

УДК 617-089

**ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ КОСТНОЙ ТКАНИ  
ПРИ НЕЙТРАЛЬНОМ ОСТЕОСИНТЕЗЕ МЕТОДОМ ИЛИЗАРОВА В ГОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Б.Д. Исаков, А.Н. Ерохин, У.М. Исмаилов, А.Т. Джумуков, М.А. Айтымбетов*

Рассматривается тесная зависимость поврежденной костной ткани от микроэлементного состава при формировании костного регенерата. При дефиците некоторых микроэлементов отмечено удлинение сроков консолидации, вплоть до развития ложного сустава.

*Ключевые слова:* эксперимент; высокогорье; микроэлементы; аппарат Илизарова; регенерат.

---

**DYNAMICS OF TRACE ELEMENTS IN BONE TISSUE DURING NEUTRAL OSTEOSYNTHESIS  
BY ILIZAROV'S METHOD UNDER MOUNTAIN CONDITIONS**

*B.D. Isakov, A.N. Erokhin, U.M. Ismailov, A.T. Dzhumukov, M.A. Aytymbetov*

The article deals with the close dependence of damaged bony tissue on trace element composition during formation of bone graft. Deficiency of certain trace elements leads to a lengthening of consolidation, up to development of false joint.

*Key words:* experiment; highlands; trace element; Ilizarov apparatus; graft.

**Актуальность проблемы.** Интерес к изучению микроэлементного пула костной ткани возникает вследствие того, что кость является основным депо неорганических ионов в организме. Содержание неорганических катионов в кости влияет на важнейшие процессы метаболизма организма в целом. Известно, что при травматизации костной ткани активизируется каскад метаболических реакций, направленный на десорбцию макро- и микроэлементов из кости. Работ, направленных на исследование обмена микро- и макроэлементов в экстремальных условиях в доступной нам литературе, мы не встретили, что и явилось предметом настоящей работы.

Состав важнейших макроэлементов для организма здорового человека включает шесть макробиотиков – это кальций, хлор, калий, магний, натрий, фосфор, а также более 70 микроэлементов – микробиотиков [1]. Экзогенная обеспеченность организма макро- и микроэлементами везде одинаковая, они не синтезируются в организме, в основном поступают с пищевыми продуктами и водой, при этом обмен минеральных веществ тесно связан с их содержанием в воде [2]. Остеотропные макро- и микроэлементы являются важнейшими структурными составляющими костной ткани и играют важную роль в реализации регенератор-

ной активности кости при физиологических и патологических состояниях [3]. В горных условиях микроэлементный обмен приобретает фазные изменения. При этом важным фактором является и то, что в процессе адаптации к условиям высокогорья, употребляют талоснеговую, т. е. практически дистиллированную воду. Сама по себе проблема влияния минерального состава воды на морфофункциональное состояние и микроэлементный состав кости известна давно. Для улучшения посттравматической регенерации костей издавна используются курортные минеральные воды Северного Кавказа, Карловых Вар и т. д. Известно также, что при гиперминерализации воды (более 2 г на литр) ускоряется процесс старения организма и формируется старческий остеопороз [4].

**Материал и методы.** Исследования проведены на 68 взрослых беспородных собаках обоего пола в возрасте 1–3 года массой 10–15 кг в весенне-летний период и длиной голени не менее 15 сантиметров. Тридцать две собаки составили первую экспериментальную группу животных с переломами костей голени, которым посредством аппарата Илизарова на голени, в условиях низкогорья в г. Бишкек (760 м над ур. м.), экспериментально смоделирован нейтральный остеосинтез. Вторая часть экспериментальных животных (36 собак) была доставлена

на п. Туя-Ашуу, расположенный на высоте 3200 м над ур. м., где им было проведено аналогичное оперативное вмешательство. До начала экспериментов в высокогорных условиях животные проходили карантинный контроль в течение 2-х недель. Все животные содержались на стандартном полноценном рационе вивария без ограничения доступа к питьевой воде. Методика оперативного вмешательства была стандартной, использованной нами в проведенных ранее исследованиях [5].

В трубчатых костях и дистракционном регенерате был изучен микроэлементный состав методом эмиссионной атомно-абсорбционной спектрографии. Исследование проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAS 1 N (Германия). Содержание макро- и микроэлементов в кости и костном регенерате определяли в растворах полученных после влажного озоления образцов в смеси азотной и хлорной кислот [6]. Атомно-абсорбционные исследования проводили по 5 аналитическим параллелям. При обработке фактических данных вычисляли среднюю и ошибку средней, использовали параметрический и непараметрический критерии (t-критерий Стьюдента и критерий Уилкоксона) для непарных выборок. Уровень статистически значимых различий считали достоверным при  $P < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Наблюдения за экспериментальными животными, которым был проведен нейтральный остеосинтез в условиях низкогорья, выявили нестабильность в зоне перелома. Животные после снятия аппарата имели падающий стереотип движения со снижением опороспособности оперированной конечности и ограничением подвижности. Это обуславливало снижение нагрузки на оперированный сегмент. Кроме этого, наглядно изменялась походка и геометрия оперированной конечности, наблюдалась микроподвижность кости в зоне перелома. В группе, где

исследования проводились на перевале Туя-Ашуу, эти изменения были более выражены. В связи с этим нами был исследован регенерат конечности, в частности его минеральный матрикс.

*Молибден* необходим для поддержания активности ферментов, участвующих в процессах детоксикации организма. Он выступает основным регулятором обмена мочевой кислоты, играет роль катализатора работы ряда антиоксидантов, в том числе витамина С, участвует в тканевом дыхании. Молибден, совместно с ионами меди и железа, влияет на обмен фтора в дентине и костной ткани зубов, предотвращая развитие кариеса. Он увеличивает потерю меди с мочой. Молибден является антагонистом железа, меди и марганца. Недостаток молибдена в организме может развиваться вследствие нарушений в обмене железа и сопровождается уменьшением содержания в тканях ксантиноксидазы. При недостатке молибдена страдают анаболические процессы пуринового обмена, наблюдается ослабление иммунной системы. Дефицит молибдена приводит к увеличению азотистых соединений в организме и, как следствие, к развитию подагры и образованию камней в почках, солей в суставах. По полученным нами данным (таблица 1) содержание молибдена в зоне перелома у животных высокогорной серии ниже, чем низкогорной. Он не обнаруживался в пробах высокогорной серии, начиная с 15-х суток и до конца эксперимента. К концу эксперимента в низкогорной серии его содержание незначительно отличается от показателей группы сравнения. Недостаток молибдена, на наш взгляд, может приводить к нарушению обмена серосодержащих аминокислот, которые являются необходимыми для биосинтеза всех фибриллярных белков, в том числе и коллагена.

*Кремний* является жизненно важным микроэлементом, необходимым для твердости костей,

Таблица 1 – Количество некоторых ультрамикроэлементов в костной ткани и зоне перелома у собак, полученном в условиях низко- и высокогорья при нейтральном остеосинтезе

Элемент	Здоровые животные г. Бишкек (Контроль)	В низкогорных условиях			
		3-й день	7-й день	15-й день	30-й день
Ti	0,26±0,026	0,116±0,005*	0	0	0
Mo	0,471±0,019	0	0,29±0,02*	0,57±0,016*	0,35±0,017*
Si	0,05±0,014	0,036±0,007*	0,866±0,053*	0,054±0,014	0,053±0,001
Al	0,0056±0,0007	0,006±0,001	0,0045±0,005*	0,003±0,0*	0,003±0,0*
В высокогорных условиях					
Ti	0,26±0,026	0,12±0,0*	0,12±0,0*	0,12±0,0*	0,12±0,0*
Mo	0,471±0,019	0	0,4±0,035	0	0
Si	0,05±0,014	0,05±0,0003	0	0,012±0,002*	0,043±0,001*
Al	0,0056±0,0007	0,0075±0,0003*	0,0025±0,001*	0,0011±0,007*	0,0053±0,0001*

Примечание. \* – изменения достоверны по сравнению с контрольной группой.

подвижности суставов и хорошего состояния кожи и ее придатков (волос, потовых и сальных желез, ногтей). В организме человека содержится около 7 граммов кремния, преимущественно в виде остатков ортокремниевой кислоты в соединительной ткани. Данный микроэлемент входит в состав гликозаминогликанов и их белковых комплексов, коллагена, которые формируют и стабилизируют каркас соединительной ткани. Кремний также необходим для формирования основного вещества кости и хряща, минерализации костной ткани. Он является основным ионом остеогенных клеток, которые формируют костную ткань молодых некальцифицированных костей.

С процессом “созревания” костной ткани содержание кальция и фосфора в костях увеличивается, а кремния снижается. Существует мнение, что кремний замедляет процессы реабсорбции костной ткани при остеопорозе и препятствует всасыванию алюминия из пищеварительного тракта, снижая его токсическое действие. По нашим данным, количество кремния в зоне регенерата животных низкогорной серии практически не отличалось от здоровых животных. У животных высокогорной серии количество этого элемента было значимо ниже –  $0,043 \pm 0,001^*$  г/л. против исходного  $0,05 \pm 0,0014$  г/л.

*Алюминий* – металл, проявляющий токсичность в отношении нервной и костной ткани при его накоплении в организме. Он влияет на метаболизм костной ткани: вытесняет кальций из кости и препятствует минерализации остеоида. Кроме того, он подавляет действие паратиреоидного гормона в отношении остеобластов и нарушает механизм ремоделирования костной ткани. Возникающая при этом остеомалация наиболее часто проявляется болью в костях, особенно в области поясничного отдела позвоночника, усилением поясничного лордоза и патологическими переломами. В нашем исследовании количество алюминия значимо снижалось в течение эксперимента в зоне перелома у животных низкогорной серии. У животных высокогорной серии количество алюминия повышалось на 3-и сутки эксперимента и соответствовало уровню здоровых животных на 30-е сутки ( $0,0053 \pm 0,0001^*$  г/л).

*Титан*. Наличие его в организме [7] и в костной ткани было установлено ещё в 1899 г. Биологическая роль титана для костной ткани выяснена не до конца. В организм титан попадает с водой и пищей. При накоплении титана в костях повышается его содержание в крови, что приводит к эозинопении, нейтропении, лимфоцитопении, угнетению костно-мозгового кроветворения. Следует отметить, также широкое применение для металлоостеосин-

теза титановых конструкций. Накопление титана в костной ткани нарушает в ней тканевое дыхание. И чем больше титан накапливается в костях, тем выше активность альдолазы и аланин-аминотрансферазы, при одновременном снижении в костной ткани окислительно-восстановительных процессов [8]. В нашем исследовании в низкогорной серии концентрация титана, начиная с 7-го дня, ниже предела чувствительности аппарата, а высокогорной серии его концентрация на всем протяжении эксперимента более чем в два раза ниже уровня контрольной группы.

#### **Выводы**

1. При нейтральном остеосинтезе перелома костей голени аппаратом Илизарова в условиях высокогорья наблюдается удлинение сроков консолидации костной ткани.
2. Процесс чрескостного нейтрального остеосинтеза в горных условиях характеризуется нарушением макро- и микроэлементного обмена, что создает предпосылки для формирования ложного сустава.

#### **Литература**

1. Биологическая роль макро- и микроэлементов в организме ребенка, диагностика, коррекция и профилактика дисэлементозов: метод. рекомендации / Сост.: Н.В. Нагорная, Е.В. Бордюкова, А.В. Дубовая. Донецк, 2010. 39 с.
2. *Скальный А.В.* Биоэлементы в медицине / А.В. Скальный, И.А. Рудаков. М.: Изд. дом “ОНИКС 21 век”; Мир, 2004. 272 с.
3. *Громова О.А.* Нейрохимия макро- и микроэлементов. Новые подходы к фармакотерапии / О.А. Громова, А.В. Кудрин. М.: Алев-В, 2001. 300 с.
4. *Подрушняк Е.П.* Ультраструктурные и функциональные изменения костной ткани при старении / Е.П. Подрушняк, Е.И. Суслов // Ортопедия, травматология и протезирование. М.; Харьков, 1999. № 8. С. 31–37.
5. *Ерохин А.Н.* Особенности системы гемостаза в условиях высокогорья при чрескостном дистракционном остеосинтезе методом Илизарова / А.Н. Ерохин, Б.Д. Исаков, С.А. Джумабеков // Саратовский научно-медицинский журнал. 2012. Т. 8. № 2. С. 308–312.
6. *Обухов А.И.* Атомно-абсорбционный анализ в почвенно-биологических исследованиях / А.И. Обухов, И.О. Плеханова. М.: Изд-во МГУ, 1991. 184 с.
7. *Baker P.F.* Calcium electrode determination of ionized Ca and Ca-buffering capacity of squid axoplasm // J. Physiol. 2002. Vol. 341. P. 615–618.
8. *Barish M.E.* Calcium buffering and slow kinetics of calcium-dependent outward current in molluscan neurones // J. Physiol. 2002. Vol. 337. P. 201–219.