

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ИНТАКТНЫХ БЕЛЫХ КРЫС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА

ГЗ «Луганский государственный медицинский университет» (г. Луганск)

Работа является фрагментом межкафедральной НИР Луганского государственного медицинского университета «Морфогенез органов эндокринной, иммунной и костной систем под воздействием экологических факторов», № государственной регистрации 0110U005043.

Вступление. Известно, что скелет является реактивной системой, которая динамически реагирует на влияние самых различных как эндогенных, так и внешнесредовых факторов [1, 4-8, 10 и др.]. Основными функциями скелета являются метаболическая (депо минеральных веществ) и механическая (опорная), следовательно, при воздействии на организм эндогенных и внешнесредовых агентов будет изменяться как минеральный состав, так и прочность отдельных костей. Также доказано, что в период инволютивных изменений в связи с развитием сенильного остеопороза механическая прочность костей также снижается, что сопровождается увеличением частоты так называемых «низкоэнергетических» переломов [11]. Все это требует экспериментальных исследований биомеханической прочности костей скелета под влиянием различных неблагоприятных агентов и обоснования возможностей коррекции выявленных изменений.

Особое значение при этом имеет корректное сравнение полученных результатов с результатами исследования прочности у одновозрастных животных контрольной группы. Поэтому четкое описание

возрастной динамики прочности исследуемых костей подопытных животных является одной из первоочередных задач. При этом следует учитывать, что для длинных трубчатых костей наиболее функциональным является нагружением при изгибе [2].

Цель исследования. Изучить прочностные характеристики плечевых костей интактных белых крыс различного возраста при изгибающей деформации с целью описания возрастной динамики исследуемых показателей.

Объекты и методы исследования. Представленное исследование было проведено на 96 беспородных белых крысах, полученных из вивария ГЗ «Луганский государственный медицинский университет», трех возрастных групп: неполовозрелых (с исходной массой 40-45 г), половозрелых (130-140 г) и периода инволютивных изменений (300-315 г). По истечении сроков наблюдения (7, 15, 30 и 90 дней) животных декапитировали под эфирным наркозом, выделяли и скелетировали плечевые кости. Биомеханические характеристики плечевой кости определяли при изгибе на универсальной нагрузочной машине Р-0. 5 со скоростью нагружения 0,25 мм/мин до разрушения. Рассчитывали удельную стрелу прогиба, разрушающий момент, предел прочности, модуль упругости, работу разрушения [1, 12, 15].

Все манипуляции на животных выполняли в соответствии с правилами Европейской конвенции защиты позвоночных животных, использующихся

Таблица

Биомеханические характеристики плечевых костей интактных белых крыс различного возраста при испытаниях на изгиб ($M \pm \Delta m$)

Возраст	Сроки	Уд. стрела прогиба, НмкМ	Разрушающий момент, НММ	Предел прочности, ГПа	Модуль упругости, ГПа	Работа разрушения, мДж
Неполовозрелые	7	14,37±0,60	44,20±1,87	66,18±2,29	3,25±0,09	28,33±0,73
	15	13,37±0,53	51,86±2,50	77,69±2,40	3,73±0,15	35,78±2,00
	30	12,09±0,42	58,48±2,27	84,48±2,51	3,93±0,14	37,69±1,60
	90	5,68±0,09	98,21±2,60	110,87±3,30	4,65±0,31	49,52±3,21
Половозрелые	7	5,70±0,11	104,78±0,94	116,32±3,81	4,92±0,25	59,47±2,16
	15	5,38±0,33	115,83±8,42	121,73±5,62	5,17±0,17	64,72±3,76
	30	3,96±0,26	149,52±10,65	139,62±5,49	5,34±0,20	65,05±3,03
	90	3,47±0,15	178,93±8,14	165,82±7,11	5,42±0,12	93,86±2,96
Инволютивные	7	2,57±0,12	218,93±8,07	169,96±8,27	5,91±0,24	105,69±4,34
	15	2,60±0,11	220,36±9,53	167,53±6,18	5,74±0,32	109,61±4,69
	30	2,74±0,15	222,5±10,65	163,16±10,19	4,98±0,28	115,47±6,61
	90	2,26±0,17	247,5±12,34	149,50±10,68	4,79±0,35	113,18±4,48

в экспериментальных и других научных целях [13]. Полученные цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием стандартных прикладных программ [3].

Результаты исследований и их обсуждение.

Полученные данные биомеханического исследования плечевых костей представлены в **таблице**.

У неполовозрелых интактных крыс прочность плечевых костей при изгибающей деформации в ходе наблюдения (с 7 по 90 дни) интенсивно возрастала. Так, за время наблюдения удельной прогиба стрелы (величина, обратная жесткости) уменьшилось с $14,37 \pm 0,60$ НмкМ до $5,68 \pm 0,09$ НмкМ. Значения разрушающего момента, предела прочности, модуля упругости и минимальной работы разрушения при этом возрастали соответственно с $44,20 \pm 1,87$ НмМ до $98,21 \pm 2,60$ НмМ, с $66,18 \pm 2,29$ ГПа до $110,87 \pm 3,30$ ГПа, с $3,25 \pm 0,09$ ГПа до $4,65 \pm 0,31$ ГПа и с $28,33 \pm 0,73$ мДж до $49,52 \pm 3,21$ мДж (**табл.**).

У крыс репродуктивного возраста прочность плечевых костей при изгибающей деформации продолжала увеличиваться, но менее значительно, чем у неполовозрелых животных (**табл.**). Значение удельной стрелы прогиба в ходе наблюдения постепенно снижалось с $5,70 \pm 0,11$ НмкМ до $3,47 \pm 0,15$ НмкМ, а значения разрушающего момента, предела прочности, модуля упругости и минимальной работы разрушения продолжали увеличиваться соответственно с $104,78 \pm 0,94$ НмМ до $178,93 \pm 8,14$ НмМ, с $116,32 \pm 3,81$ ГПа до $165,82 \pm 7,11$ ГПа, с $4,92 \pm 0,25$ ГПа до $5,42 \pm 0,12$ ГПа и с $59,47 \pm 2,16$ мДж до $93,86 \pm 2,96$ мДж.

Наконец, у животных старческого возраста значения удельной стрелы прогиба в ходе наблюдения колебались в пределах $2,26-2,74$ НмкМ, разрушающего момента – в пределах $218,93-247,50$ НмМ, а минимальной работы разрушения – в пределах $105,69-113,18$ мДж (**табл.**). В то же время, показатели предела прочности и модуля упругости постепенно снижались соответственно с $169,96 \pm 8,27$ ГПа до $149,50 \pm 10,68$ ГПа и с $5,91 \pm 0,24$ ГПа до $4,79 \pm 0,35$ ГПа. Это свидетельствует об ухудшении прочностных свойств кости как материала (за счет как органического, так и минерального компонента)

и является проявлением возрастзависимого остеопороза.

Таким образом, для интактных белых крыс характерны следующие возрастные изменения механической прочности плечевой кости: у неполовозрелых животных в ходе наблюдения прочность плечевой кости при изгибе значительно возрастает, что проявляется в уменьшении значения удельной стрелы прогиба и увеличении показателей модуля упругости, предела прочности и минимальной работы разрушения кости. Это связано с активными процессами аппозиционного роста костей, а также накоплением костной массы (за счет как органического, так и минерального компонента) [9, 11].

В репродуктивном возрасте прочность плечевой кости белых крыс продолжает увеличиваться, но на много медленнее, чем у неполовозрелых животных. Однако, намечается тенденция к увеличению жесткости конструкции кости, что, вероятно, связано с начинающимися возрастными изменениями в органическом и минеральном матрикс кости и проявляется в уменьшении значения удельной стрелы прогиба и увеличении модуля упругости.

У интактных животных старшей возрастной группы в ходе наблюдения все исследуемые прочностные параметры начинают уменьшаться, что является отражением возрастных процессов замедления синтеза органических веществ [10, 14] и их минерализации.

Выводы. Сопоставляя полученные нами данные с данными литературы [2, 4, 9, 12 и др.], можно заключить, что возрастная динамика прочности плечевой кости при изгибающей деформации у интактных белых крыс в целом совпадает с периодизацией онтогенетических преобразований в костной системе:

1. период интенсивного костеобразования – в неполовозрелом возрасте;

2. период стабилизации перестроенных процессов – в репродуктивном возрасте;

3. период регрессивных изменений с преобладанием процессов резорбции – у крыс периода старческих изменений.

Перспективы дальнейших исследований.

Для того, чтобы определить вклад органического и минерального компонента в прочностные характеристики цельной кости в дальнейшем будет проведено исследование прочностных характеристик декальцинированных плечевых костей.

Литература

1. Гетманец А. А. Гистологическое строение проксимального эпифизарного хряща большеберцовой кости при экспериментальном артрите коленного сустава / А. А. Гетманец // Український морфологічний альманах. – 2012. – Том 10, № 2. – С. 29-31.
2. Ковешников В. Г. Биомеханические методы исследования в функциональной морфологии трубчатых костей / В. Г. Ковешников, В. И. Лузин // Український морфологічний альманах. – 2003. – Т. 1, № 2. – С. 46-50.
3. Лапач С. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С. Н. Лапач, А. В. Чубенко, П. Н. Бабич. – Киев: Морион, 2000. – 320 с.
4. Лузин В. И. Рост и формообразование костей скелета белых крыс при нанесении дырчатого дефекта большеберцовых костей на различных этапах постнатального онтогенеза / В. И. Лузин, В. Н. Прочан // Український морфологічний альманах. – 2008. – Том 6, № 4. – С. 69-74.
5. Лузин В. И. Прочностные характеристики плечевой кости белых крыс различного возраста при нанесении дырчатого дефекта большеберцовых костей / В. И. Лузин, В. Н. Прочан // Український медичний альманах. – 2009. – Том 12, № 1. – С. 102-106.

6. Лузин В. И. Прочностные характеристики плечевой кости при имплантации в большеберцовую кость гидроксилатапата, насыщенного цинком / В. И. Лузин, В. А. Коротун // Український морфологічний альманах. – 2012. – Том 10, № 2. – С. 68-70.
7. Лузин В. И. Прочность плечевой кости при имплантации в большеберцовую кость гидроксилатапатитного материала ОК-015, легированного медью / В. И. Лузин, В. В. Стрий // Український медичний альманах. – 2009. – Том 12, № 5. – С. 114-117.
8. Лузин В. И. Ультраструктура кісткового мінералу в білих статевозрілих щурів після впливу різних режимів хронічної гіпертермії й обґрунтування можливості корекції виявлених змін / В. И. Лузин, С. М. Смоленчук // Травма. -2011. –Т. 12, №2. –С. 131-134.
9. Радиобиология костной ткани / Л. А. Френкель, Л. З. Калмыков, А. И. Ланько и др. ; Под ред. В. И. Шантыря. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 186 с.
10. Регенерація скелету. Роль системи крові і окремих факторів її перебігу/ В. С Пикалюк, С. А. Кутя, В. І. Лузін, и др. – Сімферополь: ВД «АРИАЛ», 2011. – 248 с.
11. Франке Ю. Остеопороз / Ю. Франке, Г. Рунге. – М. : Медицина, 1995. – 304 с.
12. Bone strength as a trait for assessing mineralization in swine: a critical review of techniques involved / T. D. Crenshaw, E. R. Peo, A. J. Lewis and B. D. Moser // Journal of animal science. – 1981. – Vol. 53, No. 3. – P. 827-835.
13. European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purpose: Council of Europe 18. 03. 1986. – Strasbourg, 1986. – 52 p.
14. Lowe N. M. Is there a potential therapeutic value of copper and zinc for osteoporosis? / N. M. Lowe, W. D. Fraser, M. J. Jackson // Proc. Nutr. Soc. – 2002. – Vol. 61. – P. 181-185.
15. Bone strength as a trait for assessing mineralization in swine: a critical review of techniques involved / T. D. Crenshaw, E. R. Peo, A. J. Lewis and B. D. Moser // Journal of animal science. – 1981. – Vol. 53, No. 3. – P. 827-835.

УДК 54. 01:591. 47136:615. 35

ЗМІНИ МІЦНОСТІ ДОВГИХ ТРУБЧАСТИХ КІСТОК ІНТАКТНИХ БІЛИХ ЩУРІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВІКУ

Лузін В. І., Верескун Р. В., Гетманець О. В., Глущенко Р. М., Мірошніченко П. В., Скоробогатов А. М.

Резюме. В експерименті на 96 білих інтактних щурах трьох вікових груп досліджували механічну міцність плечової кістки при вигині. Показано, що зміни міцності плечової кістки співпадають з періодизацією онтогенетичних перетворень у кістковій системі: періодом інтенсивного кісткоутворення у статевонезрілому віці, періодом стабілізації процесів перебудови у репродуктивному віці та періодом регресивних змін з переважанням процесів резорбції у щурів періоду старечих змін.

Ключові слова: щури, післянатальний онтогенез, плечова кістка, міцність, вікова динаміка.

УДК 54. 01:591. 47136:615. 35

ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ДЛИННЫХ ТРУБЧАТЫХ КОСТЕЙ ИНТАКТНЫХ БЕЛЫХ КРЫС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВОЗРАСТА

Лузин В. И., Верескун Р. В., Гетманец А. В., Глущенко Р. Н., Мирошніченко П. В., Скоробогатов А. Н.

Резюме. В эксперименте на 96 белых интактных крысах трех возрастных групп исследовали механическую прочность плечевой кости при изгибающей деформации. Показано, что изменения прочности плечевой кости совпадают с периодизацией онтогенетических преобразований в костной системе: периодом интенсивного костеобразования в неполовозрелом возрасте, периодом стабилизации перестроенческих процессов – в репродуктивном возрасте и периодом регрессивных изменений с преобладанием процессов резорбции у крыс периода старческих изменений.

Ключевые слова: крысы, постнатальный онтогенез, плечевая кость, прочность, возрастная динамика.

UDC 54. 01:591. 47136:615. 35

The Changes in Strength of Long Tubular Bones of Intact White Rat with Age

Luzin V. I., Vereskun R. V., Getmanets A. V., Glushenko R. N., Miroshnichenko P. V., Skorobogatov A. N.

Summary. The purpose of the study. To study the strength characteristics of the humerus of intact white rats of different ages in the bending deformation to describe the age dynamics of the studied parameters.

Objects and methods. The present study was conducted on 96 white mongrel rats of three age groups: immature (with initial weight of 40-45 g), mature (130-140 g) and the period of involutive changes (300-315 g). After observation periods (7, 15, 30 and 90 days) the animals were decapitated under ether anesthesia, was isolated and cleaned humerus. Biomechanical characteristics of the humerus was determined at a bend on a universal testing machine P-0. 5 with loading rate of 0,25 mm/min until destruction. The specific arrow of the deflection, tensile strength, modulus of elasticity, the minimal work of destruction were determined. All procedures on animals were performed in accordance with the rules of the European Convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes. The resulting digital data were processed by methods of variation statistics with the use of standard software applications.

Results and discussion. In intact immature rats, the strength of humerus when bending deformation during periods of observation (from 7 to 90 days) had been increased. Thus, during the observation the specific arrow of

the deflection decreased from $14,37 \pm 0,60$ NmкM to $5,68 \pm 0,09$ NmкM. The values of the moment of destruction, the tensile strength, modulus of elasticity and a minimal work of destruction are increase, respectively, from $44,20 \pm 1,87$ NmM to $98,21 \pm 2,60$ NmM, from $66,18 \pm 2,29$ GPa to $110,87 \pm 3,30$ GPa, from $3,25 \pm 0,09$ GPa to $4,65 \pm 0,31$ GPa and from $28,33 \pm 0,73$ mDJ to $49,52 \pm 3,21$ mDJ.

This is due to the active processes of appositional bone growth and bone mass accumulation (due to both organic and the mineral component).

In mature intact rats the strength of humerus in bending deformation continued to increase, but less dramatically than in immature intact animals. The value of the specific arrow of the deflection during the observation was gradually reduced from $5,70 \pm 0,11$ NmкM to $3,47 \pm 0,15$ NmкM and values of the moment of destruction, tensile strength, modulus of elasticity and a minimum work of destruction continued to increase, respectively, from $104,78 \pm 0,94$ NmM to $178,93 \pm 8,14$ NmM, from $116,32 \pm 3,81$ GPa to $165,82 \pm 7,11$ GPa, from $4,92 \pm 0,25$ GPa to $5,42 \pm 0,12$ GPa and from $59,47 \pm 2,16$ mDJ to $93,86 \pm 2,96$ mDJ.

Probably this is due starting with age changes in the organic matrix and mineral of bone and manifests in reduce the value of the specific arrow of the deflection and increase the modulus of elasticity.

Finally, in intact rats of the period of involution changes values of specific arrow of the deflection during observation ranged $2,26$ NmкM- $2,74$ NmкM, moment of destruction – within $218,93$ HmM- $247,50$ HmM and minimum work of destruction – within $105,69$ mDJ- $113,18$ mDJ. At the same time, the values of tensile strength and modulus of elasticity gradually decreases respectively from $169,96 \pm 8,27$ GPa to $149,50 \pm 10,68$ GPa and from $5,91 \pm 0,24$ GPa to $4,79 \pm 0,35$ GPa.

This is evidence of deterioration in the strength properties of bone as a material (due to both organic and mineral components) and is a manifestation of age-related osteoporosis.

Conclusions. Age dynamics of the strength of the humerus in the bending deformation in intact white rats generally coincides with the periodization of developmental changes in the skeletal system: a period of intense bone formation – in an immature age, the period of stabilization of restructuring processes – in the reproductive age and the period of regressive changes with a predominance of resorption processes – in elderly rats.

Key words: rats, postnatal ontogenesis, humerus, strength, age dynamics.

*Рецензент – проф. Проніна О. М.
Стаття надійшла 16. 09. 2013 р.*