

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИКО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЗВОНКОВ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ГИПЕРГРАВИТАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

В.С.Пикалюк, С.А.Кутя, Г.А.Мороз, А.О.Столоногов, Р.В.Лискевич

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

ВІКОВІ ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНИКО-ПЛАСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХРЕБЦІВ ПРИ СИСТЕМАТИЧНІЙ ГІПЕРГРАВІТАЦІЙНІЙ ДІЇ В ЕКСПЕРИМЕНТІ

Резюме. Установлено, що систематичні гравітаційні перевантаження викликають у щурів ювенільного віку підвищення міцності хребців, а також їх здатність опиратися деформації та руйнуванню. У молодих та зрілих тварин виявлені зміни мають протилежне спрямування. Побудовані математичні моделі дали змогу визначити основні чинники змін механіко-пластичних характеристик хребців.

Ключові слова: хребці, механіко-пластичні властивості, гіпергравітація, вік.

Исследования в рамках НИР кафедры нормальной анатомии КГМУ «Возрастные морфофункциональные особенности отдельных органов и систем организма под влиянием гравитационных перегрузок и различных методов их коррекции» (№ 0104U002080) показали целый ряд изменений процессов перестройки костей под воздействием гипергравитации (Гг) [1-3]. Известно [4, 5], что характер структурно-функциональных преобразований в костной системе предопределяет изменения биомеханики – одной из фундаментальных ее функций в организме.

Цель исследования: оценить механико-пластические свойства позвонков крыс разных возрастных групп, подвергавшихся повторяющемуся воздействию Гг.

Материал и методы. Эксперимент проведен на 108 белых крысах-самцах линии Вистар ювенільного, молодого и зрелого возрастов с исходной массой 120-130, 200-220 и 260-280 г соответственно, которые были разделены на 2 серии – контрольную (К) и экспериментальную (П). Животных серии П ежедневно подвергали воздействию поперечных перегрузок Гг величиной 9 g в течение 10 мин в виде следующих друг за другом трех “площадок” продолжительностью по 3 мин (с двумя 30-секундными перерывами между ними). Гг моделировали путем вращения животных в периферических контейнерах

на центрифуге Ц-2/500. Животных серии К на период сеанса Гг помещали в аналогичные контейнеры и размещали на платформе центрифуги. Крысы содержались в виварии в соответствии с правилами, установленными Европейской конвенцией по защите позвоночных животных, использующихся в экспериментальных и других научных целях. По истечении сроков эксперимента (10, 30, 60 дней) на следующий день после последнего сеанса Гг животных декапитировали под эфирным наркозом, забирали и очищали от мягких тканей V поясничный позвонок. Биомеханические параметры костей при сжимающей деформации исследовали при помощи специального устройства собственной конструкции (заявка на пат. и201203226 от 19.03.12) со скоростью 0,25 мм/мин до разрушения. Рассчитывали несущую способность, жесткость, предел прочности и модуль упругости [6]. Достоверность расхождения экспериментальных и контрольных данных оценивали с использованием критерия Стьюдента, достоверной считали вероятность ошибки меньше 5% ($p \leq 0,05$). Для исследования зависимости показателей механико-пластических характеристик позвонков от их биофизических свойств [7] с целью прогнозирования значения одного признака по значению нескольких проводили регрессионный анализ. Расчеты производились при помощи

пакета ліцензійного статистического аналізу "Statistica 6.0" для Windows з використанням модуля «Multiple regression» і методу пошгової регресії [8]. Точність моделювання оцінювали при допомозі наступних основних показателів: множественний коефіцієнт кореляції (R), множественний коефіцієнт детермінації (R^2), стандартна помилка оцінки (COO), F -критерій Фишера і рівень значимості критерія Фишера (F , p).

Результати дослідження. Данні механічних випробувань позвонків на сжатие приведені в таблиці 1. Сопоставлення даних експериментальної і контрольної серій показало, що 10-кратні перегаздки Гг не вызвали суттєвого змінення изучавшихся показателів у животнох ювенильного віку. Після 30-кратного впливу Гг також відкрили статистически недостовірні змінення, за исключением показателя предела прочности, значение которого было больше, чем в контроле на 7,47%. Обращает на себя внимание тенденция к увеличению величин остальных параметров относительно контроля. Наиболее значительные отклонения значений показателей у животных серии П

от аналогічних в серії К відкрили при максимальній кратності (60) впливу. При этом в більшій степені змінювалися показателі, отражающие конструкційні особливості позвонків: несущая способность була збільшена на 14,22%, а жорсткість – в 1,2 рази. Предел прочности і модуль упругості, характеризующие кость как материал, были збільшеними относительно контроля на 9,6 і 8,18% відповідно.

У молодих животнох 10-кратне вплив Гг також не оказало суттєвого впливу на изучавшіся показателі. Однак обращает на себя внимание тот факт, что все они были меньше контрольних значень. 30-кратне вплив Гг привело к уменьшению значений всех показателей относительно результатов, полученных в контрольній серії: несущей способности позвонків – на 5,85%, их жорсткості – на 12,4%, предела прочности – на 12,95%, модуля упругості – на 16,53%. Похожі змінення були виявлені і після 60 сеансів моделювання Гг. Значення показателів, отражающих конструкційні особливості позвонків, были меньше контрольних на 3,36% (несущая способность) і

Таблиця 1

Механіко-пластическіє властивості позвонків у крыс різного віку ($M \pm m$)

Кратность воздействия, разы	Серия	Несущая способность, Н	Жесткость, Н/мм	Предел прочности, Н/мм ²	Модуль упругости, Н/мм ²
Животные ювенильного возраста					
10	К	6,26±0,18	0,10±0,02	121,79±3,80	2,72±0,06
	П	6,20±0,05	0,12±0,01	123,65±3,27	2,63±0,07
30	К	9,01±0,15	0,21±0,01	186,57±3,41	3,68±0,08
	П	9,48±0,17	0,22±0,02	200,51±3,99*	3,80±0,09
60	К	14,12±0,41	0,27±0,02	268,50±3,47	4,32±0,05
	П	16,13±0,37*	0,33±0,02	294,28±3,94*	4,67±0,04*
Животные молодого возраста					
10	К	23,05±0,53	0,41±0,02	367,98±3,99	5,93±0,13
	П	22,25±0,44	0,40±0,01	342,02±12,87	5,60±0,10
30	К	22,06±0,20	0,43±0,02	349,05±3,67	5,94±0,06
	П	20,77±0,22*	0,35±0,01*	303,84±2,52*	4,96±0,19*
60	К	25,47±0,37	0,38±0,01	404,21±7,56	6,71±0,08
	П	24,61±0,29	0,36±0,01	362,71±3,37*	5,80±0,12*
Животные зрелого возраста					
10	К	32,20±0,47	0,54±0,01	442,49±12,29	8,55±0,42
	П	32,27±0,98	0,53±0,01	436,37±1,61	8,26±0,14
30	К	35,06±0,36	0,60±0,02	454,25±4,48	8,80±0,07
	П	32,92±0,20*	0,54±0,01*	393,05±3,70*	7,88±0,07*
60	К	36,35±0,92	0,57±0,01	460,65±9,58	8,60±0,08
	П	34,22±0,21*	0,54±0,02	396,77±3,82*	7,78±0,13*

Примечание. * – $p < 0,05$ относительно контроля.

Показатели регрессионной статистики

Показатель, кратность действия перегрузок (разы), возраст животных (месяцы)	R	R ²	COO	F	F, p
Жесткость, 10, 12	0,991	0,981	0,007	34,55	0,028
Жесткость, 60, 12	0,989	0,978	0,011	29,62	0,032
Несущая способность, 60, 12	0,976	0,953	0,164	13,50	0,070

5,26% (жесткость). Отклонения величин остальных показателей были менее выраженными, чем после 30-кратного воздействия. Так, предел прочности был сниженным относительно контроля на 10,27%, а модуль упругости – на 13,56%.

Гг оказала незначительное влияние на механико-пластические свойства позвонков крыс зрелого возраста после 10-кратного воздействия, так как изучавшиеся показатели слабо отличались от контрольных значений (амплитуда отклонений не превышала 3%) и эти изменения носили статистически недостоверный характер. Увеличение кратности действия перегрузок до 30 привело к развитию наиболее существенных изменений изучавшихся характеристик (в сравнении с сериями опытов с 10- и 60-кратным воздействием перегрузок Гг), а именно, к снижению несущей способности позвонков – на 6,11%, жесткости – на 9,72%, предела прочности – на 13,47%, модуля упругости – на 10,44%. Изменения аналогичной направленности, но несколько меньшей выраженности, были обнаружены после 60 сеансов моделирования Гг. Несущая способность была снижена относительно контроля на 5,86%, жесткость – на 5,56%, предел прочности – на 13,87%, модуль упругости – на 9,5%.

С целью изучения влияния изменения ряда биофизических характеристик позвонков, косвенно отражающих процессы перестройки костей, на показатели их механико-пластических свойств у крыс разного возраста, подвергавшихся систематическому действию Гг, в качестве аппарата математической модели нами использован многофакторный регрессионный анализ. В построенных моделях: Y – зависимая переменная (показатели биомеханических свойств); X₁ – X₃ – независимые переменные (X₁ – плотность; X₂ – минеральная насыщенность; X₃ – зольность).

При оценке результатов, полученных в ходе выполнения стандартной процедуры регрессионного анализа, оказалось, что высокой надежностью и достоверностью характеризуются полученные модели для показателей, указанных в таблице 2.

После автоматического пошагового определения достоверных переменных и исключения незначимых прогнозные модели приняли следующий вид.

1. Жесткость позвонков животных зрелого возраста при 10-кратном воздействии:

$$Y = 32,10 - 25,19X_1 + 43,84 \cdot X_2 - 0,55 \cdot X_3$$

2. Жесткость позвонков зрелых животных, испытавших 60-кратное воздействие использованного фактора:

$$Y = -0,87 + 0,03 \cdot X_3$$

3. Несущая способность позвонков животных этого же возраста после 60 сеансов моделирования перегрузок:

$$Y = 42,04 + 42,93 \cdot X_1 - 153,86 \cdot X_2$$

Выводы. 1. Под действием многократно повторяющихся перегрузок Гг у животных ювенильного возраста повышается прочность позвонков, а также их способность сопротивляться деформации и разрушению, в то время как у молодых и зрелых животных наблюдаются обратные изменения. 2. Построенные математические модели свидетельствуют о том, что жесткость позвонков крыс после 10-кратного воздействия зависит от всех трех изучавшихся показателей (плотность, минеральная насыщенность и зольность), после 60-кратного – от степени минерализации костного матрикса, а несущая способность (при таком же количестве сеансов) – от плотности и минеральной насыщенности позвонков. 3. В перспективе целесообразно исследовать биомеханические характеристики позвонков в условиях Гг при других видах деформации (кручение, разрыв).

Литература

1. Возрастные особенности микроархитектоники губчатого вещества позвонков крыс при действии гравитационных перегрузок / С.А.Кутя, В.С.Пикалюк, И.А.Верченко, М.М.Кодиров // Вісн. пробл. біол. і мед. – 2011. – Вип. 2, т. 2. – С. 157-161. 2. Кутя С.А. Гистоморфометрическая оценка влияния гра-

витацiонних перегрузок на процеси перестройки в компактному речовині кісток крыс різного віку / С.А.Куця // Укр. морфол. альманах. – 2011. – № 3. – С. 89-91. 3. Куця С.А. Перестройка кісткової тканини крыс під впливом гравітацiонних перегрузок за даними гистоморфометрії / С.А.Куця // Укр. морфол. альманах. – 2011. – № 1. – С. 63-65. 4. Бруско А.Т. Біологічний закон відповідності кількості та функції кісткової тканини / А.Т.Бруско // Укр. морфол. альманах. – 2008. – № 2. – С. 177-178. 5. Hernandez C.J. A biomechanical perspective on bone quality / C.J.Hernandez, T.M.Keaveny // Bone. – 2006. – Vol. 39, № 6. – P. 1173-1181. 6. Куця С.А. Методика дослідження біомеханічних властивостей кісток щурів / С.А.Куця, Р.В.Ліскевич, О.О.Столоногов // Укр. морфол. альманах. – 2011. – № 2. – С. 41-42. 7. Куця С.А. Влияние поперечных гравітацiонных перегрузок на органические характеристики костей крыс разного віку / С.А.Куця // Укр. морфол. альманах. – 2010. – № 2. – С. 115-117. 8. Реброва О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / Реброва О.Ю. – М.: МедиаСфера, 2002. – 312 с.

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИКО-ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЗВОНКОВ ПРИ СИСТЕМАТИЧЕСКОМ ГИПЕРГРАВИТАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Резюме. Установлено, что систематические гравитационные перегрузки вызывают у крыс ювенильного возраста повышение прочности позвонков, а также их способность сопротивляться деформации и разрушению. У молодых и зрелых животных выявленные изменения имеют противоположную направленность. Построенные математические модели позволили определить основные факторы изменений механико-пластических характеристик.

Ключевые слова: позвонки, механико-пластические свойства, гипергравитация, возраст.

AGE-RELATED FEATURES OF THE MECHANOPLASTIC PROPERTIES OF THE VERTEBRAE SUBJECTED TO SYSTEMATIC HYPERGRAVITATION IN AN EXPERIMENT

Abstract. It has been established that systematic gravitational overloads cause an increase of the strenght of the vertebrae, as well as their ability to resist deformity and destruction. Detected changes in young and mature animals have an opposite orientation. Constructed mathematical models have made it possible to determine the chief factirs of changes of mechanicoplastic characteristics of the vertebrae.

Key words: vertebrae, mechanoplastic properties, hypergravity, age.

Crimean State Medical University named after S.I.Georgiievskiy (Simferopol)

Надійшла 18.06.2012 р.
Рецензент – проф. В.І.Лузін (Луганськ)