

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА

УДК 599.323.4:591.2:665.353.4  
 © Коллектив авторов, 2019

А.В. Ляшук<sup>1</sup>, В.И. Лузин<sup>1</sup>, В.Н. Морозов<sup>2</sup>, Е.Н. Морозова<sup>2</sup>  
**ХИМИЧЕСКИЙ И МАКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КОСТЕЙ СКЕЛЕТА  
 ПРИ ИЗБЫТОЧНОМ СОДЕРЖАНИИ ПАЛЬМОВОГО МАСЛА В РАЦИОНЕ  
 У БЕЛЫХ КРЫС РАЗЛИЧНОГО ВОЗРАСТА**

<sup>1</sup>ГУ «Луганский государственный медицинский университет  
 им. Святителя Луки», г. Луганск

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный  
 исследовательский университет», г. Белгород

В настоящее время установлена несомненная связь между скелетом и жировой тканью на различных функциональных уровнях, однако целостных сведений о морфогенезе скелета в условиях ожирения на данный момент нет. Целью исследования явилось установить особенности химического и макроэлементного состава костей у крыс различного возраста при алиментарном ожирении. Эксперимент проведен на крысах-самцах 2-х групп: 1-я – контрольная, 2-я – крысы, получавшие в течение 6 недель пальмовое масло из расчета 30 г/кг/сут. Сроки наблюдения составили 1, 10, 30 и 60 суток по окончании 6 недель от начала приема пальмового масла. Химический состав костей определяли весовым методом и методом спектротометрии. Употребление пальмового масла из расчета 30 г/кг/сут в течение 6 недель у крыс сопровождается дисбалансом макроэлементного состава костей (увеличением содержания натрия, калия; снижением содержания кальция и соотношения кальций/фосфор). Расстройство макроэлементного состава костей нарастает по мере увеличения длительности употребления пальмового масла. В наибольшей степени эти изменения прогрессируют у половозрелых животных и животных старческого возраста, а в наименьшей степени – у ювенильных крыс.

**Ключевые слова:** крыса, кости скелета, химический и макроэлементный состав, пальмовое масло.

A.V. Lyaschuk, V.I. Luzin, V.N. Morozov, E.N. Morozova  
**CHEMICAL AND MACROELEMENTAL COMPOSITION  
 OF SKELETAL BONES AT DIET ENRICHED WITH PALM OIL  
 IN RATS OF DIFFERENT AGES**

Nowadays, there is an undoubtedly link between the skeleton and adipose tissue at various functional levels; however, there is no complete information about skeletal morphogenesis in obesity at this time. The aim of the research was to establish the characteristics of the chemical and macroelemental composition of bones in rats of different ages with alimentary obesity. The experiment was carried out on male rats of the two groups: group 1 - control, group 2 - rats receiving 6 weeks palm oil in dose of 30 g/day/kg. The periods of the experiment were 1, 10, 30 and 60 days after 6 weeks from the start of palm oil intake. The chemical composition of the bones was determined by weight and spectrophotometry methods. The use of palm oil in dose of 30 g/day/kg is accompanied by an increase in the content of water, sodium and potassium, and a decrease in the content of organic and mineral substances, calcium and the ratio of calcium/phosphorus which increases with the duration of use of palm oil. These changes are most pronounced in adult and elderly animals, and to the least extent in juvenile rats.

**Key words:** rat, skeletal bones, chemical and macroelemental composition, palm oil.

Ожирение и остеопороз в настоящее время имеют все более широкое распространение, оказывают большое влияние как на смертность, так и на заболеваемость и поэтому являются двумя серьезными проблемами современного здравоохранения [8]. За последние десятилетия оба эти заболевания стали еще более серьезной угрозой здоровью, поскольку с увеличением продолжительности жизни населения увеличивается и риск развития как остеопороза, так и ожирения [12].

Жировая ткань функционирует как эндокринный орган, высвобождая ряд адипокинов, которые модулируют метаболизм глюкозы и липидов, воспаление, аппетит и резистентность к инсулину [6]. Некоторые из этих адипокинов, такие как интерлейкин-6, и фактор некроза опухоли-α оказывают негативное влияние на гомеостаз костных клеток [10]. Скелет также может рассматриваться как эн-

докринный орган, который влияет на контроль массы тела и гомеостаз глюкозы через остеокальцин и остеопонтин [7]. Таким образом, связь между скелетом и жировой тканью на различных функциональных уровнях несомненна, однако единичных сведений о морфогенезе скелета при ожирении на данный момент до сих пор не существует.

Цель данного исследования – установить особенности макроэлементного состава костей скелета белых крыс различного возраста в условиях алиментарного ожирения, вызванного избыточным употреблением в пищу пальмового масла.

### Материал и методы

Эксперимент был проведен на 216 белых лабораторных крысах-самцах трех возрастных групп: ювенильных (исходная масса 50-55 г), половозрелых (180-190 г) и старческого возраста (300-320 г). Все манипуляции

проводились с соблюдением правил и норм, прописанных в директивах Европейского сообщества (86/609 EEC) и Хельсинкской декларации. Животные контрольной (1-й) группы содержались в стандартных условиях вивария согласно существующим требованиям и положениям [9]. Животные 2-й группы в дополнение к стандартному рациону получали пальмовое масло из расчета 30 г/кг/сут [2]. Сроки наблюдения составили 1, 10, 30 и 60 суток по окончании 6 недель от начала приема пальмового масла; в ходе дальнейшего наблюдения животные 2-й группы продолжали получать пальмовое масло. По истечении сроков наблюдения животных декапитировали под эфирным наркозом, выделяли большеберцовые, тазовые кости и третий поясничный позвонок. Определяли процентное содержание воды, органических и неорганических веществ, которые рассчитывали последовательно по разнице между исходной массой и массой после высушивания костей до постоянного веса при температуре 105°C в сухожаровом шкафу и озоления в муфельной печи при температуре 450-500°C в течение 12 часов [3]. Полученную золу (10 мг) растворяли в 2 мл 0,1 Н химически чистой соляной кислоты, доводили до 25 мл бидистиллированной водой. В полученном растворе определяли содержание натрия, калия и кальция на атомно-абсорбционном фотометре «Сатурн-2» в режиме эмиссии в воздушно-пропановом пламени [1,5], а также содержание фосфора колориметрически по Бригсу на электрофото-

колориметре КФК-3 [3]. Все полученные цифровые данные обрабатывали методами вариационной статистики с использованием стандартных прикладных программ [4].

### Результаты и их обсуждение

К 60 суткам наблюдения у ювенильных крыс содержание воды в исследуемых костях (большеберцовая, тазовая и третий поясничный позвонок) было больше значений 1-й группы на 9,61 – 11,45%, а содержание органических и минеральных веществ – меньше на 5,33 – 5,38% и 4,75 – 5,02% соответственно. У половозрелых животных аналогичные отклонения составили соответственно 11,93 – 14,96%, 6,36 – 6,43% и 5,00 – 6,33%, а у крыс старческого возраста – 13,50 – 16,43%, 5,89 – 6,99% и 6,19 – 7,23% (здесь и далее все приведенные цифровые показатели статистически значимо отличаются от группы сравнения ( $p \leq 0,05$ )).

В те же сроки содержание кальция в золе исследуемых костей и соотношение кальций/фосфор были меньше значений 1-й группы на 5,99 – 6,85% и 5,31 – 6,29% у ювенильных крыс, на 6,41 – 7,95% и 7,96 – 9,51% у половозрелых животных и на 7,10 – 7,89% и 8,40 – 9,46% у крыс старческого возраста (см. рисунок). Вместе с тем содержание гидрофильных элементов увеличивалось, и к 60 суткам содержание натрия и калия в исследуемых костях было выше значений 1-й группы на 6,06 – 7,80% и 6,74 – 8,15% у ювенильных крыс, на 8,39 – 8,87% и 7,12 – 9,46% у половозрелых животных и на 10,02 – 10,91% и 10,09 – 11,94% у крыс старческого возраста.

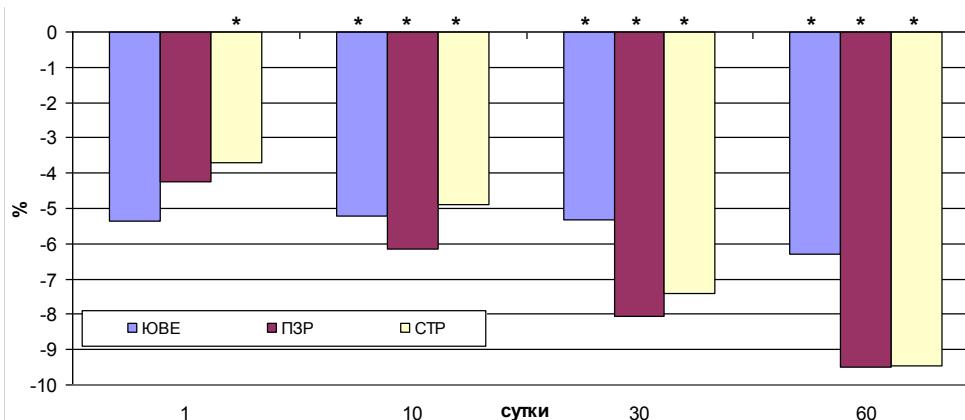


Рис. Динамика изменения соотношения кальций/фосфор в золе большеберцовой кости в зависимости от длительности избыточного употребления пальмового масла и возраста животных (в процентах по отношению к контрольной группе)

Примечание. ЮВЕ – ювенильные животные, ПЗР – половозрелые животные, СТР – животные старческого возраста.

\* Достоверное отличие от показателей группы сравнения ( $p \leq 0,05$ ).

Полученные данные можно объяснить следующим образом: при ожирении развивается неспецифическое воспаление, которое характеризуется экспрессией лептина, адипонектина, интерлейкина 6, интерлейкина 10, TNF- $\alpha$ , соматотропного и паратиреоидного гормонов и

др., которые оказывают свое влияние путем модулирования сигнальных путей в костях [11]. Мессенджеры, которые активируются в результате развития ожирения, снижают функциональную активность остеобластов, остеоцитов и мышц, а также увеличивают актив-

ность остеокластов. Вследствие этого нарушаются процессы минерализации в костях, что сопровождается дисбалансом минерального и макроэлементного состава.

### Выводы

1. Употребление пальмового масла в течение 6 недель из расчета 30 г/кг/сут сопровождается дисбалансом макроэлементного состава исследуемых костей (увеличение содержания воды, натрия и калия, и уменьшение содержа-

ния органических и минеральных веществ, кальция и соотношения кальций/фосфор), которые нарастают по мере увеличения длительности употребления пальмового масла.

2. По мере увеличения длительности избыточного употребления пальмового масла эти изменения в наибольшей степени прогрессируют у половозрелых крыс и животных старческого возраста и в наименьшей степени – у ювенильных крыс.

#### *Сведения об авторах статьи:*

**Ляшук Александр Викторович** – ассистент кафедры госпитальной хирургии, травматологии и ортопедии ГУ «Луганский государственный медицинский университет им. Святителя Луки». Адрес: 91045, г. Луганск, квартал 50-лет Обороны Луганска, 1г.

**Лузин Владислав Игоревич** – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой анатомии человека, оперативной хирургии и топографической анатомии ГУ «Луганский государственный медицинский университет им. Святителя Луки». Адрес: 91045, г. Луганск, квартал 50-лет Обороны Луганска, 1г. E-mail: vlad\_luzin@i.ua.

**Морозов Виталий Николаевич** – к.м.н., доцент кафедры анатомии и гистологии человека Медицинского института НИУ БелГУ. Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85. E-mail: mogoзов\_v@bsu.edu.ru.

**Морозова Елена Николаевна** – к.м.н., доцент кафедры анатомии и гистологии человека Медицинского института НИУ БелГУ. Адрес: 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85. E-mail: mogo佐va\_en@bsu.edu.ru.

### ЛИТЕРАТУРА

- Брицке, Э.М. Атомно-абсорбционный спектральный анализ / Э.М. Брицке. – М.: Химия, 1982. – 244 с.
- Исмаилова, К.Р. Динамика массы тела и интраабдоминальной жировой ткани у крыс-самцов различного возраста, получавших рацион с избыточным содержанием пальмового масла и возможности ее коррекции экстрактом Гарцинии камбоджийской / К.Р. Исмаилова, А.В. Ляшук, Ю.В. Гайворонская // Украинский морфологический альманах имени профессора В.Г. Ковешникова. – 2017. – Т. 15, № 3. – С. 56-62.
- Колб, В.Г. Справочник по клинической химии / В.Г. Колб, В.С. Камышников. – Минск: Беларусь, 1982. – 336 с.
- 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.
- Новиков, Ю.В. Применение спектрографии для определения минерального состава костной ткани при гигиенических исследованиях / Ю.В. Новиков, А.В. Аксюк, А.М. Ленточкин // Гигиена и санитария. – 1969. – № 6. – С. 72-76.
- Attie, A.D. Adipocyte metabolism and obesity // A.D. Attie, P.E. Scherer // J Lipid Res. – 2009. – Vol. 50, Suppl. – P. S395-S399.
- Intermittent injections of osteocalcin improve glucose metabolism and prevent type 2 diabetes in mice / M. Ferron [et al.] // Bone. – 2012. – Vol. 50. – P. 568-575.
- Hu, F.B. Overweight and obesity in women: health risks and consequences / F.B. Hu // J Womens Health (Larchmt). – 2003. – Vol. 12. – P.163–172.
- 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.
- Molecular aspects of adipokine-bone interactions / P. Magni [et al.] // Curr. Mol. Med. – 2010. – Vol. 10. – P. 522-532.
- Molecular Mechanisms of Obesity-Induced Osteoporosis and Muscle Atrophy / R. Bipradas [et al.] // Front Physiol. – 2016. – Vol. 7. – P. 439.
- Obesity and fractures in postmenopausal women / M.O. Premaor [et al.] // J Bone Miner. Res. – 2010. – Vol. 25. – P. 292-297.

### REFERENCES

- Bricke, EH.M. Atomno-absorbcionnyj spektral'nyj analiz / EH.M. Bricke. – M.: Himiya, 1982. – 244 s (in Russian).
- Ismailova, K.R. Dinamika massy tela i intraabdominal'noj zhirovoj tkani u krys-samcov razlichnogo vozrasta, polchavshih racion s izbytochnym soderzhaniem pal'movogo masla i vozmozhnosti ee korrektsii ekstraktom Garcinii kambodzijskoj / K.R. Ismailova, A.V. Lyashchuk, YU.V. Gajvoronskaya // Ukrainskij morfologicheskij al'manah imeni professora V.G. Koveshnikova. – 2017. – Tom 15, № 3. – S. 56-62 (in Russian).
- Kolb, V.G. Spravochnik po klinicheskoj himii / V.G. Kolb, V.S. Ka-myshnikov. – Minsk: Belarus', 1982. – 336 s (in Russian).
- Lapach, S.N. Statisticheskie metody v mediko-biologicheskikh issledovaniyah s ispol'zovaniem Exsel / S.N. Lapach, A.V. CHubenko, P.N. Babich. – Kiev: Morion, 2000. – 320 s (in Russian).
- Novikov, YU.V. Primenenie spektrografii dlya opredeleniya minera-l'nogo sostava kostnoj tkani pri gigenicheskikh issledovaniyah / YU.V. Novikov, A.V. Aksyuk, A.M. Lentochnikov // Gigiena i sanitariya. – 1969. – № 6. – S. 72-76 (in Russian).
- Attie, A.D. Adipocyte metabolism and obesity // A.D. Attie, P.E. Scherer // J Lipid Res. – 2009. – Vol. 50, Suppl. – P. S395-S399.
- Intermittent injections of osteocalcin improve glucose metabolism and prevent type 2 diabetes in mice / M. Ferron [et al.] // Bone. – 2012. – Vol. 50. – P. 568-575.
- Hu, F.B. Overweight and obesity in women: health risks and consequences / F.B. Hu // J Womens Health (Larchmt). – 2003. – Vol. 12. – P.163–172.
- 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.
- Molecular aspects of adipokine-bone interactions / P. Magni [et al.] // Curr. Mol. Med. – 2010. – Vol. 10. – P. 522-532.
- Molecular Mechanisms of Obesity-Induced Osteoporosis and Muscle Atrophy / R. Bipradas [et al.] // Front Physiol. – 2016. – Vol. 7. – P. 439.
- Obesity and fractures in postmenopausal women / M.O. Premaor [et al.] // J Bone Miner. Res. – 2010. – Vol. 25. – P. 292-297.