in Patients with Normal Bone Mineral Density and Osteoporosis]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(4):72-80. (In Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-72-80.

✉ Турушев Михаил Анатольевич / Mikhail A. Turushev; e-mail: mturush20@mail.ru

Рукопись поступила/Received: 09.11.2017. Принята в печать/Accepted for publication: 27.10.2018.

Avulsion Fractures Osteosynthesis in Patients with Normal Bone Mineral Density and Osteoporosis

L.B. Reznik¹, V.V. Guryev², M.A. Turushev¹, D.A. Negrov³, R.E. Il'in⁴

¹ Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

² Semashko Road Clinical Hospital at st. Lyublino of Russian Railways, Moscow, Russian Federation

³ Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

⁴ Noyabrsk Central City Hospital, Noyabrsk, Russian Federation

Abstract

Objective: to compare the effectiveness of osteosynthesis for avulsion fractures using bioabsorbable versus titanium implants in patients differing in bone mineral density. **Material and Methods.** In the experimental phase of study, two groups of bone blocks were singled out from patients' femoral heads to assess the anchoring properties of the implant in osteoporotic and healthy bone. The first group included blocks of 31 patients with osteoporosis, the second one — 27 blocks of patients without osteoporosis. In the first group, cortical bioabsorbable Poly-L-Lactic/co-glycolic acid (PLGA) screws were implanted into 13 bone blocks, titanium screws — into 10 bone blocks, and bioabsorbable pins (PLGA) — into 8 bone blocks. In the second group, 10 titanium screws, 10 bioabsorbable screws and 7 bioabsorbable pins were implanted. The anchorage of the implant in bone was evaluated by a pull-out test. Then, depending on the anchorage used, the studied bone blocks with osteoporosis, newly obtained from the first group, were divided into three groups for the purpose of evaluating the resistance to the damaging effects of the implant. In experiment, the osteosynthesis for avulsion fracture was simulated on these bone blocks. In the first group (11 bone blocks), the transosseous osteosynthesis of the bone fragment was carried out with a titanium screw, in the second group (9 bone blocks) with a bioabsorbable screw, in the third group (11 bone blocks) with a bioabsorbable pin. The results of osteosynthesis were assessed based on how often a small bone fragment was damaged by an implant and on stability of the anchored implant. In the clinical phase of study, a comparative analysis of 65 surgical interventions (38 people with osteoporosis and 27 without osteoporosis) in patients with avulsion fractures was performed. In 24 cases, bioabsorbable screws were used for osteosynthesis, AO/ASIF titanium screws were used in 31 cases, and pins were used in 10 cases. **Results.** Experimental studies showed that the resistance to pull-out test of a bioabsorbable screw anchored in osteoporotic bone is 25.7% higher than a titanium screw. No statistically significant difference was found in bone without osteoporosis. Resistance to pull-out test of a bioabsorbable pin is 3% higher than a titanium screw. The model-based experiment with an avulsion fracture in osteoporotic bone using a titanium screw showed lower effectiveness of osteosynthesis: in 27.2% of cases the cortical titanium screw damaged a small bone fragment. Based on the clinical trial findings, no negative results were obtained using bioabsorbable anchorage. In 12.5% cases of osteosynthesis with a titanium screw, migration of a bone fragment was noted. The data obtained during the clinical study correlated with the experimental data. This makes the use of bioabsorbable implants advantageous. **Conclusion.** For avulsion fracture osteosynthesis in patients with normal bone mineral density, it is possible to use both titanium and biodegradable fixators with equivalent strength of fragment fixation. In osteosynthesis of fractures in patients with osteoporosis it is preferable to use bioabsorbable implants.

Keywords: avulsion fractures, osteosynthesis, osteoporosis, bioabsorbable screws, titanium screws, anchoring strength.

Competing interests: the authors declare that they have no competing interests.

Funding: the authors have no support or funding to report.

Publishing ethics: the patients provided voluntary consent for publication of case data.

Введение

Для остеосинтеза при переломах различных типов в основном применяются металлические фиксаторы из титана, тантала, циркония, сплавов кобальта, стали [1–3]. Таким системам свойственны следующие недостатки: реакция взаимодействия тканей организма с металлом (металлоз) [4–6], нестабильность [7–9], риск инфекционных осложнений [10, 11], разрушение металлоконструкции [12, 13], необходимость последующего

удаления фиксаторов и связанные с этим трудности [14–16]. Лечение мелкофрагментарных переломов очень часто приводит к неудовлетворительным результатам, причиной которых является фрагментация отломка в процессе остеосинтеза и миграция винтов [17, 18]. Остеосинтез переломов медиальной лодыжки, костей кисти и стопы, надмыщечков плеча и так далее у больных с остеопорозом также вызывает трудности, обусловленные невозможностью стабильной фиксации

металлоконструкции в кости [19–23]. Назрела необходимость внедрения в широкую клиническую практику новых материалов и технологий для остеосинтеза, таких как биодеградируемые имплантаты из полилактатгликолевой кислоты (PLGA) [10, 24, 25]. Биофизические характеристики этих имплантатов максимально близки к параметрам костной ткани, а сопротивление к линейным нагрузкам аналогично параметрам металлических конструкций [24, 26]. В отличие от металлических фиксаторов, создающих различные артефакты, биодеградируемые имплантаты из PLGA не препятствуют визуализации костного регенерата при МРТ-исследовании [27]. Повышение эффективности остеосинтеза у больных с локальным и системным остеопорозом при невозможности использования металлических фиксаторов — основная задача этого исследования.

Цель исследования — сравнить эффективность остеосинтеза биодеградируемыми и титановыми имплантатами авульсивных переломов у пациентов с различной минеральной плотностью кости.

Материал и методы

Проведено открытое проспективное сравнительное многоцентровое исследование прочности фиксации титановых винтов и биодеградируемых имплантатов в кости с разными качественными характеристиками. Исследование выполнялось с соблюдением требований Хельсинкской декларации об экспериментах на материале, изъятом у человека (WMA Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects 2013).

Экспериментальный этап исследования

В соответствии с теорией авульсивного перелома проводилось моделирование остеосинтеза в эксперименте. В качестве нулевой гипотезы нами рассматривалась теоретическая возможность преимуществ фиксации фрагментов скомпрометированной остеопорозом кости биодеградируемыми винтами в сравнении с титановыми, основанная на эффекте самокомпрессии биодеградируемых имплантатов и отсутствия значительных усилий при достижении адаптации отломков при выполнении остеосинтеза.

Для оценки якорных фиксирующих характеристик имплантатов использовались костные блоки из головок бедренных костей пациентов, которым выполнялось эндопротезирование тазобедренного сустава.

Полученные блоки поделили на 2 группы: в первую вошли — 31 блок от пациенток с остеопорозом, во вторую — 27 от пациенток с нормальной минеральной плотностью костной ткани. Диагноз

«остеопороз» подтверждался у больных методом дихроматической рентгеновской абсорбциометрии (DEXA) по программе «шейка бедра» в контралатеральном суставе и поясничном отделе позвоночника при наличии показателей T-критерия $\leq -1,5$.

Головки бедренной кости сразу после удаления помещались в физиологический раствор, где находились в среднем $2 \text{ ч} \pm 25 \text{ мин}$ при комнатной температуре. Из головки изготавливался блок в виде параллелепипеда длиной 5 см, шириной $1 \pm 0,2 \text{ см}$, толщиной $0,5 \pm 0,2 \text{ см}$. В верхнем полюсе блока сохранялся кортикальный слой, что приближало экспериментальную модель к анатомической. В эксперименте для сравнения прочности фиксации имплантатов нами использованы биодеградируемые винты из PLGA диаметром 3,5 мм, длиной 40 мм, шагом винта 2 мм, с плоской головкой, биодеградируемые пины из PLGA, а также титановые самонарезаемые винты диаметром 3,5 мм, длиной 40 мм, шагом винта 2 мм, с плоской головкой.

В первой группе в 13 костных блоках имплантированы кортикальные биодеградируемые винты, в 10 костных блоках — титановые винты, в 8 — биодеградируемые пины. В костные блоки нормальной плотности (T-критерий не более -1 SD), имплантированы для сравнения 10 титановых, 10 биодеградируемых винтов и 7 биодеградируемых пинов. Прочность фиксации винта в кости исследовалась путем определения усилия на «вырывание» его из кости (pull-out тест) при помощи испытательной машины РМ — 0,5, предназначенной для проведения экспериментов на растяжение материалов с разрывным усилием в 500 кгс/м^2 и скоростью 20 мм/мин. Фиксация образца осуществлялась за головку винта и за костный блок. Производилось исследование усилия на вырывание винта из комплекса «имплантат-кость». Данные фиксировались при помощи блока измерения силы, торирированного в килоньютонках (кН).

Учитывая полученные данные, из головок бедренных костей 31 пациентки первой группы с доказанным остеопорозом вновь взяты костные блоки, на которых выполнено моделирование остеосинтеза авульсивного перелома. Для этого из головки бедренной кости выпиливались кубические костные блоки $4 \times 4 \text{ см}$; один из углов костного блока отсекался в виде пирамиды, где сохранялся кортикальный слой. Объем полученного фрагмента в виде пирамиды составлял $1,5 \text{ см}^3$, что соответствует модели отрывного перелома (рис. 1).

В эксперименте критерием эффективности остеосинтеза явилось достижение стабильной фиксации отломка без его разрушения в процессе компрессии.



Рис. 1. Модель авульсионного перелома на кубическом костном блоке

Fig. 1. Model of avulsion fracture on a cubic bone block

Полученные костные блоки были разделены на 3 группы. В первой группе (11 костных блоков) остеосинтез выполнялся после предварительного рассверливания в соответствии с рекомендациями АО [31] титановыми кортикальным винтом полной нарезкой и в части случаев сопровождался фрагментацией костного блока (рис. 2). Во второй группе (9 костных блоков) остеосинтез выполняли биodeградируемым винтом при помощи динамометрической отвертки с моментом 0,8 Nm. В третьей группе (11 костных блоков) выполнен остеосинтез костных фрагментов биodeградируемым пином (рис. 3).

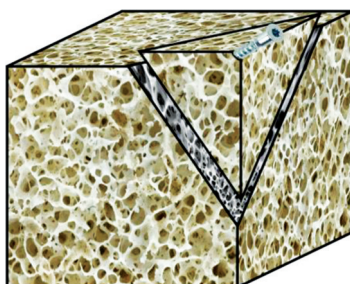


Рис. 2. Остеосинтез титановым винтом с фрагментацией костного блока

Fig. 2. Osteosynthesis with a metal screw resulted in bone fragmentation



Рис. 3. Остеосинтез модели авульсионного перелома биodeградируемым пином

Fig. 3. Schematic representation and model of the fracture osteosynthesis with a bioabsorbable pin



Клинический этап исследования

Клинический раздел работы включил результаты остеосинтеза 65 больных, из них с доказанным остеопорозом (Т-критерий не более $-2,5$ SD) 38 человек и 27 без остеопороза. В исследовании участвовали пациенты с авульсионными переломами типа 44A1-44A2, 44B2 по классификации АО, из которых переломов медиальной лодыжки — 47, подсиндесмозных переломов латеральной лодыжки — 18.

В 24 случаях для остеосинтеза использованы биodeградируемые винты, из них в 15 случаях при остеопорозе и в 9 без остеопороза. В 31 случае титановые винты АО/ASIF: в 16 случаях с остеопорозом и в 15 без остеопороза, в 10 — пины (PLGA), у 7 пациентов с остеопорозом и у 3 без остеопороза. Первично оценка эффективности остеосинтеза проводилась в ходе операции визуально. В этом исследовании также оценивались адаптация и целостность костных отломков. В динамике рентгенологически в стандартных проекциях оценивалось смещение костного отломка после остеосинтеза, фрагментация или замедленная консолидация.

Результаты

Стендовое биомеханическое исследование стабильности кортикальных титановых винтов показало, что максимальное смещение титанового винта (1,1–1,2 мм) в кости со сниженной минеральной плотностью происходит при усилии 0,26 кН, биodeградируемого винта (1,0–1,1 мм) при усилии 0,36 кН, что на 25,7% больше по сравнению с титановым винтом, $t = 0,325$, $p = 0,749$. Процесс миграции биodeградируемого винта проходил поэтапно с уменьшением движения в интервале 1,2–1,3 мм и при усилии 0,14кН, тогда как титанового винта — практически одномоментно. Завершение теста при нулевом усилии для титанового винта происходило при перемещении на 1,8 мм, а для биodeградируемого винта на 1,7 мм (рис. 4).

Оценивая устойчивость на разрывную нагрузку при фиксации перелома титановым винтом и винтом PLGA в костных блоках без явлений остеопороза (Т-критерий не более -1), мы не получили статистически значимых отличий ($p < 0,05$). Усилие для максимального смещения титанового винта из здоровой кости (Т-критерий $\geq -1,5$) составило 0,44 кН, что на 2,8% выше, чем винта PLGA, критерий Стьюдента = $-1,698$, $p = 0,133$ (рис. 5). Завершение теста при нулевом усилии для титанового винта происходило при перемещении на 1,8 мм, а для биodeградируемого винта — на 1,7 мм.

Сравнительные исследования устойчивости к pull-out тесту титановых винтов и биodeградируемых пинов показали, что разница разрывного усилия для удаления пина из кости, пораженной

остеопорозом, не превышала 0,106 кН, что на 3% выше, чем титанового винта ($t = -1,017, p = 0,324$) (рис. 6).

Максимальное смещение титанового винта (1,2–1,3 мм) в кости со сниженной минеральной плотностью происходит при усилии 0,26 кН, биодеградируемого пина (0,8–0,9 мм) при усилии 0,28 кН. Процесс миграции пина проходил практически одновременно, тогда как титанового винта

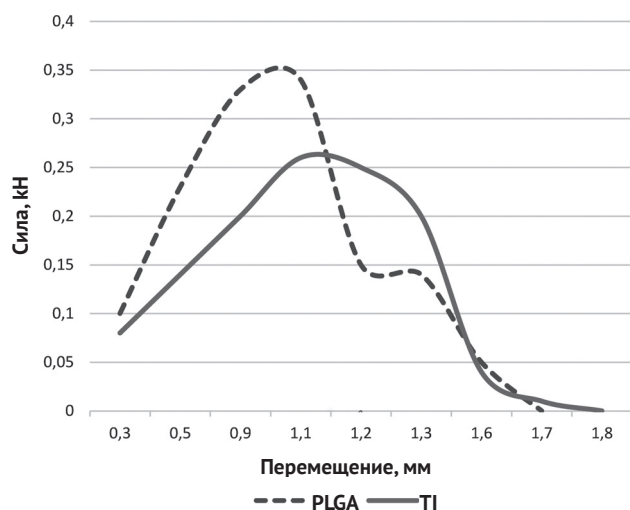


Рис. 4. Разрывное усилие в кН для миграции титанового и биодеградируемого винтов (Т-критерий $\leq -1,5$ — остеопения и остеопороз)

Fig. 4. Breaking strength for the titanium and bioabsorbable screw migration (T-score ≤ -1.5 — osteopenia and osteoporosis)

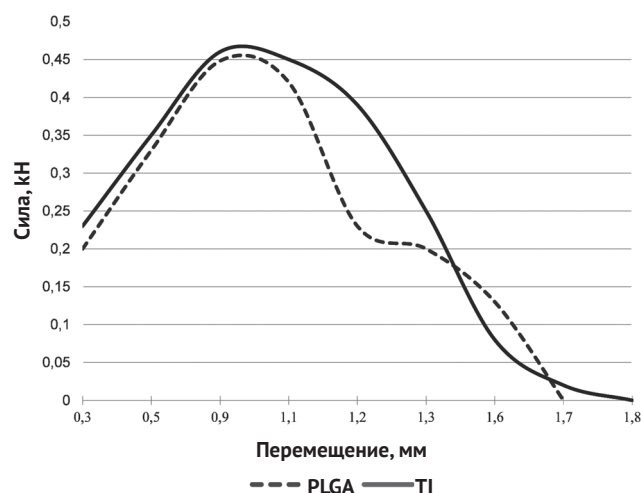


Рис. 5. Разрывное усилие для миграции титанового и биодеградируемого винтов (Т-критерий $\geq -1,5$)

Fig. 5. Breaking strength for the titanium and bioabsorbable screw migration (T-score ≥ -1.5)

поэтапно. Завершение теста для титанового винта происходило при перемещении на 1,8 мм, а для биодеградируемого пина — на 1,2 мм.

Оценивая в эксперименте эффективность остеосинтеза модели авульсивного перелома по наличию разрушения фрагмента имплантатом, мы выявили, что в 27,2% (3) случаев кортикальный титановый винт разрушал костный фрагмент (табл. 1).

Сравнительные результаты различных вариантов остеосинтеза в клинической практике за 2015–2017 гг. оценивались рентгенологически в сроки от 2 до 6 нед. после операции. При анализе рентгенограмм в сроки до 2 нед. важное значение придавалось сохранению адаптации и анатомической структуры костных фрагментов (лодыжек). В сроки до 6 нед. оценивали процессы консолидации и состояние канала после проведения винта. В таблице 2 представлены сравнительные результаты применения различных вариантов остеосинтеза лодыжек на ослабленной кости.

Клинические наблюдения демонстрируют отсутствие расколов костных фрагментов и миграции имплантатов в области синтезированной перелома, сохранение адаптации отломков и регенерацию в зоне перелома остеопорозной кости (рис. 7).

Анализ результатов использования металлических винтов продемонстрировал риски фрагментации костных отломков лодыжки и вторичного смещения (рис. 8а), что потребовало реостеосинтеза с переходом к другой технологии — по Веберу (рис. 8b).

В 12,5% (2) случаев у больных с авульсивными переломами лодыжек при наличии остеопороза отмечен раскол и миграция костного фрагмента, что потребовало реостеосинтеза (χ^2 Пирсона $df = 1, 1,41, p = 0,23, Mc Nemar \chi^2 11,53, p = 0,007$).

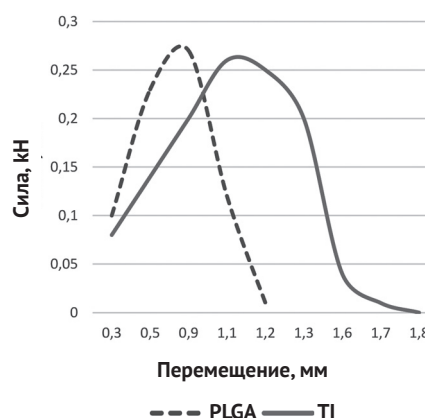


Рис. 6. Разрывное усилие для миграции титанового винта и биодеградируемого пина (Т-критерий $\leq -1,5$ — остеопения и остеопороз)

Fig. 6. Breaking strength for the titanium screw and bioabsorbable pin migration (T-score ≤ -1.5 — osteopenia and osteoporosis)

Таблица 1

Эффективность остеосинтеза краевых фрагментов

Параметр	Вид имплантата		
	титановый винт	биodeградируемый пин	биodeградируемый винт
Количество моделей остеосинтеза	11 (100%)	10 (100%)	9 (100%)
Раскол костного фрагмента	3 (27,2%)	0	0
Стабильный остеосинтез	8 (72,72%)	10 (100%)	10 (100%)

Таблица 2

Результаты остеосинтеза краевых фрагментов в клинической практике (n)

Результат	Вид имплантата					
	титановый винт		биodeградируемый пин		биodeградируемый винт	
	остеопороз	здоровая кость	остеопороз	здоровая кость	остеопороз	здоровая кость
Стабильный остеосинтез	12	14	7	3	15	9
Разрушение отломка и остеосинтез по Веберу	2	1	0	0	0	0
Ложный сустав по данным рентгенологического исследования	1	0	0	0	0	0
Смещение костного отломка после остеосинтеза и ранняя миграция винта	1	0	0	0	0	0

Костный канал биodeградируемого винта



Рис. 7. Рентгенограмма медиальной лодыжки через 2 нед. после остеосинтеза биodeградируемым винтом

Fig. 7. X-ray of the medial ankle 2 weeks after osteosynthesis with a bioabsorbable screw

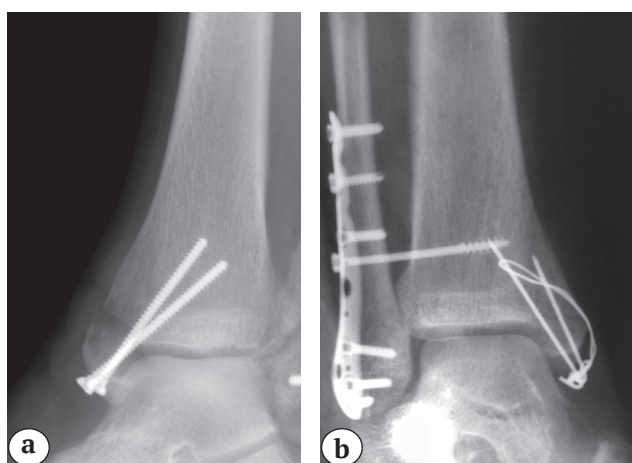


Рис. 8. Рентгенограммы медиальной лодыжки после остеосинтеза металлическим винтом: а — раскол и миграция костного фрагмента; б — реостесинтез по Веберу в условиях остеопороза

Fig. 8. X-rays of the medial ankle after osteosynthesis with a metal screw: a — fracture and migration of bone fragment; b — refixation by Veber in osteoporosis

Обсуждение

Многие авторы отмечают рост числа авульсионных переломов лодыжек, прежде всего у больных пожилого возраста с низким уровнем минеральной плотности кости и наличием трудных для остеосинтеза мелких фрагментов, что ухудшает результаты остеосинтеза [18, 19]. Важным фактором прогнозируемости стабильного остеосинтеза является прочность фиксации винта в кости. О.С. Thiele с соавторами для 3,5 мм титановых винтов АО показали зависимость прочности их фиксации в кости от степени выраженности остеопороза, где результаты pull-out теста для кортикальной кости снижались от 2500 N при отсутствии признаков остеопороза и до 1300 N при наличии остеопороза тяжелой степени [32]. То есть традиционно применяемая в травматологии винтовая фиксация с модификациями резьбы не оправдывает себя в отношении фрагментарных переломов при остеопорозной кости.

Полученные нами в ходе стендовых экспериментов результаты pull-out теста соответствуют данным Ю.В. Ларцева с соавторами о многоэтапном характере миграции металлического винта АО в процессе механического разобщения соединенных костных фрагментов при усилиях 0,09–0,14 кН [22]. Полученные нами в эксперименте данные об устойчивости синтезированных отломков кости к напряжению механического разобщения после фиксации биодеградируемыми винтами в сравнении с титановыми коррелируют с данными исследования М.В. Кроебер с соавторами [33], где они оказались существенно выше при фиксации в губчатой кости биодеградируемого винта ($68,5 \pm 3,3$ N), чем у титанового винта ($3 \pm 1,4$ N, $p < 0,05$). Это позволяет сделать вывод о преимуществе биодеградируемых винтов при выполнении некоторых видов остеосинтеза. Описанные преимущества биодеградируемых пинов и винтов объясняются изменениями объема изделия из биодеградируемого материала с возникающей трансформацией геометрии в виде увеличения диаметра с одновременным укорочением вследствие молекулярной гидратации, что приводит к прочной фиксации пинов и винтов в кости [26, 28]. Одноплоскостной характер усилия без применения ротационного воздействия при введении пина в мелкие фрагменты кости значительно снижает риски их фрагментации [30, 31].

Небольшой объем анализируемых данных является ограничением проведенного нами исследования. Однако полученные статистически значимые результаты подтверждают гипотезу о недостаточности якорных свойств металлического винта при остеосинтезе авульсионных переломов лодыжек у больных с нарушением минеральной

плотности кости и снижении риска фрагментации и без того мелких костных фрагментов в условиях остеопороза при использовании биодеградируемых фиксаторов ($t = -1,017$, $p = 0,324$). В то же время в условиях здоровой кости прочность фиксации фрагментов титановым винтом оказалась сопоставимой с показателями биодеградируемых конструкций ($p = 0,133$). Полученные результаты позволяют рекомендовать биодеградируемые пины и винты для остеосинтеза скомпрометированной остеопорозом кости.

Однако стендовые испытания не позволяют оценить сравнительную динамику фиксационных характеристик в зависимости от скорости биодеградации и резистентности к различным типам механических нагрузок, что нуждается в дальнейшем изучении.

Заключение

Для остеосинтеза авульсионных переломов типа 44A1-44A2, 44B2 по классификации АО при нормальной минеральной плотности кости могут использоваться как металлические, так и биодеградируемые фиксаторы.

При остеосинтезе кости с измененными биомеханическими свойствами предпочтительнее использовать биодеградируемые имплантаты, так как металлические имплантаты могут вызывать раскол и миграцию костных фрагментов. Это подтверждается результатами и экспериментального, и клинического этапов исследования.

Этика публикации: пациенты дали добровольное информированное согласие на публикацию клинического наблюдения.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Литература [References]

1. Ахтямов И.Ф., Шакирова Ф.В., Гатина Э.Б., Манирамбона Ж.К., Алиев Э.И. Морфологическое исследование локального влияния имплантатов с покрытиями на основе сверхтвердых соединений на костную ткань в условиях индуцированной травмы. *Гений ортопедии*. 2015;(1):65-68. DOI: 10.18019/1028-4427-2015-1-65-70. Ahtiamov I.F., Shakirova F.V., Gatina E.B. Manirambona Zh.K., Aliev E.I. [A morphological study of the local effect of the implants with superhard-compound coatings on bone tissue under the conditions of induced trauma]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2015;(1):65-68. DOI: 10.18019/1028-4427-2015-1-65-70. (In Russ.).
2. Boby J.D., Pilliar R.M., Cameron H.U., Weatherly G.C. The optimum pore size for the fixation of porous-surfaced metal implants by the ingrowth of bone. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;(150):263-270.
3. Witte F. The history of biodegradable magnesium implants: a re-view. *Acta Biomater*. 2010;6(5):1680-1692. DOI: 10.1016/j.actbio.2010.02.028.

4. Rae T. The toxicity of metals used in orthopaedic prostheses. An experimental study using cultured human synovial fibroblasts. *J Bone Joint Surg Br.* 1981;63-B(3):435-440.
5. Steinemann S.G. Metal implants and surface reactions. *Injury.* 1996;(3):16-22. DOI: 10.1016/0020-1383(96)89027-9.
6. Карбышева С.Б., Григоричева Л.Г., Жильцов И.В. D-лактат — маркер бактериального воспаления нативных и протезированных суставов. *Травматология и ортопедия России.* 2017;(2):6-13. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-6-14. Karbysheva S.B., Grigoricheva L.G., Zhil'cov I.V. [Synovial fluid D-lactate — bacterial-specific marker for infection of native and prosthetic joints]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;(2):6-13. DOI: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-6-14. (In Russ.).
7. Wegmann K., Gick S., Heidemann C., Pennig D., Neiss W.F., Müller L.P. et al. Biomechanical evaluation of the primary stability of pedicle screws after augmentation with an innovative bone stabilizing system. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(11):1493-1499. DOI: 10.1007/s00402-013-1842-2.
8. Luo Y.G., Yu T., Liu G.M., Yang N. Study of bone-screw surface fixation in lumbar dynamic stabilization. *Chin Med J.* 2015;128(3):368-372. DOI: 10.4103/0366-6999.150107.
9. Дулаев А.К., Цед А.Н., Джусоев И.Г., Усубалиев К.Н. Остеосинтез переломов шейки бедренной кости: динамический бедренный винт (DHS) или мини-инвазивная система Targon FN? *Травматология и ортопедия России.* 2015;(3):12-21. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-3-12-21. Dulaev A.K., Tsed A.N., Dzhusoev I.G., Usubaliev K.N. [Osteosynthesis of femoral neck fractures: dynamic hip screw (DHS) or mini-invasive Targon FN system]. *Travmatologiya i Ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2015;(3):12-21. DOI: 10.21823/2311-2905-2015-0-3-12-21. (In Russ.).
10. Gristina A.G. Biomaterial centered infection: microbial adhesion vs tissue integration. *Science.* 1987;(237):1588-1595. DOI: 10.1126/science.3629258.
11. Антониади Ю.В., Волокитина Е.А., Черницын Д.Н., Помогаева Е.В., Гилев М.В. Активная хирургическая тактика при лечении гнойно-воспалительных осложнений остеосинтеза околоуставных переломов. *Вопросы травматологии и ортопедии.* 2012;4(5):25-27. Antoniadì Ju.V., Volokitina E.A., Chernicyn D.N., Pomogaeva E.V., Gilev M.V. [Active surgical tactics at treatment of purulent-inflammatory complications osteosynthesis periarticular fractures]. *Voprosy travmatologii i ortopedii.* 2012;4(5):25-27. (In Russ.).
12. Hughes T.B. Bioabsorbable Implants in the Treatment of Hand Fractures: An Update. *Clin Orthop.* 2006;169-174. DOI: 10.1097/01.blo.0000205884.81328.cc.
13. Waris E., Konttinen Y.T., Ashammakhi N. Bioabsorbable fixation devices in trauma and bone surgery: current clinical standing. *Expert Rev Med Devices.* 2004;1(2):229-240. DOI: 10.1586/17434440.1.2.229.
14. Воронкевич И.А., Парфеев Д.Г., Конев В.А., Авдеев А.И. К вопросу о удалении имплантов, по мнению отечественных хирургов травматологов-ортопедов. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(6):112. Voronkevich I.A., Parfeev D.G., Konev V.A., Avdeev A.I. On the issue of removal of implants, according to domestic surgeons traumatologists, orthopedists. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija.* 2017;(6):112.
15. Molster A., Behring J., Gjerdet N.R., Ekeland A. Removal of osteosynthetic implants. *Tidsskr Nor Laegeforen.* 2002;(122):2274-2276. (In Russ.).
16. Milia M.J., Vincent A.B., Bosse M.J. Retrograde removal of an incarcerated solid titanium femoral nail after subtrochanteric fracture. *J Orthop Trauma.* 2003;(17):521-524. DOI: 10.1097/00005131-200308000-00008.
17. Головаха М.Л., Кожемяка М.А., Панченко С.П., Красовский В.Л. Оценка напряжения и деформации системы «кость — фиксатор» при накостном остеосинтезе переломов наружной лодыжки. *Ортопедия, травматология и протезирование.* 2014;(4):15. DOI: 10.15674/0030-59872014414-19. Golovaha M.L., Kozhemjaka M.A., Panchenko S.P., Krasovskij V.L. As-sessment of strain and deformation of the "bone-fixation" system in the case of osteosynthesis of the fractures of the external malleolus. *Ortopediya, travmatologija i protezirovanie.* 2014;(4):15. DOI: 10.15674/0030-59872014414-19. (In Russ.).
18. Каллаев Н.О., Лыжина Е.Л., Каллаев Т.Н. Сравнительный анализ оперативных методов лечения около- и внутрисуставных переломов и переломовывихов голеностопного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2004;5(4):32-35. Kallaev N.O., Lyzhina E.L., Kallaev T.N. Comparative analysis of surgical treatment of peri- and intraarticular fractures and fracture-dislocations of mortise joint. *Vestnik travmatologii i ortopedii im N.N. Priorova.* 2004;5(4):32-35. (In Russ.).
19. Yunfeng L. Strontium ranelate treatment enhances hydroxyapatite-coated titanium screws fixation in osteoporotic rats. *J Orthop Res.* 2009;578-582. DOI: 10.1002/jor.21050.
20. Jones H.W., Johnston P., Parker M. Are short femoral nails superior to the sliding hip screw? A meta-analysis of 24 studies in volving 3,279 fractures. *Clin Orthop.* 2006;(2):69-78. DOI: 10.1007/s00264-005-0028-0.
21. Seemab M., Ansari U., Ali M.N., Rana N.F. Internal fixation: An evolutionary appraisal of methods used for long bone fractures. *IJBAR.* 2014;3(5):142-149. DOI: 10.7439/ijbar.v5i3.627.
22. Ларцев Ю.В., Шерешовец А.А. Особенности применения нового металлофиксатора для остеосинтеза при остеопении в исследовании на трупах. *Наука и инновации в медицине.* 2017;(3):28-30. Larcev Ju.V., Shereshovec A.A. Features of the application of the new metal fixator for osteosynthesis in osteopenia in post-mortem examination. *Nauka i innovacii v medicine.* 2017;(3):28-30. (In Russ.).
23. Ганжа А.А., Гюльназарова С.В. О возможности предупреждения расшатывания имплантатов при остеосинтезе в условиях остеопороза. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(6):125-128. Ganzha A.A., Gjul'nazarova S.V. About prevention of the implants loosening by osteosynthesis in osteoporosis condition. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija* [Modern Problems of Science and Education]. 2017;(6):125-128. (In Russ.).
24. Lee M.C., Jo H., Bae T.S. Analysis of initial fixation strength of press-fit fixation technique in anterior cruciate ligament reconstruction. A comparative study with titanium and bioabsorbable interference screw using porcine lower limb. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2003;11(2):91-98. DOI: 10.1007/s00167-003-0351-1.
25. Якимов Л.А., Слияков Л.Ю., Бобров Д.С. Биодegradуемые импланты. Становление и развитие. Преимущества и недостатки. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2017;(1):44-47.

- Jakimov L.A., Slinjakov L.Ju., Bobrov D.S. [Biodegradable implants. Formation and development. Advantages and drawbacks]. *Kafedra travmatologii i ortopedii* [Department of Traumatology and Orthopedics]. 2017;(1):44-47. (In Russ.).
26. Ibrahim A.M.S., Kuylhee K., Perrone G.S., Kaplan D.L., Lin S.J. Absorbable biologically based internal fixation. *Clin Podiatr Med Surg.* 2015;(32):61-72. DOI: 10.1016/j.cpm.2014.09.009.
27. Macarini L., Murrone M., Marini S. [MRI in ACL reconstructive surgery with PDLA bioabsorbable interference screws: evaluation of degradation and osteointegration processes of bioabsorbable screws]. *Radiol Med.* 2004;107(1-2):47-57. (in Ital).
28. Eglin D., Alini M. Degradable polymeric materials for osteosynthesis: tutorial. *Eur Cell Mater.* 2008;80-91. DOI: 10.22203/ecm.v016a09.
29. Бельский И.Г., Сергеев Г.Д., Гудзь Ю.В., Григорян Ф.С. История, современное состояние и перспективы развития методов накостного остеосинтеза. *Современные проблемы науки и образования.* 2016;(5):77.
- Belenkiy I.G., Sergeev G.D., Gudz Y.V., Grigoryan F.S. [History, modern state and perspectives of development of plate internal fixation methods]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2016;(5):77. (In Russ.).
30. Backman D., Uhthoff H., Poitras P., Schwamberger A. Mechanical performance of a fracture plate incorporating bioresorbable inserts. *J Bone Joint Surg.* 2004;86(Suppl 3):300.
31. Рюди Т.П., Бакли Р.Э., Моран К.Г. АО — принципы лечения переломов. Т. 1. Минск: Васса Медиа; 2013. 470 с. Rudy T.P., Buckley R.E., Moran K.G. [AO – principles of fracture treatment]. Vol. 1. Minsk: Vassa Media; 2013. 470 p. (In Russ.).
32. Thiele O.C., Eckhardt C, Linke B; Schneider E; Lill C.A. Factors affecting the stability of screws in human cortical osteoporotic bone. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;(89):701-705.
33. Kroeber M.W., Rovinsky D., Haskell A., Heilmann M., Llotz J., Otsuka N. Biomechanical testing of bioabsorbable cannulated screws for slipped capital femoral epiphysis fixation. *Orthopedics.* 2002;25(6):659-662.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Резник Леонид Борисович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Омск

Гурьев Владимир Васильевич — д-р мед. наук, профессор, руководитель центра травматологии и ортопедии, НУЗ «Дорожная клиническая больница им. Н.А. Семашко на ст. Люблино ОАО «РЖД», г. Москва

Туршев Михаил Анатольевич — канд. мед. наук, ассистент кафедры травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Омск

Негров Дмитрий Анатольевич — канд. мед. наук, доцент кафедры машиностроения и материаловедения, ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет» Минобрнауки России, г. Омск

Ильин Роман Евгеньевич — врач травматолог-ортопед травматолого-ортопедического отделения, ГБУЗ ЯНАО «Ноябрьская центральная городская больница», г. Ноябрьск

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Leonid B. Reznik — Dr. Sci. (Med.), professor, head of the Department Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

Vladimir V. Guryev — Dr. Sci. (Med.), professor, head of the Trauma and Orthopedic Department, Semashko Road Clinical Hospital at st. Lyublino of Russian Railways, Moscow, Russian Federation

Mikhail A. Turushev — Cand. Sci. (Med.), assistant, Department Traumatology and Orthopedics, Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

Dmitrii A. Negrov — Cand. Sci. (Med.), assistant professor of Faculty Machine building and materiology, Omsk State Technical University, Omsk, Russian Federation

Roman E. Il'in — orthopedic surgeon, Noyabrsk Central City Hospital, Noyabrsk, Russian Federation