

© Пикалюк В.С., Чернов А.Т., Федченко К.А., Денисенко Т.В.

УДК 599.323.4"46":531.5:591.572:611.717:612.76

ИЗМЕНЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛЕЧЕВЫХ КОСТЕЙ КРЫС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИПЕРГРАВИТАЦИИ И В УСЛОВИЯХ ЗАЩИТЫ ОТ НЕЕ

В.С.Пикалюк, А.Т.Чернов, К.А.Федченко, Т.В.Денисенко

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

В настоящее время одним из актуальных аспектов действия на организм лётчика пилотажных перегрузок является многократно повышенная механическая нагрузка на опорно-двигательный аппарат. Характер перегрузок, возникающих во время эксплуатации самолётов 4-го и 5-го поколений, даёт возможность говорить о возникающих структурно-морфологических изменениях во всех отделах скелета, в том числе и в конечностях [1-3].

Для скелета одной из основных функций является опорная, которая непосредственно зависит от прочности костей, противодействующих прилагаемым извне механическим нагрузкам. Нетрудно предположить наличие прямой зависимости между показателями прочностных свойств костной ткани и характером, а также интенсивностью механического воздействия, что подтверждалось в результате клинико-рентгенологических, анатомических и экспериментальных исследований [4]. Так как воздействие гравитационных перегрузок оказывает неблагоприятное влияние на организм пилота, существует две проблемы, являющиеся актуальными на сегодняшний день. Первая связана с выяснением характера и степени патологических изменений организма в результате воздействия гравитационных перегрузок, а вторая обусловлена необходимостью поиска новых, более эффективных методов защиты организма пилотов от воздействия пилотажных нагрузок [5, 6].

Цель исследования. Определить в моделированном эксперименте возможные изменения

биомеханических показателей костей животных разных возрастных периодов, возникающие в результате влияния больших по величине и скорости нарастания гравитационных перегрузок при непосредственном воздействии и в условиях предлагаемого метода физической защиты (научно-исследовательская тема Крымского медуниверситета № 0104U002080).

Материал и методы. Эксперимент осуществлён на 108 белых крысах-самках линии Вистар, распределённых на три возрастные группы: неполовозрелые – 2 месяца, половозрелые – 6 месяцев и животные старческого возраста – 12 месяцев, подвергавшихся воздействию поперечно-направленных (бок в бок) гравитационных перегрузок величиной 9G. Время экспозиции – 10 минут, сроки эксперимента – 10 и 30 суток. Животные каждой группы распределены на три серии. В первую серию вошли контрольные крысы, во вторую – животные, подвергавшиеся воздействию гравитационных перегрузок, в третью – животные, подвергающиеся воздействию идентичных перегрузок, но находящиеся в условиях предлагаемой нами физической защиты. Крысы находились в герметичном пластиковом контейнере, обеспеченном системой вентиляции, который в свою очередь помещался в металлический цилиндр, заполненный жидкостью (пат. № 46383). Эксперимент проводили ежедневно, кроме воскресенья, в одно и то же время в соответствии с правилами работы с позвоночными животными [7]. После выведения животных из опыта путём декапитации определяли прочностные характеристики данных костей при изгибе: удельную стрелу прогиба (УСП), модуль упругости (МУ), предел прочности (ПП) и минимальную работу разрушения (МРР) [8].

Результаты исследования и их обсуждение. На 10 день у животных второй серии отмечали снижение УСП, ПП и МУ, а МРР возрастала. У животных третьей серии, в условиях предлагаемой защиты, отмечались аналогичные изменения, но с меньшей степенью выраженности и также без статистической достоверности (табл. 1). К 30 дню у животных второй серии отмечали снижение УСП, а ПП, МУ и МРР нарастали. В костях животных третьей серии – УСП снижалась, а ПП, МУ и МРР увеличивались.

Таким образом, наиболее выраженные изменения биомеханических свойств плечевых костей неполовозрелых животных как на 10, так и на 30 день эксперимента наблюдали у животных 2-ой серии (без защиты). Биомеханические свойства костей животных третьей серии (с защитой) изменялись менее существенно, что может свидетельствовать о нивелирующем воздействии данного метода защиты.

При исследовании костей половозрелых животных второй серии (без защиты) установлено, что на 10 сутки эксперимента УСП и МРР увеличиваются, а ПП и МУ снижаются. У животных третьей серии (с защитой) отмечали аналогичные изменения, но опять же с меньшей степенью выраженности (табл. 2). На 30 день у животных второй серии (без защиты) значение УСП продолжало нарастать. Отклонение от контроля остальных показателей было аналогично изменениям при 10-дневном сроке, однако отличалось меньшей степенью выраженности.

Таким образом, на 30 день эксперимента у животных второй серии (без защиты) отмечали менее выраженное отклонение биомеханических показателей в сравнении с 10-дневным сроком. Изменение биомеханических показателей у животных третьей (с защитой) серии на 10 день эксперимента было менее выражено, чем у животных второй серии. На 30 же день УСП и

Таблица 1

Показатели биомеханики плечевой кости неполовозрелых крыс (M±m)

Срок	Серия	Удельная стрела прогиба, НмкМ	Предел прочности, гПа	Модуль упругости, гПа	Работа разрушения, мДж
10 дней	Контроль	9,3±0,3	104,2±9,2	5,0±0,4	48,6±4,9
	Без защиты	9,1±0,6	88,3±3,3	4,4±0,1	57,2±3,9
	С защитой	9,2±0,1	100,3±5,3	4,8±0,1	56,3±1,8
30 дней	Контроль	6,1±0,6	115,7±5,2	5,7±0,3	55,0±4,3
	Без защиты	4,6±0,2*	140,1±3,2*	6,2±0,4	72,8±6,6*
	С защитой	5,2±0,2	136,8±2,9*	6,0±0,2	71,4±2,7*

Примечание: М – средняя выборочная, m – ошибка средней выборочной, [*] – статистическая достоверность.

Таблица 2

Показатели биомеханики плечевой кости половозрелых крыс (M±m)

Срок	Серия	Удельная стрела прогиба, НмкМ	Предел прочности, гПа	Модуль упругости, гПа	Работа разрушения, мДж
10 дней	Контроль	3,2±0,2	134,0±8,1	6,3±0,6	66,7±6,7
	Без защиты	3,5±0,2	112,7±4,5*	4,8±0,2*	77,7±8,3
	С защитой	3,3±0,2	119,9±6,0	5,3±0,3	76,9±1,8
30 дней	Контроль	2,5±0,1	136,5±5,9	6,1±0,3	75,5±9,4
	Без защиты	2,8±0,1	119,3±4,6*	4,9±0,3*	82,4±8,9
	С защитой	2,7±0,1	124,4±5,6	5,2±0,2	84,3±8,0

Примечание: М – средняя выборочная, m – ошибка средней выборочной, [*] – статистическая достоверность.

Таблиця 3

Показатели биомеханики плечевой кости крыс старческого возраста ($M \pm m$)

Срок	Серия	Удельная стрела прогиба, НмкМ	Предел прочности, гПа	Модуль упругости, гПа	Работа разрушения, мДж
10 дней	Контроль	2,2±0,1	164,6±7,4	7,8±0,3	87,4±9,1
	Без защиты	2,4±0,1	140,5±5,3*	6,2±0,3*	74,4±4,1
	С защитой	2,3±0,2	155,7±3,1	6,9±0,2*	85,1±5,1
30 дней	Контроль	2,5±0,1	168,4±11,1	6,8±0,7	85,1±12,5
	Без защиты	2,2±0,1	203,8±8,2*	8,9±0,5*	106,2±8,5
	С защитой	2,3±0,1	191,0±9,8	7,88±0,2	106,0±11,5

Примечание: М – средняя выборочная, m – ошибка средней выборочной, [*] – статистическая достоверность.

МРР продолжали нарастать, а ПП и МУ имели тенденцию к незначительному снижению, что может свидетельствовать о замедлении адаптационных процессов в условиях предлагаемой защиты.

При исследовании костей животных старческого возраста, относящихся ко второй серии (без защиты) установлено, что на 10 сутки эксперимента УСП возрастала, а ПП, МУ и МРР снижались (табл. 3). В костях животных третьей (с защитой) серии отмечались аналогичные, но менее выраженные изменения.

На 30 день у животных второй серии (без защиты) выявлено значительное снижение УСП и нарастание ПП, МУ и МРР. В костях животных третьей (с защитой) серии отмечали аналогичные и статистически недостоверные изменения, причём показатели УСП и МРР практически соответствовали данным, полученным в результате исследования плечевых костей животных второй серии, а ПП и МУ снижались.

Таким образом, для неполовозрелых и животных старческого возраста на 10 сутки характерно снижение прочностных характеристик плечевых костей, зависящее от условий проводимого эксперимента. У животных 3-й серии наблюдаются менее выраженные отклонения от контроля. Нарастание прочности плечевых костей с одновременным увеличением жёсткости происходит на 30-е сутки опыта что, скорее всего, объясняется активным накоплением костной массы за счёт минерального компонента, а также активными процессами ремоделирования и аппозиционного роста. При этом зависимость от условий, в которых находились эксперименталь-

ные животные, более выражена при 10-дневном экспериментальном цикле.

У половозрелых животных прочностные характеристики снижаются, в отличие от контроля, с одновременным снижением жёсткости кости во всех экспериментальных сериях. Однако для животных, находившихся под воздействием гравитационных перегрузок без физической защиты, характерна зависимость данных изменений от сроков эксперимента, а для животных, находившихся в условиях защиты, изменения практически идентичны на протяжении всего периода наблюдения. Таким образом, отклонение биомеханических показателей плечевых костей половозрелых животных в разные сроки и в разных условиях имеют одинаковую направленность. Это, скорее всего, говорит об инертности процессов ремоделирования, характерных для животных данного возраста и, по всей видимости, связано с накоплением в костях половозрелых животных в первую очередь органического компонента, а также о конструктивных особенностях плечевых костей, выражающихся в увеличении площади поперечного сечения, что может быть вызвано замедлением процессов эндостальной резорбции.

Выводы. 1. Для неполовозрелых крыс, подвергавшихся непосредственному воздействию гипергравитации, на 10-е сутки эксперимента характерно снижение предела прочности и модуля упругости с одновременным нарастанием работы разрушения. На 30-е сутки данные показатели выше, а удельная стрела прогиба существенно ниже контроля. У животных, находившихся в условиях защиты, отмечаются ана-

логичные изменения, но меньшей степени выраженности. 2. В репродуктивном возрасте у животных, подвергавшихся непосредственному воздействию гипергравитации, на 10-е и 30-е сутки наблюдается снижение модуля упругости и предела прочности с параллельным нарастанием удельной стрелы прогиба и работы разрушения с минимальной выраженностью данных изменений на 30-й день опыта. У животных, находившихся в условиях защиты, изменения биомеханических параметров практически аналогичны, менее выражены и не имеют зависимости от сроков эксперимента. 3. У животных старческого возраста, подвергавшихся непосредственному воздействию гипергравитации, на 10-е сутки наблюдается снижение модуля упру-

гости, предела прочности, работы разрушения и нарастание удельной стрелы прогиба. К 30-м суткам отмечаются прямо противоположные изменения – модуль упругости, предел прочности и работа разрушения выше, а удельная стрела прогиба ниже контрольных показателей. У животных, находившихся в условиях защиты, при обоих экспериментальных сроках изменения биомеханических параметров аналогичны, но менее выражены.

Перспективы научного поиска. В дальнейшем целесообразно изучить биомеханические свойства костей животных разных возрастных групп под влиянием сочетанного воздействия гравитационных перегрузок и фармакологических корректоров.

Литература

1. Vico L., Barou O., Laroche N. et al. Effects of centrifuging at 2g on rat long bone metaphyses // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup.* – 1999. – V. 80, № 4. – P. 360-366.
2. Martines D.A., Orth M.W., Carr K.E. et al. Cortical bone responses to 2G hypergravity in grooving rats // *Aviat. Space Environ Med.* – 1998. – V. 69, № 6. – P. 17-22.
3. Montufar-Solis D., Duke P.J. Gravitational changes affect tibial growth plates according to Hert's curve // *Aviat. Space Environ Med.* – 1999. – V. 70, № 3. – P. 245-249.
4. Naumann F., Bennell K., Wark J. The effects of +Gz force on the bone mineral density of fighter pilots // *Aviat. Space Environ Med.* – 2001. – V. 72, № 3. – P. 177-181.
5. Хоменко М.Н., Вартбаронов Р.А., Бухтияров И.В. Медицинское обеспечение и психофизиологическая подготовка лётчиков к полётам на высокоманевренных самолётах // *Военно-мед. ж.* – 2000. – № 10. – С. 56-61.
6. Бухтияров И.В., Головкина О.Л., Хоменко М.Н. Динамика показателей респираторной системы человека при различной скорости нарастания перегрузок +Gz // *Авиакосмич. и экол. медицина.* – 2002. – Т. 36, № 1. – С. 12-16.
7. Науково-практичні рекомендації з утримання лабораторних тварин та роботи з ними / Ю.М.Кожем'якін, О.С.Хромов, М.А.Філоненко, Г.А.Сайфетдінова / За ред. А.І.Соловійова. – К.: Авіцена, 2002. – 155 с.
8. Ковешников В.Г., Лузин В.И. Биомеханические методы исследования в функциональной морфологии трубчатых костей // *Укр. морфол. альманах.* – 2003. – Т. 1, № 2. – С. 46-51.

ЗМІНИ БІОХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПЛЕЧОВИХ КІСТОК ЩУРІВ ПІД ДІЄЮ ГІПЕРГРАВІТАЦІЇ ТА В УМОВАХ ЗАХИСТУ ВІД НЕЇ

В.С.Пикалюк, А.Т.Чернов, К.А.Федченко,
Т.В.Денисенко

Резюме. У роботі показано, що дія гравітаційного перевантаження призводить до вагомих змін міцнісних характеристик плечових кісток щурів, які залежать від віку, тривалості та умов експерименту.

Ключові слова: діафіз, жорсткість, межа міцності, модуль пружності, робота руйнування, гіпергравітація.

CHANGES OF BIOMECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE RAT HUMERAL BONE EXPOSED TO HYPERGRAVITATION AND UNDER CONDITIONS OF PROTECTION AGAINST IT

V.S.Pikaliuk, A.T.Chernov, K.A.Fedchenko,
T.V.Denysenko

Abstract. It has been shown in the paper that the action of gravitational overloading results in considerable changes of the strength characteristics of the rat humeral bones that are dependent on age, duration and experimental conditions.

Key words: diaphysis, rigidity, strength, module of elasticity, work of destruction, hypergravitation.

State Medical University (Simferopol)

Надійшла в редакцію 24.05.2005 р.,
після доопрацювання – 15.09.2005 р.