

© Кутя С.А.

УДК 611.71/.72: 531.113: 539.26

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЕРЕГРУЗОК НА УЛЬТРАСТРУКТУРУ МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА КОСТЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

С.А.Кутя

Кафедра нормальной анатомии (зав. – проф. В.С.Пикалюк) Крымского государственного медицинского университета им. С.И.Георгиевского, г. Симферополь

ВПЛИВ ГРАВІТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ НА УЛЬТРАСТРУКТУРУ МІНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА КІСТОК В ЕКСПЕРИМЕНТІ

Резюме. В експерименті на самцях щурів трьох вікових груп вперше досліджена будова кісткового мінералу в умовах щоденної дії гравітаційних перевантажень (9g, 10 хв; 10 і 30 днів). Встановлена наявність порушення ступеня симетрії елементарних комірок гідроксиапатиту, розміру кристалів та їх упорядкованості після 10 днів. На 30-й день у 6- та 12-місячних щурів спостерігаються явища компенсації.

Ключові слова: гіпергравітація, кістковий мінерал, щури, вік.

Основные функции костной ткани определяются уникальным сочетанием высоких механических характеристик с биохимической подвижностью, способностью к быстрой перестройке, что обеспечивается тесным пространственно-механическим и биохимическим взаимодействием ее минеральной и органической составляющей. Скорость обмена между костью и средой определяется размерами кристаллов минерального вещества кости, представляющего собой систему с огромной ионообменной поверхностью.

Сведения об ультраструктуре минерального компонента костей при воздействии на организм гравитационных перегрузок в литературе отсутствуют. Данная работа является фрагментом комплексной НИР "Возрастные морфофункциональные особенности отдельных органов и систем под влиянием гравитационных перегрузок и различных методов их коррекции" (№ 0104U002080).

Цель исследования. Изучить особен-

ности ультраструктуры минерала губчатого вещества костей при экспериментальном влиянии гравитационных перегрузок.

Материал и методы. Эксперимент проведен на 72 самцах белых крыс линии Вистар в возрасте 2, 6 и 12 мес. с исходной массой 120-130 г, 200-230 г и 260-280 г соответственно. Животные разделены на контрольную и экспериментальную серии. Модель эксперимента описана в нашем предыдущем сообщении [1]. Эксперимент выполняли в соответствии с правилами Европейской конвенции защиты позвоночных животных, использующихся в экспериментальных и других научных целях. По окончании сроков эксперимента (10 и 30 дней) животных декапитировали под эфирным наркозом. Рентгеноструктурное исследование костного порошка, полученного в агатовой ступке из проксимального эпифиза плечевой кости, проводили на аппарате ДРОН-2,0 с гониометрической приставкой ГУР-5, использовали $K\alpha$ излучение меди с длиной волны 0,1542 нМ; напряжение и си-

ла анодного тока составляли соответственно 30 кВ и 20 А. Дифрагированные рентгеновские лучи регистрировали в угловом диапазоне от 2° до 37° со скоростью записи 1° в минуту. На полученных дифрактограммах исследовали наиболее выраженные дифракционные пики, по угловому положению которых рассчитывали межплоскостные расстояния и параметры элементарной ячейки костного гидроксиапатита [2, 3]. Определяли размеры блоков когерентного рассеивания по уравнению Селякова-Шерера и рассчитывали коэффициент микротекстурирования по методу соотношения рефлексов (В.В.Пономарев, 1981).

Результаты исследования их обсуждение. При исследовании размеров элементарной ячейки гидроксиапатита нами обнаружены признаки нарушения симметрии и дестабилизации кристаллической решетки. В большинстве случаев размеры элементарной ячейки вдоль оси "с" превышали контрольные значения. После 10-дневного воздействия перегрузок размер элементарной ячейки вдоль оси "с" у 2-месячных животных был больше контрольных значений на $0,001 \times 10^{-10}$ М, у половозрелых – на $0,006 \times 10^{-10}$ М, а у старых – на $0,005 \times 10^{-10}$ М.

Через 30 дней у животных первых двух возрастных групп этот параметр не отличался от контроля, в третьей группе – превышал на $0,017 \times 10^{-10}$ М. Размеры элементарной ячейки вдоль оси "а" были ниже показателей контрольной группы на 0,064-0,106 %. Исключение составили 10-дневное воздействие у 6-месячных и 30-дневное у 12-месячных животных, когда этот показатель практически не отличался от контроля (табл. 1). Описанные изменения сопровождались увеличением соотношения с/а, наиболее выраженное у животных третьей возрастной группы.

В условиях модельной гипергравитации более значимо изменялись размеры кристаллитов, причем разнонаправленно в разные сроки наблюдения. У 2-месячных животных размеры конгломератов элементарных ячеек мало отличались от контрольных значений на первом сроке, а на втором – их превосходили на 16,07 %. У животных двух других возрастных групп обнаружены изменения идентичной направленности – увеличение размеров блоков когерентного рассеивания после 10-дневного эксперимента (на 10,43 % и 11,03 %), их уменьшение на 30-й день на 14,27 % у 6-месячных и

Таблица 1

Показатели размеров элементарной ячейки гидроксиапатита вдоль осей с и а (n=72), М±m

Возраст, мес.	Срок, дни	Серия	Размер элементарной ячейки вдоль оси а, 10^{-10} М	Размер элементарной ячейки вдоль оси с, 10^{-10} М	Коэффициент с/а, 10^2
2	10	Контроль	9,419±0,005	6,858±0,002	72,807±0,023
		Перегрузка	9,409±0,003	6,859±0,003	72,895±0,011*
	30	Контроль	9,407±0,003	6,858±0,003	72,898±0,041
		Перегрузка	9,398±0,003	6,858±0,004	72,972±0,040
6	10	Контроль	9,407±0,002	6,854±0,001	72,862±0,015
		Перегрузка	9,409±0,003	6,860±0,003	72,902±0,028
	30	Контроль	9,407±0,002	6,858±0,003	72,897±0,038
		Перегрузка	9,400±0,005	6,858±0,002	72,957±0,044
12	10	Контроль	9,412±0,003	6,864±0,003	72,928±0,037
		Перегрузка	9,406±0,002	6,869±0,003	73,017±0,040
	30	Контроль	9,416±0,005	6,860±0,002	72,853±0,057
		Перегрузка	9,416±0,006	6,877±0,007*	73,037±0,059*

Примечание: * – (p<0,05).

Таблиця 2

Показатели размеров блоков когерентного рассеивания и коэффициента микротекстурирования гидроксиапатита (n=72), M±m

Возраст, мес.	Срок, дни	Серия	Размер блоков когерентного рассеивания, нМ	Коэффициент микротекстурирования, у. е.
2	10	Контроль	25,843±0,705	0,525±0,010
		Перегрузка	25,611±0,694	0,519±0,017
	30	Контроль	25,462±0,544	0,520±0,015
		Перегрузка	29,554±1,236*	0,519±0,022
6	10	Контроль	26,610±0,809	0,495±0,008
		Перегрузка	29,386±0,608*	0,499±0,016
	30	Контроль	24,892±0,556	0,550±0,015
		Перегрузка	21,341±0,497*	0,510±0,008*
12	10	Контроль	26,927±0,405	0,479±0,004
		Перегрузка	29,897±0,787*	0,480±0,009
	30	Контроль	27,133±0,817	0,544±0,019
		Перегрузка	24,307±0,833*	0,529±0,012

Примечание: * – (p<0,05).

на 10,42 % – у 12-месячных (табл. 2). Оценка однородности расположения кристаллов гидроксиапатита в кристаллической решетке, проведенная по коэффициенту микротекстурирования, показала его выраженное снижение относительно контрольных значений у животных второй и третьей возрастных групп, подвергавшихся воздействию гравитационных перегрузок в течение 30 дней.

Выявленные изменения размеров элементарных ячеек костного гидроксиапатита свидетельствуют о нарушении степени их симметрии и склонности к разрушению. Тот факт, что в двух первых возрастных группах к 30-му дню отклонения сглаживались, свидетельствует о развитии компенсаторных явлений в костной ткани. Увеличение кристаллитов у половозрелых животных на первом сроке свидетельствует об их резорбции и уменьшении общей обменной поверхности костного минерала. Следующее за этим уменьшение размеров кристаллитов свидетельствует о росте кристаллов, нормализации процесса обмена веществ в кости вследствие увеличения поверхности непосредственного контакта с внутритканевыми жидкостными средами, и, следова-

тельно, о развитии явлений компенсации. В то же время у животных первой возрастной группы, скорее всего, происходит ухудшение процессов кристаллизации при увеличении кратности воздействия перегрузок. Изменения коэффициента микротекстурирования подтверждают предположение относительно развития компенсаторных явлений в костной ткани с увеличением срока воздействия перегрузок, так как кристаллы остаются менее упакованными, в то время, как более упорядоченные структуры по своим физико-механическим свойствам характеризуются как менее прочные [4].

Вывод и перспективы дальнейших исследований. Гравитационные перегрузки вызывают нарушение процессов минерализации органического матрикса кости у животных всех возрастных групп с последующей их стабилизацией у половозрелых крыс. С целью аргументации полученных результатов, а также для выявления возможных механизмов нарушения процессов минерализации кости целесообразно определить содержание основных микро- и макроэлементов, задействованных в оссификации кости.

Литература

1. Мороз Г.О. Динаміка маси щурів різного віку під впливом поперечно-направлених гравітаційних перевантажень / Г.О.Мороз, С.А.Кутя // Таврич. мед.-биол. вестник. – 2008. – Т. 11, № 3, ч. 1. – С. 168 – 174.
2. Ультроструктурное исследование биорезорбции керамического гидроксилатапата при заполнении костных дефектов / В.И.Лузин, В.В.Головченко, К.П.Гарбуз [и др.] // Морфология. – 2002. – Т. 121, № 2-3. – С. 94 – 95.
3. Luzin V.I. Combined use of hydroxyapatite ceramics and demineralized bone matrix for substitution of bone defects (an experimental study) / V.I.Luzin, V.V.Golovchenko, E.P.Berezhnoy // Calcified Tissue International. – 2002. – Vol. 70, №. – P. 3.
4. Подрушняк Е.П. Остеопороз – проблема века / Подрушняк Е.П. – Симферополь: Одиссей, 1997. – 216 с.

ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЕРЕГРУЗОК НА УЛЬТРАСТРУКТУРУ МИНЕРАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА КОСТЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Резюме. В эксперименте на самцах крыс трех возрастных групп впервые исследовано строение костного минерала в условиях ежедневного действия гравитационных перегрузок (9g, 10 мин; 10 и 30 дней). Установлено наличие нарушения степени симметрии элементарных ячеек гидроксиапатита, размера кристаллов и их упорядоченности после 10 дней. На 30-й день у 6- и 12-месячных крыс наблюдаются явления компенсации.

Ключевые слова: гипергравитация, костный минерал, крысы, возраст.

THE INFLUENCE OF GRAVITATIONAL OVERLOADS ON THE ULTRASTRUCTURE OF BONE MINERAL COMPONENT IN AN EXPERIMENT

Abstract. The structure of the bone mineral under the conditions of the daily exposure to gravitational overloads has been investigated for the first time in an experiment on male rats of three age groups (9g, 10 min; 10 and 30 days). The presence of a disturbance of the degree of symmetry of elementary cells of hydroxyapatite, the size of crystals and their degree of order after 10 days has been established. The phenomena of compensation are observed on the 30th days in 6- and 12th month old rats.

Key words: hypergravitation, bone mineral rats, age.

S.I.Georgiyevsky Crimean State Medical University (Simferopol')

Надійшла 11.03.2009 р.
Рецензент – проф. К.С.Волков (Тернопіль)

© Кутя С.А.