

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2025

УДК 616-053.2

Серова Н.Ю.¹, Челпаченко О.Б.^{1,2}, Яцык С.П.³, Никишов С.О.¹, Лушников А.М.¹, Артифексова А.А.⁴

Определение безопасности биорезорбируемого имплантата на основе полилактат-когликолида в эксперименте

¹ГБУЗ «Научно-исследовательский институт неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошалья» Департамента здравоохранения города Москвы, 119180, Москва, Россия;

²ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр здоровья детей» Минздрава России, 119991, Москва, Россия;

³ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 125993, Москва, Россия;

⁴Медицинский информационно-аналитический центр, 603000, Нижний Новгород, Россия

Резюме

Введение. Лечение переломов костей с нарушением зоны роста у детей является актуальной задачей. Около- и внутрисуставные переломы являются частым повреждением опорно-двигательного аппарата у детей. Однако нерешённым остаётся вопрос выбора безопасного фиксатора.

Цель работы: определить безопасность биорезорбируемого имплантата на основе полилактат-когликолида (ПЛГА) для хирургического лечения дистального метаэпифизеолиза большеберцовой кости у детей.

Материалы и методы. Работа выполнена на 120 белых крысах в возрасте 3 мес, массой 110–120 г. Животные были распределены на 2 группы: основную группу составили 100 крыс, по 50 самок и самцов. Животным этой группы внутрибрюшинно были имплантированы фрагменты биополимера ПЛГА. Заживление происходило естественным путём. Контрольная группа состояла из 20 крыс, по 10 самок и самцов, этим животным имплантация биополимера не производилась. Наблюдение осуществляли в течение 3 мес от даты имплантации.

Результаты. Имплантат на основе ПЛГА не оказывал негативного влияния на состояние животных, признаков воспаления не отмечено. Через 3 мес имплантат разрушался в брюшной полости животных. Значимых отклонений в состоянии животных, снижении массы их тела, изменений в анализах крови не выявлено.

Заключение. Биополимер на основе ПЛГА может использоваться в качестве биорезорбируемого фиксатора при около- и внутрисуставных переломах костей.

Ключевые слова: биodeградируемый имплантат; полилактат-когликолид; околосуставные переломы; внутрисуставные переломы; детская травматология

Для цитирования: Серова Н.Ю., Челпаченко О.Б., Яцык С.П., Никишов С.О., Лушников А.М., Артифексова А.А. Определение безопасности биорезорбируемого имплантата на основе полилактат-когликолида в эксперименте. *Российский педиатрический журнал*. 2025; 28(2): 114–118. <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-2-114-118> <https://elibrary.ru/drukte>

Для корреспонденции: Серова Наталья Юрьевна, ст. науч. сотр. отдела травматологии и медицины катастроф ГБУЗ «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошалья» ДЗМ, serova_tu@yahoo.com, serovany@zdrav.mos.ru

Участие авторов: Серова Н.Ю., Яцык С.П., Челпаченко О.Б., Артифексова А.А. — концепция и дизайн исследования; Серова Н.Ю., Лушников А.М. — сбор и обработка материала, статистическая обработка материала; Серова Н.Ю., Челпаченко О.Б. — написание текста; Серова Н.Ю., Челпаченко О.Б., Артифексова А.А. — научное редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 04.03.2025
Принята к печати 18.03.2025
Опубликована 29.04.2025

Natalia Yu. Serova¹, Oleg B. Chelpachenko^{1,2}, Sergey P. Yatsyk³, Sergey O. Nikishov¹, Aleksandr M. Lushnikov¹, Anna A. Artifeksova⁴

Experimental determination of the safety of bioresorbable polylactate-coglycolide-based implants

¹Research Institute of Emergency Pediatric Surgery and Traumatology — Dr. Roshal's Clinic, Moscow, 119180, Russian Federation;

²National Medical Research Center for Children's Health, Moscow, 119991, Russian Federation;

³Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, 125993, Russian Federation;

⁴Medical Information and Analytical Center, N. Novgorod, 603000, Russian Federation

Summary

Introduction. Treatment of bone fractures with growth zone disorders in children is an urgent task. Near- and intra-articular fractures are common injuries to the musculoskeletal system in children. However, the issue of choosing a safe retainer remains unresolved. Objective. To determine the safety of a bioresorbable polylactate-coglycolide (PLGA) implant for the surgical treatment of distal tibial metaepiphyseolysis in children.

Materials and methods. The work was performed on one hundred twenty white 3 months rats, weighing 110–120 g. The animals were divided into 2 groups: the main group consisted of 100 rats, 50 females and males each. Fragments of PLGA biopolymer were implanted intraperitoneally in animals of this group. The healing took place naturally. The control group consisted of 20 rats, 10 females and 10 males each, and no biopolymer was implanted in these animals. The observation was carried out for 3 months from the date of implantation.

Results. The PLGA-based implant had no adverse effect on the condition of the animals, and there were no signs of inflammation. After 3 months, the implant was destroyed in the abdominal cavity of the animals. There were no significant deviations in the condition of the animals, a decrease in their body weight, or changes in blood tests.

Conclusion. A biopolymer based on PLGA can be used as a bioresorbable fixative for near- and intra-articular bone fractures.

Keywords: *biodegradable implant; polylactate-coglycolide; near-articular fractures; intra-articular fractures; pediatric traumatology*

For citation: Serova N.Yu., Chelpachenko O.B., Yatsyk S.P., Nikishov S.O., Lushnikov A.M., Artifeksova A.A. Experimental determination of the safety of bioresorbable polylactate-coglycolide-based implants. *Rossiyskiy Pediatricheskiy Zhurnal (Russian Pediatric Journal)*. 2025; 28(2): 114–118. (in Russian). <https://doi.org/10.46563/1560-9561-2025-28-2-114-118> <https://elibrary.ru/drukete>

For correspondence: *Natalia Yu. Serova*, MD, PhD, senior researcher, Department of traumatology and disaster medicine, Research Institute of Emergency Surgery and Traumatology — Dr. Roshal's Clinic of the Moscow Department of Health, Moscow, 119180, Russian Federation, serova_tu@yahoo.com; serovany@zdrav.mos.ru

Contributions: Serova N.Yu., Yatsyk S.P., Chelpachenko O.B., Artifeksova A.A. — concept and design of the study; Serova N.Yu., Lushnikov A.M. — collection and processing of material, statistical processing of the material; Serova N.Yu., Chelpachenko O.B. — writing the text; Serova N.Yu., Chelpachenko O.B., Artifeksova A.A. — editing the text. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Information about the authors:

Serova N.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-2527-2956>
Chelpachenko O.B., <https://orcid.org/0000-0002-0333-3105>
Yatsyk S.P., <https://orcid.org/0000-0001-6966-1040>
Nikishov S.O., <https://orcid.org/0000-0003-1052-2913>
Lushnikov A.M., <https://orcid.org/0009-0006-0068-0319>
Artifeksova A.A., <https://orcid.org/0009-0007-8085-0476>

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received: March 04, 2025

Accepted: March 18, 2025

Published: April 29, 2025

Введение

В последние годы достигнут значительный прогресс в разработке хирургических технологий остеосинтеза костей скелета с применением биорезорбируемых имплантатов [1, 2]. Подобные имплантаты используются в травматологии в качестве штифтов и винтов и позволяют исключить дополнительные вмешательства по удалению имплантата [3]. Полимерные фиксаторы, как правило, изготовлены на основе полимолочной кислоты, не обладают остеогенной активностью, а заживление перелома происходит в обычные сроки [4, 5]. Возможность замещения различных металлоконструкций биodeградируемыми полимерами является актуальной темой в травматологии и ортопедии [5, 6]. Полимер молочно-гликолевой кислоты (ПЛГА) является известным биоразлагаемым материалом. Повышенный интерес травматологов к применению биodeградируемых имплантатов открыл для ПЛГА перспективное будущее при лечении переломов [7, 8]. Однако определение безопасности биodeградируемых имплантатов на основе ПЛГА для внедрения в практику детского травматолога ещё не проводилось в необходимом объёме.

Цель работы: определить безопасность биорезорбируемого имплантата на основе ПЛГА для хирургического лечения дистального метаэпифизеолиза большеберцовой кости у детей.

Материалы и методы

Эксперименты выполнены на лабораторных белых крысах. Содержание животных и все исследования с их участием проводили в строгом соответствии с современными стандартами по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей. Эксперименты были проведены на 50 крысах-самках возрастом 3 мес (масса тела 110–120 г) и 50 самцах воз-

растом 3 мес (масса тела 100–120 г). Для контроля выбранны 20 животных обоих полов того же возраста и веса.

Основные периоды обследования регламентированы стандартами, относящимися к имплантации биостабильных материалов, которые в норме составляют 1–12 нед. Имплантацию фрагментов ПЛГА в брюшную полость животных проводили под лёгким эфирным наркозом: образцы вводили внутрибрюшинно по 20 штук, длина каждого фрагмента 0,5 см, диаметр 1,5 мм. Одновременно из вены хвоста животных осуществляли забор крови для анализа.

Все животные после операции проснулись, были активны. Лабораторные показатели определяли в начале эксперимента и затем в динамике через 1, 2 и 3 мес. При этом одновременно проводили общий анализ крови и биохимический анализ: общий белок, аланинаминотрансфераза, общая α -амилаза, мочевины, креатинин, глюкоза, холестерин, общий билирубин.

Тема работы и дизайн исследования были одобрены независимым локальным этическим комитетом.

Статистический анализ проводился с использованием программы «StatTech v. 4.7.1» («Статтех»). В случае отсутствия нормального распределения данные описывали с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей [Q_1 ; Q_3]. При сравнении нормально распределённых показателей, рассчитанных для двух связанных выборок, использовали парный t -критерий Стьюдента. При сравнении показателей, распределение которых отличалось от нормального, в двух связанных группах использовали критерий Вилкоксона. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

У всех животных после внутрибрюшинного введения имплантатов на основе ПЛГА общее состояние бы-

Таблица 1 / Table 1

Изменения общего анализа крови в динамике после введения имплантантов на основе ПЛГА, $M \pm SD$ (95% ДИ)/Me [Q₁; Q₃]
 Changes in trend in the overall blood count after the introduction of polylactide-glycolide-based implants, $M \pm SD$ (95% CI)/Me [Q₁; Q₃]

Показатель Parameter		Самки Female rats		p*	Самцы Male rats		p*
		опыт experiment (n = 50)	контроль control (n = 20)		опыт experiment (n = 50)	контроль control (n = 20)	
Эритроциты, $\times 10^6/\mu\text{L}$ Red blood cells, $\times 10^6/\mu\text{L}$	исходно initially	7,4 [7,1; 7,7]	7,2 \pm 0,5 (7,0–7,5)	0,248	7,4 \pm 0,5 (7,2–7,4)	7,5 \pm 0,6 (7,2–7,7)	0,928
	через 1 мес 1 month	7,4 \pm 0,6 (7,2–7,5)	7,5 \pm 0,6 (7,2–7,8)	0,268	7,4 \pm 0,6 (7,2–7,6)	7,5 \pm 0,5 (7,2–7,7)	0,674
	через 2 мес 2 months	7,3 \pm 0,5 (7,2–7,5)	7,6 \pm 0,6 (7,3–7,8)	0,421	7,4 \pm 0,5 (7,3–7,6)	7,4 \pm 0,4 (7,2–7,6)	0,700
	через 3 мес 3 months	7,4 \pm 0,5 (7,2–7,5)	7,4 \pm 0,5 (7,1–7,6)	0,650	7,4 \pm 0,5 (7,2–7,5)	7,4 \pm 0,6 (7,1–7,7)	0,950
Гемоглобин, г/дл Haemoglobin, g/dL	исходно initially	15,2 [14,3; 15,9]	15,1 \pm 1,2 (14,6–15,7)	0,717	15,3 [14,3; 15,9]	15,3 \pm 1,2 (14,6–15,9)	0,751
	через 1 мес 1 month	15,7 [15,1; 16,1]	15,7 [15,3; 16,2]	0,647	15,6 [14,9; 16,12]	15,7 [14,9; 16,3]	0,469
	через 2 мес 2 months	15,5 [14,9; 16,0]	15,7 [13,3; 16,1]	0,872	15,5 [14,8; 16,0]	15,6 [15,0; 16,0]	0,931
	через 3 мес 3 months	15,3 [14,3; 16,0]	15,2 \pm 1,3 (14,6–15,8)	0,846	15,4 [14,0; 15,9]	15,7 [15,1; 16,0]	0,784
Тромбоциты, $\times 10^3/\mu\text{L}$ Platelets $\times 10^3/\mu\text{L}$	исходно initially	1034 [867; 1185]	1034 \pm 197 (942–1126)	0,953	1022 [866; 1164]	917 [9878; 1166]	0,388
	через 1 мес 1 month	894 [840; 1164]	894 [840; 1161,75]	0,841	892 [840; 1161]	871 [837; 1161]	0,985
	через 2 мес 2 months	941 [891; 1161]	856 (821–1162)	0,469	964 [840; 1161]	972 [893; 1138]	0,756
	через 3 мес 3 months	1020 [846; 1170]	1071 [826; 1196]	0,756	1045 [894; 1253]	906 [860; 1154]	0,409
Нейтрофилы сегментоядерные, $\times 10^3/\mu\text{L}$ Segmented neutrophils, $\times 10^3/\mu\text{L}$	исходно initially	1,0 [0,7; 1,5]	1,1 \pm 0,4 (0,9–1,3)	0,844	0,9 [0,7; 1,5]	1,1 \pm 0,5 (0,9–1,3)	0,390
	через 1 мес 1 month	1,0 [0,7; 1,5]	1,1 \pm 0,6 (0,9–1,4)	0,596	1,0 [0,7; 1,2]	0,8 [0,7; 1,3]	0,740
	через 2 мес 2 months	0,9 [0,7; 1,5]	0,8 [0,7; 1,3]	0,702	0,9 [0,7; 1,5]	0,9 [0,7; 1,4]	0,776
	через 3 мес 3 months	0,9 [0,7; 1,5]	1,2 \pm 0,6 (0,9–1,5)	0,886	0,9 [0,7; 1,5]	1,1 \pm 0,4 (0,9–1,3)	1,000
Моноциты, $\times 10^3/\mu\text{L}$ Monocytes, $\times 10^3/\mu\text{L}$	исходно initially	0,5 [0,0; 1,1]	0,6 [0,0; 1,0]	0,262	0,4 [0,0; 0,8]	0,6 [0,0; 1,0]	0,887
	через 1 мес 1 month	0,6 [0,0; 0,9]	0,6 [90,0; 1,0]	0,983	0,6 [0,0; 1,1]	0,6 \pm 0,5 (0,4–0,8)	0,365
	через 2 мес 2 months	0,3 [0,0; 0,8]	0,5 [0,0; 1,0]	0,897	0,5 [0,0; 0,9]	0,4 [0,0; 0,8]	0,277
	через 3 мес 3 months	0,6 [0,0; 1,1]	0,5 [0,0; 0,8]	0,553	0,1 [0,0; 0,7]	0,4 [0,0; 1,1]	0,132
Лимфоциты, $\times 10^3/\mu\text{L}$ Lymphocytes, $\times 10^3/\mu\text{L}$	исходно initially	8,3 \pm 2,9 (7,5–9,1)	8,4 \pm 2,6 (7,2–9,6)	0,637	8,3 \pm 2,8 (7,5–9,0)	8,4 \pm 2,6 (7,2–9,6)	0,915
	через 1 мес 1 month	8,7 \pm 2,4 (8,0–9,4)	8,7 \pm 3,2 (7,2–10,2)	0,895	8,0 [6,8; 10,9]	8,5 \pm 2,5 (7,3–9,7)	0,953
	через 2 мес 2 months	8,5 [6,9; 10,8]	9,1 \pm 2,8 (7,8–10,4)	0,977	8,1 \pm 2,5 (7,4–8,8)	7,8 \pm 3,1 (6,4–9,2)	0,855
	через 3 мес 3 months	8,6 \pm 2,7 (7,8–9,3)	8,1 \pm 3,0 (6,7–9,6)	0,838	7,3 [5,8; 10,0]	8,8 \pm 2,2 (7,7–9,8)	0,498

Примечание. *U-критерий Манна–Уитни.

Note. *U-test Mann–Whitney.

ло удовлетворительным. Не выявлено изменений функционирования основных систем организма животных. Никаких нарушений в питании, выплаивании, наличии инфекционных болезней или неврологических отклонений у животных не отмечено. Клиническая картина соответствовала нормальному поведению и состоянию

животных. В движении и в покое животные имели физиологическое положение в пространстве. После введения имплантантов на основе ПЛГА у животных не выявлено значимых различий в динамике показателей общего анализа крови в начале опыта, через 1, 2 и 3 мес (табл. 1).

Таблица 2 / Table 2

Изменения биохимического анализа крови в динамике после введения имплантантов на основе ПЛГА, М ± SD (95% ДИ)/Me [Q₁; Q₃]

Changes in the biochemical blood analysis dynamics after the introduction of polylactide-glycolide-based implants, M ± SD (95% CI)/Me [Q₁; Q₃]

Показатель Parameter	Самки Female rats (n = 20)			p*	Самцы Male rats (n = 20)			p*
	исходно initially	через 1 мес 1 month	через 3 мес 3 months		исходно initially	через 1 мес 1 month	через 3 мес 3 months	
Общий белок, г/л Total protein, g/L	92,5 [90,0; 98,5]	99,2 ± 3,4 (97,6–100,8)	99,2 ± 3,4 (97,6–100,8)	0,051	92,5 [89,8; 97,2]	99,2 ± 3,4 (97,6–100,8)	100,5 [95,0; 107,0]	0,079
Аланинаминотрансфераза, ЕД/л Alanine aminotransferase, U/L	118,2 ± 16,1 (110,6–125,7)	118,2 ± 13,2 (112,0–124,3)	117,7 ± 12,9 (111,6–123,7)	0,989	119,5 [107,5; 136,0]	116,5 ± 13,8 (110,0–123,0)	130,0 [123,5; 133,2]	0,316
Общая α-амилаза, ЕД/л General α-amylase, U/L	536,6 ± 38,4 (518,6–554,6)	517,4 ± 43,3 (497,1–537,7)	517,4 ± 43,3 (497,1–537,7)	0,303	524,0 [502,0; 565,0]	517,4 ± 43,3 (497,1–537,7)	530,3 ± 60,9 [501,8; 558,8]	0,350
Мочевина, ммоль/л Urea, mmol/L	10,7 ± 2,5 (9,5–11,8)	10,5 [9,0; 13,0]	10,5 [9,0; 13,0]	0,941	10,3 ± 2,3 (9,3–11,4)	10,5 [9,0; 13,0]	10,5 [9,0; 13,0]	0,625
Креатинин, моль/л Creatinine, mol/L	85,6 ± 10,2 (80,8–90,4)	87,0 ± 8,0 (83,0–91,0)	87,1 ± 7,8 (83,3–90,8)	0,943	85,7 ± 9,0 (81,4–89,9)	87,1 ± 7,8 (83,3–90,8)	86,5 ± 7,9 [82,9; 90,2]	0,884
Глюкоза, моль/л Glucose, mol/L	9,1 [8,8; 9,6]	8,9 [8,8; 9,6]	8,9 [8,8; 9,6]	0,869	9,0 [8,8; 9,7]	8,9 [8,8; 9,6]	8,9 [8,8; 9,6]	0,863
Холестерин, моль/л Cholesterol, mol/L	2,2 [2,1; 2,5]	2,2 [2,1; 2,4]	2,2 [2,1; 2,4]	0,986	2,2 [2,2; 2,4]	2,2 [2,1; 2,4]	2,2 [2,1; 2,4]	0,959
Общий билирубин, мкмоль/л General bilirubin, μM /L	0,7 ± 0,3 (0,5–0,8)	0,8 [0,4; 0,9]	0,8 [0,4; 0,9]	0,759	0,7 ± 0,4 (0,5–0,9)	0,8 [0,4; 0,9]	0,8 [0,4; 0,9]	0,654

Примечание. *U-критерий Манна–Уитни.

Note. *U-test Mann–Whitney.

После имплантации фрагментов на основе ПЛГА животным биохимические показатели крови существенно не изменялись в начале опыта и динамике (табл. 2).

Таким образом, представленные данные свидетельствуют об отсутствии значимого влияния имплантантов на основе ПЛГА на состояние экспериментальных животных и их жизнедеятельность.

Обсуждение

Лечение переломов с повреждением зоны роста костей у детей, несомненно, является актуальной задачей для детской травматологии. Традиционно преобладает консервативное лечение переломов. Однако значимые смещения требуют закрытой репозиции. В тех случаях, когда не удаётся сохранить стояние отломков после закрытой репозиции, применяют металлоостеосинтез спицами с последующей гипсовой иммобилизацией. Однако пока не создан фиксатор с совместимой полимерной биодеградируемой структурой, не требующий удаления в последующем [3, 8]. Имеются полимеры без остеогенной активности с обычными сроками биодеградации полимеров: полилактат, поликапрол и ПЛГА [8, 9]. Однако работы для подтверждения биобезопасности и отсутствия токсичности имплантантов на основе ПЛГА в необходимом объёме не проводились.

В нашей работе после внутрибрюшинной имплантации животным фиксатора на основе ПЛГА их общее состояние и жизнедеятельность существенно не изменялись по сравнению с контролем. Двигательная активность, поведенческие реакции и масса тела животных не менялись в динамике по сравнению с контролем. При этом не выявлено значимых различий в общем

и биохимическом анализе крови животных в начале опытов и в динамике через 1, 2 и 3 мес после введения имплантата на основе ПЛГА. Следовательно, доказаны отсутствие токсичности и биобезопасность имплантата на основе ПЛГА, что позволяет определить показания к возможному использованию биоразлагаемых фиксаторов в детской травматологии в зависимости от тяжести перелома. Вместе с тем очевидно, что имплантанты для травматологии должны быть достаточно охарактеризованы и протестированы, помимо требований о доказанной пользе для здоровья [10]. Широкое применение имплантантов на основе ПЛГА в качестве фиксаторов в детской травматологии возможно лишь после выполнения полного цикла регуляторных и экспериментальных исследований в соответствии со стандартами¹. Для реализации этих требований необходимо проведение работ *in vivo* для определения эмбрио- и тератотоксичности и анализа возможного негативного влияния на зону роста костей в процессе взросления.

Несмотря на преимущества имплантантов на основе биорезорбируемых полимерных материалов, следует отметить их недостатки: прежде всего, это длительный срок деградации (ПЛГА — до 1,5–2,0 лет) по сравнению с периодом сращения и восстановления костных повреждений [11, 12]. Во время деградации биополимеров вокруг прилежащих тканей образуется кислая среда, что часто вызывает местную воспалительную реакцию и оказывает неблагоприятное воздействие на восстановление тканей [13]. Устранить перечисленные недостатки можно с

¹ГОСТ Р ИСО 14630–2017. Имплантаты хирургические неактивные. М.; 2017.

помощью добавления к полимерной матрице резорбируемого дисперсного наполнителя (гидроксипатит, трикальцийфосфат) [14]. Показано, что биокерамика обладает остеокондуктивностью, резорбтивными свойствами, уменьшает кислотность продуктов деградации [15].

Заключение

Биорезорбируемый имплантат на основе ПЛГА не оказывает значимого негативного воздействия на показатели жизнедеятельности экспериментальных животных. Внутривнутрибрюшинное имплантирование фрагментов фиксаторов не влияет отрицательно на лабораторные показатели, что указывает на их биобезопасность при клиническом применении.

Литература

(п.п. 3; 9; 12–15 см. References)

1. Рoshаль Л.М., Лушников А.М., Басаргин Д.Ю., Воробьев Д.А., Никишов С.О. Применение биодеградируемых имплантов при лечении детей с около- и внутрисуставными переломами. *Детская хирургия*. 2018; 22(3): 116–9. <https://elibrary.ru/xuzgkd>
2. Дорохин А.И., Адрианова А.А., Худик В.И., Сорокин Д.С., Горюнов А.К. Особенности лечения детей с переломами дистального метаэпифиза костей голени: клинические наблюдения. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2020; 10(4): 453–60. <https://doi.org/10.17816/psaic717> <https://elibrary.ru/vtflfs>
3. 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. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-72-80> <https://elibrary.ru/yssiixj>
4. Терещенко В.П., Ларионов П.М., Кирилова И.А., Садовой М.А., Мамонова Е.В. Материалы и методы тканевой инженерии костной ткани. *Хирургия позвоночника*. 2016; 13(1): 72–81. <https://doi.org/10.14531/ss2016.1.72-81> <https://elibrary.ru/vqgegl>
5. Тагандурдыева Н., Юдин В.Е. Биорезорбируемые композиты для костной пластики. *Российские нанотехнологии*. 2020; 15(4): 418–34. <https://doi.org/10.1134/S1992722320040159> <https://elibrary.ru/bejarl>
6. Сиразетдинов А.В., Никифоров А.А., Вольфсон С.И. Полимерные композиционные материалы на основе полилактида. *Каучук и резина*. 2021; 80(6): 326–36. <https://elibrary.ru/kjnqte>
7. Хисамиева Д.Р., Шарафиев И.А., Агатиева Э.А., Никифоров А.А., Галимзянова Р.Ю., Ксембаев С.С. и др. Биорезорбируемые композиционные материалы для остеосинтеза: обзор современных исследований. *Вестник современной клинической медицины*. 2024; 17(1): 119–26. <https://elibrary.ru/ghdttc>
8. Дурнев А.Д. Лекарственная токсикология занимает важнейшее место в структуре доклинических исследований. *Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения*. 2023; 13(1): 8–13. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-13-1-8-13> <https://elibrary.ru/ebzroo>
9. Гайнетдинова А.А., Крупнин А.Е., Сорокин Ф.Д., Седуш Н.Г., Чвалун С.Н. Топологическая оптимизация моделей имплантатов для остеосинтеза костей предплечья на основе биоразлагаемых полимерных материалов. В кн.: *XXX Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов (MIKMUS – 2018)*. М.; 2019: 378–82. <https://elibrary.ru/ywlejev>

References

1. Roshal L.M., Lushnikov A.M., Basargin D.Yu., Vorobyov D.A., Nikishov S.O. Application of biodegradable implants in the treatment of children with peri- and intraarticular fractures. *Detskaya khirurgiya*. 2018; 22(3): 116–9. <https://elibrary.ru/xuzgkd> (in Russian)
2. Dorokhin A.I., Adrianova A.A., Khudik V.I., Sorokin D.S., Goryunov A.K. Features of treatment of children with fractures of the distal metaepiphysis of the tibia bones: clinical observations. *Rossiyskiy vestnik detskoy khirurgii, anesteziologii i reanimatologii*. 2020; 10(4): 453–60. <https://doi.org/10.17816/psaic717> <https://elibrary.ru/vtflfs> (in Russian)
3. Heye P., Matissek C., Seidl C., Varga M., Kassai T., Jozsa G., et al. Making hardware removal unnecessary by using resorbable im-

- plants for osteosynthesis in children. *Children (Basel)*. 2022; 9(4): 471. <https://doi.org/10.3390/children9040471>
4. Reznik L.B., Guryev V.V., Turushev M.A., Negrov D.A., Ilyin R.E. Avulsion fractures osteosynthesis in patients with normal bone mineral density and osteoporosis. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 2018; 24(4): 72–80. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-72-80> <https://elibrary.ru/yssiixj> (in Russian)
5. Tereshchenko V.P., Larionov P.M., Kirilova I.A., Sadovoy M.A., Mamonova E.V. Materials and methods of tissue engineering of bone tissue. *Khirurgiya pozvonochnika*. 2016; 13(1): 72–81. <http://doi.org/10.14531/ss2016.1.72-81> <https://elibrary.ru/vqgegl> (in Russian)
6. Tagandurdyeva N., Yudin V.E. Bioresorbable composites for bone grafting. *Rossiyskie nanotekhnologii*. 2020; 15(4): 418–34. <https://doi.org/10.1134/S1992722320040159> <https://elibrary.ru/bejarl> (in Russian)
7. Sirazetdinov A.V., Nikiforov A.A., Wolfson S.I. Polymer composite materials based on polylactide. *Kauchuk i rezina*. 2021; 80(6): 326–36. <https://elibrary.ru/kjnqte> (in Russian)
8. Khisamieva D.R., Sharafiev I.A., Agatieva E.A., Nikiforov A.A., Galimzyanova R.Yu., Ksembaev S.S., et al. Bioresorbable composite materials for osteosynthesis: a review of modern research. *Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny*. 2024; 17(1): 119–26. <https://elibrary.ru/ghdttc> (in Russian)
9. Luo Y., Wang J., Ong M.T.Y., Yung P.S., Wang J., Qin L. Update on the research and development of magnesium-based biodegradable implants and their clinical translation in orthopaedics. *Biomater. Transl.* 2021; 2(3): 188–96. <https://doi.org/10.12336/biomatertransl.2021.03.003>
10. Durnev A.D. Pharmaceutical toxicology is the most important component of preclinical studies. *Vedomosti Nauchnogo tsentra ekspertizy sredstv meditsinskogo primeneniya*. 2023; 13(1): 8–13. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-13-1-8-13> <https://elibrary.ru/ebzroo> (in Russian)
11. Gainetdinova A.A., Krupnin A.E., Sorokin F.D., Sedush N.G., Chvalun S.N. Topology optimization of forearm osteosynthesis implants based on biodegradable polymers. In: *XXX International Innovation Conference of Young Scientists and Students (MIKMUS – 2018) [XXX Mezhdunarodnaya innovatsionnaya konferentsiya molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS – 2018)]*. Moscow; 2019: 378–82. <https://elibrary.ru/ywlejev> (in Russian)
12. Zamora R., Jackson A., Seligson D. Correct techniques for the use of bioabsorbable implants in orthopaedic trauma. *Curr. Orthop. Pract.* 2016; 27(4): 469–73. <https://doi.org/10.1097/BCO.0000000000000378>
13. Kohn D.H., Sarmadi M., Helman J.I., Krebsbach P.H. Effects of pH on human bone marrow stromal cells in vitro: implications for tissue engineering of bone. *J. Biomed. Mater. Res.* 2002; 60(2): 292–9. <https://doi.org/10.1002/jbm.10050>
14. Taherimehr M., Bagheri R., Taherimehr M. In-vitro evaluation of thermoplastic starch/ beta-tricalcium phosphate nano-biocomposite in bone tissue engineering. *Ceram. Int.* 2021; 47(11): 15458–63. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2021.02.111>
15. Wei S., Ma J.X., Xu L., Gu X.S., Ma X.L. Biodegradable materials for bone defect repair. *Mil. Med. Res.* 2020; 7(1): 54. <https://doi.org/10.1186/s40779-020-00280-6>

Сведения об авторах:

Челпаченко Олег Борисович, докт. мед. наук, гл. науч. сотр., лаб. научных основ нейроортопедии и ортопедии, проф. каф. детской хирургии с курсом анестезиологии и реанимации, врач — травматолог-ортопед нейроортопедического отд-ния с ортопедией ФГАУ «НМИЦ здоровья детей», рук. отдела травматологии и медицины катастроф, врач — травматолог-ортопед консультативно-диагностического отд-ния, ст. преподаватель учебно-методического отдела ГБУЗ «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошаля» ДЗМ, chelpachenko81@mail.ru; **Яцык Сергей Павлович**, докт. мед. наук, чл.-корр. РАН, проф. каф. детской хирургии им. акад. С.Я. Долецкого ФГБОУ ДПО РМАНПО, makadamia@yandex.ru; **Никишов Сергей Олегович**, канд. мед. наук, зав. отд-нием травматологии ГБУЗ «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии — Клиника доктора Рошаля» ДЗМ, nso.doc@yandex.ru; **Лушников Александр Михайлович**, врач — травматолог-ортопед, отд-ние травматологии ГБУЗ «НИИ неотложной детской хирургии и травматологии-Клиника доктора Рошаля» ДЗМ, lushnikov1981@yandex.ru; **Арטיפексова Анна Алексеевна**, доктор мед. наук, проф., методист ГБУЗ НО «Медицинский информационно-аналитический центр», artifeksova@yandex.ru