

лагает тщательный выбор установки эндопротеза, а также использование эндопротезов с укрепляющим кольцом.

3. Основными компенсаторными механизмами для поддержания походки у больных с диспластическим вывихом являются три правила компенсации: правило перераспределения функции, правило функционального копирования, правило обеспечения оптимизации для больной конечности.

4. Знание особенностей функционального статуса больного позволяет прогнозировать сроки восстановления у каждого пациента, назначить индивидуальную программу реабилитации после ТЭП ТБ с определенным комплексом укрепляющих упражнений [12].

Конфликт интересов. Работа выполнена в соответствии с планом НИР СарНИИТО.

References (Литература)

1. Tikhilov RM, Shapovalov VM. Guide to hip arthroplasty. SPb: Meditsina, 2008; 325 p. Russian (Тихилов Р.М., Шаповалов В.М. Руководство по эндопротезированию тазобедренного сустава. СПб.: Медицина, 2008; 325 с.)
2. Clinical guidelines: Osteoarthritis. Diagnosis and management of patients with osteoarthritis of the knee and hip joints. O. M. Lesnyak eds. Moscow: GEOTAR-Media, 2006; 176 p. Russian (Клинические рекомендации: Остеоартрит. Диагностика и ведение больных с остеоартритом коленного и тазобедренного суставов. под ред. О. М. Лесняк. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006; 176 с.)
3. Harofilakidis G, Karachalios T. Total Hip Arthroplasty for congenital Hip Disease. J Bone Joint Surgery Amer 2004; 86 (2): 242–250.
4. Antolic V, Kralj-Iglic V, Iglic A, Pompe B. Hip biomechanics in orthopaedic clinical practice. Cell Mol Biol Lett 2002; 7 (2): 311–315.

5. Boyle MJ, Frampton CM, Grawford HA. Early results of total hip arthroplasty in patients with developmental dysplasia of the hip compared with patients with osteoarthritis. J Arthroplasty 2012; 27: 386–390.

6. Slobodskoy AB, Lezhnev AG, Badak IS, et al. Medium-term results of primary hip joint replacement with Zimmer implants, providing cement-retained restoration and cement-free restoration. *Travmatologia i Ortopedia Rossii* 2011; (2): 44–49. Russian (Слободской А.Б., Лежнев А.Г., Бадак И.С., и др. Среднесрочные результаты первичного эндопротезирования тазобедренного сустава имплантатами фирмы «Zimmer» цементной и бесцементной фиксации. *Травматология и ортопедия России* 2011; (2): 44–49.)

7. Leunig M, Robetson W, Ganz R. Femoroacetabular impingement: diagnosis, management, including open surgical technique. *Open Tech Sports Med* 2007; 15: 178–182.

8. Bowman KF Jr, Fox J, Sekiya JK. A clinically relevant review of hip biomechanics. *Arthroscopy* 2010; 26 (8): 1118–1129.

9. Skvortsov DV. Diagnosis of motor pathology instrumental methods: gait analysis, stabilometry. Moscow: MBN, 2007; 640 p. Russian (Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилметрия. М.: МБН, 2007; 640 с.)

10. Illyes A, Kiss RM. Gait analysis of patterns with osteoarthritis of the hip joint. *Facta universitatis* 2010; 3 (1): 1–9.

11. Letov AS, Barabash YuA, Markov DA, et al. Biomechanical and neuro-physiological assessment of methodics effectiveness of total endoprosthesis of hip joint. *Tambov University reports. Series: Natural and Technical sciences* 2012; 17 (5): 1433–1440. Russian (Летов А.С., Барабаш Ю.А., Марков Д.А. и др. Биомеханическая и нейрофизиологическая оценка эффективности методики тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки* 2012; 17 (5): 1433–1440.)

12. Yefimov AP. Clinically significant parameters of gait. *Travmatologia i Ortopedia Rossii* 2012; (1): 60–65. Russian (Ефимов А.П. Клинически значимые параметры походки. *Травматология и ортопедия России* 2012; (1): 60–65.)

УДК 612.275.1:616–005.1:616.71–001.5–089.227.84

Оригинальная статья

ОСОБЕННОСТИ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА КОСТНОЙ ТКАНИ ПРИ ЧРЕСКОСТНОМ ДИСТРАКЦИОННОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ МЕТОДОМ ИЛИЗАРОВА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А. Н. Ерохин — ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, ведущий научный сотрудник лаборатории функциональных исследований, доктор медицинских наук; **Б. Д. Исаков** — Кыргызская государственная медицинская академия им. И. К. Ахунбаева, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии, кандидат медицинских наук; **А. Н. Накоскин** — ФГБУ «Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. академика Г. А. Илизарова» Минздрава России, старший научный сотрудник лаборатории биохимии, кандидат биологических наук.

MICROELEMENT CONTENT OF BONE TISSUE IN TRANSOSSEOUS OSTEOSYNTHESIS BY ILIZAROV TECHNIQUE IN HIGH-ALTITUDE DESTINATIONS (EXPERIMENTAL RESEARCH)

A. N. Erokhin — Kurgan Ilizarov Scientific Center of Restorative Traumatology and Orthopaedics, Laboratory of Functional Research, Chief Research Assistant, Assistant Professor, Doctor of Medical Science; **B. D. Isakov** — Kyrgyzstan, Bishkek State Medical Academy, Faculty of Traumatology, Orthopedics and Extreme Surgery, Assistant, Candidate of Medical Science; **A. N. Nakoskin** — Kurgan Ilizarov Scientific Center of Restorative Traumatology and Orthopaedics, Biochemical Laboratory, Senior Research Assistant, Candidate of Biological Science.

Дата поступления — 9.12.2013 г.

Дата принятия в печать — 3.03.2014 г.

Ерохин А. Н., Исаков Б. Д., Накоскин А. Н. Особенности микроэлементного состава костной ткани при чрескостном дистракционном остеосинтезе методом Илизарова в условиях высокогорья (экспериментальное исследование). *Саратовский научно-медицинский журнал* 2014; 10(1): 119–123.

Цель: выявить особенности перераспределения микроэлементов костной ткани при дистракционном остеосинтезе в условиях высокогорья. **Материал и методы.** Исследование проведено на 72 беспородных собаках обоего пола в возрасте 1–3 лет, массой 10–15 кг. 32 собакам удлинняли голень в условиях низкогорья, другой группе из 32 животных удлинение производили в условиях высокогорья. Группу контроля составили 8 здоровых собак из низкогорной местности. Методика оперативного вмешательства была стандартной, использо-

ванной нами в проведенных исследованиях. Посредством атомно-абсорбционного спектрофотометра AAS-1N (Германия) в трубчатых костях и distractionном регенерате изучен микроэлементный состав. Нормальность распределения в выборках оценивали посредством критерия Шапиро — Уилка. При обработке фактических данных вычисляли среднюю и ошибку средней, использовали t-критерий Стьюдента для непарных выборок. **Результаты.** Получены данные, свидетельствующие о кальциевом и микроэлементном дисбалансе при чрескостном distractionном остеосинтезе в условиях высокогорья, что вызывает функциональные изменения в опорно-двигательной системе, сходные при клинической картине заболевания Кашина — Бека. В условиях высокогорья удлинение трубчатых костей вызывает выраженные фазные изменения содержания микроэлементов в формирующемся distractionном регенерате. **Заключение.** В процессе distractionного остеосинтеза в условиях высокогорья формируются фазные изменения содержания микроэлементов в костном регенерате, что создает физиологические предпосылки для формирования ложного сустава.

Ключевые слова: distractionный остеосинтез, микроэлементы, высокогорье.

Erokhin AN, Isakov BD, Nakoskin AN. Microelement content of bone tissue in transosseous osteosynthesis by Ilizarov technique in high-altitude destinations (experimental research). Saratov Journal of Medical Scientific Research 2014; 10(1): 119–123.

Aim: To study the redistribution of microelements in bone tissue in osteosynthesis in high-altitude destinations. **Material and Methods.** The study was performed on 72 mongrel dogs of both sexes aged 1–3 years, weighing 10–15 kg. 32 dogs have been experienced the extended leg in lowlands destinations, another group of 32 animals have been experienced elongation produced in high-altitude destinations. The control group consisted of 8 healthy dogs of low mountain areas. The standard technique of surgery has been used in the research. Microelement composition has been studied by atomic absorption spectrophotometer AAS-1N (Germany) in the long bones and the distraction regenerate. Shapiro — Wilk test was applied to analyze the normality. The data evaluation has been done by Student's t-test for unpaired samples. **Results.** Calcium and microelement imbalance has been obtained during transosseous osteosynthesis in high-altitude destinations, which causes functional changes in the musculoskeletal system, with similar clinical picture of Kashin — Beck. In the conditions of high-altitude destinations elongation of bones causes changes in microelements in the distraction regenerate. **Conclusion.** During distraction osteosynthesis in high-altitude destinations phase changes of microelements have been formed in the bone regenerate, which prognoses physiologically the formation of a false joint.

Key words: distraction osteosynthesis, microelements, high-altitude destinations.

Введение. Известно, что в состав важнейших макроэлементов для организма здорового человека входят Ca, Cl, K, Mg, Na, P, S и 70 микроэлементов [1]. Макро- и микроэлементы не синтезируются в организме, но поступают с пищевыми продуктами, водой, воздухом, при этом обмен минеральных веществ тесно связан с содержанием воды [2]. Остеотропные макро- и микроэлементы являются важнейшими структурными составляющими костной ткани и играют важную роль в реализации регенераторной активности кости при физиологических и патологических состояниях [3, 4]. В частности, содержание железа, марганца, калия, меди, цинка, кадмия в костной ткани большеберцовых костей щенков собак в период от 2 до 6 месяцев подвержено флуктуациям [5, 6]. Элементы способны депонироваться в тканях, а по мере необходимости извлекаться в кровь. В костях скелета находится 99% всего кальция, 87% фосфора и 58% магния. Известно, что при переломах костей конечностей, такие антагонисты кальция, как Mn, Si, Al, Zn, Zr, Ti, Mo, способны непосредственно влиять на минерализацию костного регенерата [7]. Определено, что при чрескостном distractionном остеосинтезе костей голени происходит выраженное перераспределение минералов, когда минералы вымываются из костей интактной голени и утилизируются в костях оперированной конечности [8].

Вместе с тем практически не изучен процесс перераспределения минералов при чрескостном distractionном остеосинтезе в условиях высокогорья.

Цель: выявить особенности процесса перераспределения микроэлементов костной ткани при чрескостном distractionном остеосинтезе методом Илизарова в условиях высокогорья.

Материал и методы. Экспериментальные исследования проведены на 72 беспородных собаках обоего пола в возрасте 1–3 года, массой 10–15

кг в весенне-летний период. Тридцать две собаки составили первую экспериментальную группу животных, которым посредством аппарата Илизарова удлиняли голень в условиях низкогорья в г. Бишкек. Вторая часть экспериментальных животных (32) была доставлена в п. Туя-Ашуу, расположенный на высоте 3200 м над уровнем моря, где им было проведено аналогичное оперативное вмешательство. До начала экспериментов в высокогорных условиях животные проходили адаптационный период в течение двух недель. Группу контроля составили 8 здоровых животных, проживавших в условиях низкогорной местности. Все животные содержались на стандартном полноценном рационе вивария без ограничения доступа к питьевой воде [9]. Методика оперативного вмешательства была стандартной, использованной нами в проведенных исследованиях [10].

В трубчатых костях и distractionном регенерате изучен микроэлементный состав методом эмиссионной атомно-абсорбционной спектрографии. Исследование проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS-1N (Германия). Содержание макро- и микроэлементов в кости и костном регенерате определяли в растворах, полученных после влажного озоления образцов в смеси азотной и хлорной кислот [11]. Атомно-абсорбционные исследования проводили по 5 аналитическим параллелям. Нормальность распределения в выборках оценивали посредством критерия Шапиро — Уилка. При обработке фактических данных вычисляли среднюю и ошибку средней, использовали параметрический критерий — t-критерий Стьюдента для непарных выборок. Уровень статистически значимых различий считали достоверным при $p < 0,05$.

Результаты. Клинические наблюдения экспериментальных животных, которым удлиняли конечность на перевале Туя-Ашуу, выявили нестабильность зоны перелома. Животные после снятия аппарата имели щадящий стереотип движения со

Ответственный автор — Ерохин Александр Николаевич
Тел.: 3522454286
E-mail: alexnico59@mail.ru

Таблица 1

Содержание основных неорганических элементов в костной ткани и регенерате собак, полученном в условиях низкогорья и высокогорья ($M \pm m$)

Металл	Здоровые животные n=8	В условиях низкогорья					
		5 день n=5	15 день n=5	20 день n=5	25 день n=5	35 день n=6	45-55 день n=6
Mg, г%	1,50±0,01	2,05±0,01*	0,32±0,03*	0,30±0,01*	0,2±0,01*	0,54±0,01*	0,32±0,01*
Sr, мг%	3,46±0,02	0	0	0	0	0	0
Ca, г%	42,1±0,4	12,1±0,01*	28,1±0,2*	28,2±0,01*	41,3±0,2	40,9±0,12	42,9±0,4
P, г%	41,7±0,4	8,0±0,2*	29,0±0,1*	20,7±0,1*	40,5±0,5	42,1±0,1	40,5±0,1
		В условиях высокогорья					
Mg, г%	1,50±0,01	0,21±0,07*	1,50±0,12	1,51±0,16*	1,23±0,12*	0,41±0,17*	0,5±0,08*
Sr, мг%	3,46±0,02	2,3±0,1*	3,3±0,1*	2,7±0,1*	0	0	3,5±0,2*
Ca, г%	42,1±0,4	12,0±0,08*	28,6±0,7*	13,6±0,64*	5,0±0,02*	19,9±0,007*	30,2±0,14*
P, г%	41,7±0,4	5,8±0,01*	12,1±0,05*	20,8±0,1*	24,8±0,8	29,7±0,2*	27,7±0,3*

Примечание: * — обозначены значения отличающиеся от здоровых животных с уровнем значимости $p < 0,05$; 0 — значения показателя ниже уровня чувствительности прибора

снижением опороспособности оперированной конечности. Кроме того, наглядно изменялась геометрия оперированной конечности, наблюдалась микроподвижность кости в зоне перелома. В связи с этим нами исследован регенерат конечности, в частности его минеральный матрикс.

Количество магния у здоровых животных составило 1,5 г%. В течение эксперимента у животных низкогорной серии наблюдалось значимо низкое содержание магния в костном регенерате. Исключение составил срок 5 дней после оперативного вмешательства, что может быть связано с резорбтивными процессами, протекающими в костной ткани, в ответ на оперативное вмешательство. В то же время у животных высокогорной серии на протяжении всего эксперимента уровень магния оставался значимо высоким и лишь на заключительных этапах не отличался от животных низкогорной серии (табл. 1). Интересным наблюдением стал тот факт, что у животных низкогорной серии на протяжении всего эксперимента количество стронция было ниже предела обнаружения прибора, в то время как у животных высокогорной серии до двадцатых суток эксперимента стронций обнаруживался в значимых количествах (см. табл. 1). Исследование основных ионов неорганического матрикса показало, что у животных низкогорной серии нарастание неорганических составляющих в регенерате было планомерным.

К 25-м суткам эксперимента количество кальция и фосфора практически не отличалось от здоровых животных (рис. 1). У животных высокогорной серии накопление фосфатов и кальция в регенерате было неоднозначным. К концу эксперимента количество основных ионов минерального матрикса кости было ниже, чем у здоровых животных, и составляло около 75% от нормы (рис. 2).

По полученным нами данным, количество меди в костном регенерате обеих экспериментальных групп на всех этапах эксперимента было ниже, чем у животных контрольной группы (табл. 2). Также наблюдалось снижение содержания этого микроэлемента в экспериментальных группах на этапах эксперимента. Количество свинца в костном регенерате обеих экспериментальных групп было ниже, чем в костной ткани здоровых животных. Представляется, что влияние этого элемента на формирование костного регенерата

является незначительным, так как в рационе опытных животных отсутствовало избыточное его количество. Содержание ионов железа практически не изменялось во всех исследуемых группах животных. Данное

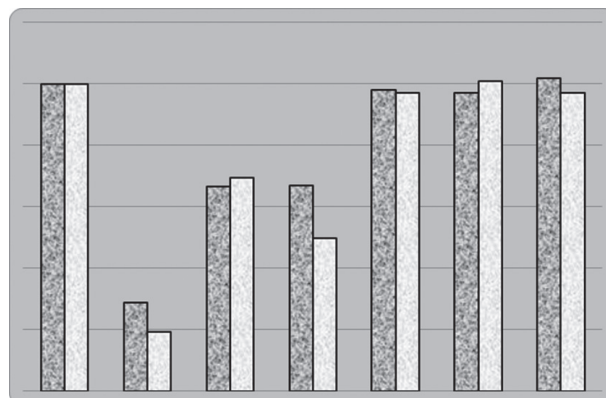


Рис. 1. Динамика концентрации кальция (темные столбцы) и фосфора (светлые столбцы) в процентах в distractionном регенерате у собак в условиях низкогорья (1 — здоровые животные, 2–5-й день, 3–15-й день, 4–20-й день, 5–25-й день, 6–35-й день, 7–45-55-й день эксперимента)

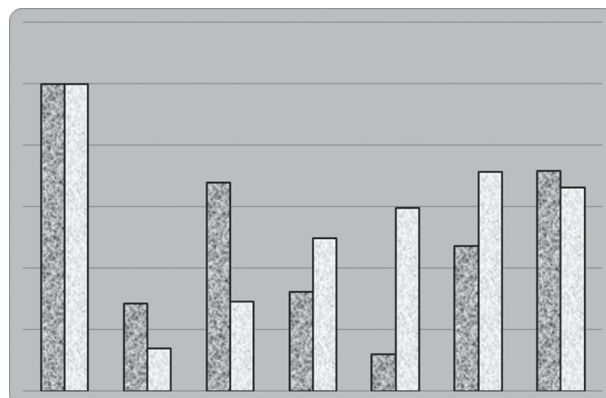


Рис. 2. Динамика концентрации кальция (темные столбцы) и фосфора (светлые столбцы) в процентах в distractionном регенерате у собак в условиях высокогорья (1-здоровые животные, 2–5-й день, 3–15-й день, 4–20-й день, 5–25-й день, 6–35-й день, 7–45-55-й день эксперимента)

Таблица 2

Содержание железа, свинца, марганца в костной ткани и регенерате собак, полученном в условиях низкогогорья и высокогорья (M±m)

Металл	Здоровые животные n=8	В условиях низкогогорья					
		5 день n=5	15 день n=5	20 день n=5	25 день n=5	35 день n=6	45-55 день n=6
Cu, мг%	3,15±0,01	2,001±0,06*	1,805±0,1*	1,501±0,1*	0,703±0,14*	1,203±0,12*	0,603±0,012*
Pb, мг%	1,30±0,09	0,301±0,07*	0,301±0,01*	0,203±0,01*	0	0	0
Fe, мг%	0,02±0,003	0,023±0,001*	0,022±0,0*	0,022±0,001*	0	0,03±0,001*	0
		В условиях высокогорья					
Cu, мг%	3,15±0,11	2,003±0,001*	1,501±0,007*	2,012±0,005*	1,501±0,0012*	1,202±0,001*	0
Pb, мг%	1,305±0,09	1,205±0,016*	0,902±0,0007*	0,303±0,01*	0,502±0,001*	0	0
Fe, мг%	0,02±0,003	0,031±0,007*	0,034±0,002*	0,072±0,001*	0,013±0,0016*	0,005±0,0003*	0

Примечание: * — обозначены значения отличающиеся от здоровых животных с уровнем значимости $p < 0,05$; 0 — значения показателя ниже уровня чувствительности прибора

Таблица 3

Содержание некоторых элементов в костной ткани и регенерате экспериментальных животных (M±m)

Металл	Здоровые животные n=8	В условиях низкогогорья					
		5 день n=5	15 день n=5	20 день n=5	25 день n=5	35 день n=6	45-55 день n=6
Ti, мг%	0	0,124±0,001*	0,053±0,01*	0,053±0,001*	0,042±0,007*	0,070±0,0008*	0,121±0,0008*
Mo, мг%	0	0,501±0,02*	0	0	0	0	0
Zr, мг%	0	0,404±0,001*	0	0	0,202±0,014*	0,204±0,0014*	0,402±0,001*
Si, мг%	0,004±0,0007	0,004±0,0005	0	0	0,005±0,001*	0,007±0,0001*	0,023±0,0014*
Al, мг%	0,003±0,0	0,033±0,001	0,033±0,001*	0,024±0,001*	0	0,001±0,0003*	0,002±0,0001*
		В условиях высокогорья					
Ti, мг%	0	0,074±0,001*	0,151±0,007*	0,203±0,001*	0	0,150±0,0003*	0,123±0,001*
Mo, мг%	0	0,201±0,007*	0,402±0,005*	0,402±0,001*	0	0,501±0,0005*	0,407±0,007*
Zr, мг%	0	0	0	0,401±0,0*	0	0,505±0,0016*	0,804±0,0008*
Al, мг%	0,003±0,0	0,003±0,0	0,005±0,0005*	0,003±0,0	0,003±0,0005	0,005±0,0001*	0,002±0,001*

Примечание: * — обозначены значения отличающиеся от здоровых животных с уровнем значимости $p < 0,05$; 0 — значения показателя ниже уровня чувствительности прибора

обстоятельство может объясняться тем, что в процессе определения железа в озолоты кости и регенерата частично попадала кровь, богатая железом.

Своеобразная динамика наблюдалась в изменении концентрации «минорных» элементов — титана, молибдена, циркония, силициума, алюминия (табл. 3). Так, если в условиях низкогогорья содержание молибдена в дистракционном регенерате определялось в большинстве сроков исследования ниже уровня чувствительности прибора, то в условиях высокогорья концентрация этого микроэлемента в костном регенерате проявляла некоторую тенденцию к повышению. Следует отметить тот факт, что содержание алюминия в дистракционном регенерате экспериментальной группы высокогорья было более стабильным, чем в условиях низкогогорья, где на 25-й день эксперимента наблюдалось резкое снижение данного микроэлемента.

Обсуждение. В целом полученные нами данные согласуются с литературными. Двухвалентные ионы второй группы главной подгруппы периодической системы играют важную роль в метаболизме неорганического матрикса костной ткани. Несмотря на разницу в ионном радиусе, двухвалентные ионы могут встраиваться вместо кальция в кристаллическую

решетку фосфатных соединений костной ткани, меняя тем самым ее физиологические, механические и биологические свойства. Магний — обязательный компонент костей. В костной ткани магний либо ионизирован, либо в форме гидрата окиси магния сосредоточен в кристаллах гидроксиапатита. В скелете сосредоточено 50–53% общего содержания магния в организме человека. Вследствие меньшего радиуса иона и большей энергии ионизации ион Mg^{2+} образует более прочные связи, чем ион Ca^{2+} , и поэтому является более активным катализатором ферментативных процессов [12]. Кроме того, повышенное содержание магния в костной ткани некоторые авторы связывают с развитием остеопоротических процессов [13]. Выявленное увеличение стронция в условиях высокогорья может свидетельствовать в пользу того, что при избытке стронция меняется структура кости, подобно заболеванию Кашина — Бека, возникновение которого расценивается как результат кальциевого и микроэлементного дисбаланса [14].

Изменение показателей обмена минерального матрикса кости животных высокогорной серии можно объяснить изменением обмена кальция и фосфата на организменном уровне. Так как животные обеих опытных групп находились на одинаковом рационе

питания, изменение внешних факторов среды, таких, как парциальное давление кислорода и т.п., значимо повлияло на кальциево-фосфорный обмен и обмен микроэлементов.

Переходные металлы, в частности d-элементы медь, железо и свинец, играют более значимую роль в клеточном метаболизме, нежели в обмене костного минерального матрикса. Медь и железо входят в состав энергетических ферментных комплексов. Так, медь катализирует ряд весьма существенных ферментных систем в остеогенных клетках, способствуя тем самым поддержанию уровня дифференциации. Кроме того, медь участвует в биохимических процессах как составная часть электронпереносящих белков, осуществляющих реакции окисления субстратов молекулярным кислородом. Этой ролью она обязана своим особым свойством как переходного металла. Имея два обычных состояния, она в зависимости от природы и расположения лигандов позволяет медь-содержащим белкам охватывать широкий интервал окислительно-восстановительных потенциалов, а также обратно связывать кислород и окись углерода.

Интерпретация «минорных» элементов в костной ткани и регенерате весьма затруднительна. Безусловно, каждый из этих элементов играет свою роль в метаболизме кости, как на уровне минерального матрикса, так и на уровне метаболизма остеогенных клеток. В доступной литературе присутствует описание поведения имплантационных материалов, например титановых сплавов, однако исследований, направленных на изучение влияния ионов металлов, таких, как Mo, Zr, Al и др., на метаболизм кости практически отсутствует.

Проведенное исследование показало, что в период длительной (до 45 дней) адаптации организма к высокогорью при удлинении по Илизарову трубчатых костей в дистракционном регенерате формируются выраженные фазные изменения содержания микроэлементов. Характерным отражением фазных изменений является накопление в регенерате Ti, Mo, Zr и уменьшение содержания Pb, Sr и Fe.

Таким образом, при адаптации организма к высокогорью происходит вытеснение кальция и фосфора на фоне послеоперационной гипокальциемии, что может замедлять дистракционный остеогенез.

Выводы:

1. В процессе чрескостного дистракционного остеосинтеза в условиях высокогорья (3200 м выше уровня моря) формируются фазные изменения содержания микроэлементов в костном регенерате, проявляющиеся уменьшением концентрации кальция, магния, железа, меди, алюминия и увеличением уровня титана, молибдена, циркония, кремния.

2. Указанные сдвиги в микроэлементном составе дистракционного регенерата создают физиологические предпосылки для формирования ложного сустава.

Конфликт интересов. Представленный материал получен в ходе выполнения НИР ФГБУ «РНЦ «ВТО» им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, номер государственной регистрации 01201155766.

References (Литература)

1. Nagornaya NV, Bordyukova EV, Dubovaya AV, et al. The biological role of macro- and micronutrients in the body of the

child, diagnosis, correction and prevention diselementozov: guidelines. Donetsk, 2010; 39 p. Russian (Нагорная Н.В., Бордюкова Е.В., Дубовая А.В. и др. Биологическая роль макро- и микроэлементов в организме ребенка: диагностика, коррекция и профилактика дисэлементозов. Методические рекомендации. Донецк, 2010; 39 с.)

2. Skal'nyy AV, Rudakov IA. Bioelements in medicine. Moscow: Izdatel'skiy dom «ONIKS 21 vek» // Mir, 2004; 272 p. Russian (Скальный А.В., Рудаков И.А. Биоэлементы в медицине. М.: Издательский дом «ОНИКС 21 век» // Мир, 2004; 272 с.)

3. Gromova OA, Kudrin AV. Neurochemistry of macro- and micronutrients: New approaches to pharmacotherapy. M.: Alev-V, 2001; 300 p. Russian (Громова О.А., Кудрин А.В. Нейрохимия макро- и микроэлементов: Новые подходы к фармакотерапии. М.: Алев-В, 2001; 300 с.)

4. Spasov AA. Magnesium is in medical practice. Volgograd: Otrok, 2000; 272 p. Russian (Спасов А.А. Магний в медицинской практике. Волгоград: Отрок, 2000; 272 с.)

5. Novikov MI, Nakoskin AN. Dynamics of accumulation of trace elements in the tibia of dogs. Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra 2006; (3): 148–151. Russian (Новиков М.И., Накоскин А.Н. Динамика накопления микроэлементов в большеберцовых костях собак. Известия Челябинского научного центра 2006; (3): 148–151.)

6. Nakoskin AN, Novikov MI. Content of macro- and micronutrients in ontogeny and in conditions of reparative bone regeneration in dogs. Travmatologiya i ortopediya Rossii 2008; (1): 38–43. Russian (Накоскин А.Н., Новиков М.И. Содержание макро- и микроэлементов в онтогенезе и в условиях репаративной регенерации кости у собак. Травматология и ортопедия России 2008; (1): 38–43.)

7. Leung KS, Cheung WH, Yeung HY. Effect of weightbearing on bone formation during distraction osteogenesis. Clin Orthop 2004; 419: 251–257.

8. Stogov MV, Kononovich NA, Nakoskin AN. Features osteoreparative processes in healing experimental fractures with varying degrees of bone marrow traumatization. Geniy ortopedii 2008; (2): 5–8. Russian (Сторгов М.В., Кононович Н.А., Накоскин А.Н. Особенности остеорепаративных процессов при заживлении экспериментальных переломов с различной степенью травматизации костного мозга. Гений ортопедии 2008; (2): 5–8.)

9. Norms feed costs for laboratory animals in health care (Table 1 and 26). Appendix to Order of the USSR Ministry of the number 1179 Oct. 10, 1983. Russian (Нормативы затрат кормов для лабораторных животных в учреждениях здравоохранения (таблицы с 1 по 26). Приложение к приказу Минздрава СССР № 1179 от 10 окт. 1983 г.)

10. Yerokhin AN, Isakov BD, Jumabekov SA. Peculiarities of homeostatic system in highland conditions using Ilizarov distraction transosseous osteosynthesis method. Saratov Journal of Medical Scientific Research 2012; 8 (2): 308–312. Russian (Ерохин А.Н., Исаков Б.Д., Джумабеков С.А. Особенности системы гемостаза в условиях высокогорья при чрескостном дистракционном остеосинтезе методом Илизарова. Саратовский научно-медицинский журнал 2012; 8 (2): 308–312.)

11. Obukhov AI, Plekhanova IO. Atomic absorption analysis in soil and biological research. Moscow: IZD-VO MGU, 1991; 184 p. Russian (Обухов А.И., Плеханова И.О. Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1991; 184 с.)

12. Gromova OA. Diagnosis and treatment of magnesium deficiency: teaching aid. Moscow, 2002. Russian (Громова О.А. Диагностика и лечение дефицита магния: учеб.-метод. пособие. Москва, 2002.)

13. Dedukh NV, Bengus LM, Basti A. Magnesium and bone. Osteoporoz i Osteopatii 2003; (1): 18–22. Russian (Дедух Н.В., Бенгус Л.М., Басти А. Магний и костная ткань. Остеопороз и остеопатии 2003; (1): 18–22.)

14. Tikhonov VA. Kashin — Beck disease. Irkutsk: Vostochno-sibirskoe izdatel'stvo, 1976; 192 p. Russian (Тихонов В.А. Болезни Кашина — Бека. Иркутск: Восточно-сибирское издательство, 1976; 192 с.)