

УДК: 613.65:613.24:612.397.2:591.826]-092.9:599.323.4

*И.Ю. Якимович<sup>1</sup>, С.В. Гусакова<sup>1</sup>, М.Ю. Котловский<sup>2</sup>, В.В. Иванов<sup>1</sup>,  
В.Н. Васильев<sup>1</sup>, А.А. Чуринов<sup>2</sup>, Н.А. Портнова<sup>1</sup>, А.В. Прокопьева<sup>1</sup>,  
Л.Ю. Котловская<sup>2</sup>, А.М. Дыгай<sup>2</sup>*

## **ВЛИЯНИЕ ГИПОКАЛОРИЙНОЙ ДИЕТЫ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА БЕЛУЮ ЖИРОВУЮ ТКАНЬ КРЫС**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Томск, Российская Федерация;

<sup>2</sup>«Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга»  
Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный  
исследовательский медицинский центр Российской академии наук», г. Томск, Российская Федерация

*I. Yu. Yakimovich<sup>1</sup>, M. Yu. Kotlovsky<sup>2</sup>, S. V. Gusakova<sup>1</sup>, V. V. Ivanov<sup>1</sup>,  
V. N. Vasilyev<sup>1</sup>, A. A. Churin<sup>2</sup>, N. A. Portnova<sup>1</sup>, A. B. Prokopeva<sup>1</sup>,  
L. Yu. Kotlovskaya<sup>2</sup>, A. M. Dygai<sup>2</sup>*

## **INFLUENCE OF HYPOCALORIUM DIET AND PHYSICAL LOAD ON THE WHITE FAT TISSUE OF RATS**

<sup>1</sup>Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation;

<sup>2</sup>Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk, Russian Federation

**Резюме. Цель:** изучить влияние гипокалорийной диеты и аэробной физической нагрузки на параметры белой жировой ткани крыс.

**Материалы и методы.** Исследование выполнено на белых крысах самцах Wistar. Животные находились на стандартном питании для грызунов, во второй и третьей группах калорийность питания была снижена. Физическая нагрузка проводилась в третьей группе животных в виде плавания. Оценивали массу тела, жировую, безжировую массу тела, удельную массу жировой ткани крыс, биохимические показатели сыворотки крови.

**Результаты.** Питание пониженной калорийности приводит к уменьшению массы тела животного за счет безжировой массы. Наблюдалось изменение соотношения подкожной жировой ткани к висцеральной, что увеличило процентное содержание подкожного жирового депо. Аэробная физическая нагрузка на фоне питания пониженной калорийности приводит к снижению массы и пропорциональному снижению жировой и безжировой массы тела, удельной массы жировой ткани исследуемых локализаций, перераспределению жировой ткани в сторону подкожного депо и уменьшению висцерального преимущественно за счет брюшинной жировой ткани. Гипокалорийная диета снижает уровень свободных жирных кислот, триглицеридов и глюкозы в сыворотке крови. Аэробная физическая нагрузка на фоне гипокалорийной диеты приводит к увеличению уровня свободных жирных кислот и триглицеридов в сыворотке крови.

**Заключение.** Питание пониженной калорийности и аэробная физическая нагрузка оказывают влияние на морфометрические параметры белой жировой ткани

**Abstract. Objective:** to study the effect of a low-calorie diet and aerobic exercise on white adipose tissue of rats.

**Materials and methods.** The study was performed on white rats of Wistar males. The animals were fed standard food for rodents; in the second and third groups, caloric intake was reduced. Physical activity was carried out in the third group of animals in the form of swimming. We evaluated body weight, fatty, lean body mass, specific fatty tissue of rats, and biochemical parameters of blood serum.

**Results.** Nutrition of reduced calorie content leads to a decrease in body weight of the animal due to lean mass. There was a change in the ratio of subcutaneous adipose tissue to visceral, which increased the percentage of subcutaneous fat depot. Aerobic physical activity against a background of reduced calorie nutrition leads to a decrease in weight and a proportional decrease in fat and lean body mass, the specific gravity of adipose tissue of the studied localizations, redistribution of adipose tissue towards the subcutaneous depot, and a decrease in visceral mainly due to retroperitoneal adipose tissue. A hypocaloric diet lowers serum free fatty acids, triglycerides and glucose. Aerobic exercise on the background of a low-calorie diet leads to an increase in the level of free fatty acids and triglycerides in the blood serum.

**Conclusion.** Low calorie nutrition and aerobic exercise exert an influence on the morphometric parameters of white adipose tissue with redistribution of adipose tissue towards the subcutaneous fat depot. Physical activity on the background of reduced calorie nutrition proportionally affects the reduction of fatty and lean body mass of the animal.

с ее перераспределением в сторону подкожного жирового депо. Физическая нагрузка на фоне питания пониженной калорийности пропорционально влияет на снижение жировой и безжировой массы тела животного.

**Ключевые слова:** жировая ткань, аэробная физическая нагрузка, гипокалорийное питание

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Якимович Инесса Юрьевна

iness2501@yandex.ru

Дата поступления 19.08.2019 г.

Образец цитирования:

Якимович И.Ю., Гусакова С.В., Котловский М.Ю., Иванов В.В., Васильев В.Н., Чуринов А.А., Портнова Н.А., Прокопьева А.В., Котловская Л.Ю., Дыгай А.М. Влияние гипокалорийной диеты и физической нагрузки на белую жировую ткань крыс. Вестник уральской медицинской академической науки. 2019, Том 16, №3, с. 342-350, DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-3-342-350

**Keywords:** adipose tissue, aerobic exercise, hypocaloric diet

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Inessa Yu. Yakimovich

iness2501@yandex.ru

Received 19.08.2019

For citation:

Yakimovich I.Yu., Kotlovsky M.Yu., Gusakova S.V., Ivanov V.V., Vasilyev V.N., Churin A.A., Portnova N.A., Prokopenko A.B., Kotlovskaya L.Yu., Dygai A.M. Influence of Hypocaloric Diet and Physical Load on the White Fat Tissue of Rats. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2019, Vol. 16, no. 3, pp. 342-350. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-3-342-350 (In Russ)

## Введение

Жировая ткань (ЖТ) имеет важное значение и выполняет не только энергетическую функцию, но также регуляторную [1, 2, 3]. Как увеличение, так и уменьшение жировых депо влияет на гомеостаз организма [4, 5, 6]. Общая масса жировой ткани может являться показателем метаболического здоровья, при этом региональное распределение жировой ткани играет важную роль в развитии метаболических сдвигов [4, 7, 8]. В настоящее время роль профилактических мероприятий по предупреждению ряда метаболических изменений в организме и развитию социально-значимых заболеваний (сердечно-сосудистых, метаболических, онкологических заболеваний), связанных с увеличением или уменьшением объема ЖТ от нормативных показателей и ее функций, во многом зависит от образа жизни и таких важных его элементов как питание и двигательная активность [3, 9]. Ограничительные диеты широко применяются как метод воздействия на массу и объем жировых отложений [10, 11]. Ограничение калорий на фоне нормальной диеты осуществляет контроль за поддержанием веса и является одним из методов замедления процессов старения и увеличения продолжительности жизни, обеспечения метаболического здоровья [10, 11, 12, 13, 14]. Наиболее распространенной формой ограничения питания является ежедневное ограничение калорий, для достижения эффекта предполагается долгосрочное снижение потребления калорий [15].

Двигательная активность оказывает разностороннее влияние на деятельность органов и систем, направлена на регуляцию метаболических процессов, в то же время физическая нагрузка может способствовать как положительному, так и отрицательному влиянию на жировую и мышечную ткань [16, 17].

В настоящее время выбор пищевых предпочтений и характера физической нагрузки, ее продолжительно-

## Introduction

Adipose tissue (AT) is important and performs not only an energy function, but also a regulatory function [1, 2, 3]. Both increase and decrease in fat depots affect the body's homeostasis [4, 5, 6]. The total mass of adipose tissue can be an indicator of metabolic health, while the regional distribution of adipose tissue plays an important role in the development of metabolic shifts [4, 7, 8]. Currently, the role of preventive measures for prophylaxis of metabolic changes and development of socially significant diseases (cardiovascular, metabolic, oncological diseases) associated with an increase or decrease in AT volume from normal values, largely depends on lifestyle and, in particular, nutrition and physical activity [3, 9]. Restrictive diets are widely used as a method to influence the body fat mass and volume [10, 11]. A normal diet with calorie restriction controls the weight maintenance and is one of the methods to slow down the aging process, increase life expectancy and ensure metabolic health [10, 11, 12, 13, 14]. The most common form of nutritional restriction is daily calorie restriction. To achieve the effect, a long-term calorie intake reduction is expected [15].

Motor activity has a versatile effect on the activity of organs and systems, regulates metabolic processes. At the same time, physical activity can contribute to both positive and negative effects on adipose and muscle tissue [16, 17].

At present time, the choice of food preferences and the kind and duration of physical activity, which affects the parameters and function of adipose tissue, remains an urgent and studied issue.

**Objective:** to study the effect of a low-calorie diet and aerobic exercise on white adipose tissue in rats.

## Materials and methods

The study was performed on white male Wistar rats. The animals were obtained from the Research Institute of

сти, оказывающий воздействие на параметры и функцию жировой ткани, остается актуальным и изучаемым вопросом.

**Цель работы:** изучить влияние гипокалорийной диеты и аэробной физической нагрузки на параметры белой жировой ткани крыс.

### Материалы и методы

Исследование выполнено на белых крысах самцах (Wistar). Животные получены из ФГБНУ НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга. Крысы находились на естественном световом режиме при свободном доступе к воде и пище. Содержание, уход и все манипуляции, которым подвергались животные во время исследования, проводили в соответствии с международными правилами и нормами. Животные были разделены на три группы по 10 в каждой: 1 группа — животные, находившиеся на стандартном питании вивария (питании нормальной калорийности); 2 группа — животные, находившиеся на стандартном питании с ограничением калорийности (снижение калорийности пищи на 20%); 3 группа — животные, находившиеся на стандартном питании с ограничением калорийности, получавшие регулярную аэробную физическую нагрузку.

Физическая нагрузка в виде плавания проводилась в течение 6 недель, через день в течение одного часа с отягощением 4% от массы тела. Аэробный характер физической нагрузки определяли методом максимального стабильного содержания лактата (MLSS) в сыворотке крови крыс [18]. MLSS был определен при стабильном уровне лактата крови за период проведения теста с 10 до 25 минут при отягощении 4% от массы тела. Животных выводили из эксперимента  $\text{CO}_2$ -асфиксией. В сыворотке крови измеряли свободные жирные кислоты (СЖК) с использованием ферментативных наборов «NEFA» («RANDOX», Англия), глюкозу, триглицериды с помощью ферментативных наборов «Glucose» «Triglycerides» («Chronolab», Испания).

Методом диссекции выделяли и взвешивали белую ЖТ: подкожно-паховую (ПЖТ), эпидидимальную (ЭЖТ), забрюшинную (ЗЖТ) и мезентериальную (МЖТ), с последующей оценкой: массы тела крысы, жировой, безжировой массы тела, удельной массы ЖТ [19].

Полученные результаты выражены в виде медианы (Me), верхнего и нижнего квартилей (Q1; Q3). Статистическую обработку данных проводили при помощи программного пакета SPSS 22.0 с использованием методов непараметрической статистики. Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

В результате проведенного исследования у животных с ограничением калорийности питания, диета привела к снижению безжировой массы тела по срав-

Pharmacology and Regenerative Medicine named after E.D. Goldberg. Rats were exposed to natural light regime with free access to water and food. The contents, care and all the manipulations that animals were subjected during the study were carried out in accordance with international rules and regulations. The animals were divided into three groups of 10 in each: group 1 — animals that were on a standard (normal calorie diet) diet; Group 2 — animals that were on a standard diet with calorie restriction (decrease in caloric intake by 20%); Group 3 — animals that were on a standard diet with calorie restriction, received regular aerobic exercise.

Physical exercise in the form of swimming was carried out for 6 weeks, every other day for one hour with a burden of 4% of body weight. The aerobic nature of exercise was determined by the method of maximum stable lactate content (MLSS) in rat serum [18]. MLSS was determined at a stable level of blood lactate during the test period from 10 to 25 minutes with a burden of 4% of body weight. Animals were removed from the experiment by  $\text{CO}_2$  asphyxia. Free fatty acids (FFAs) were measured in blood serum using NEFA enzymatic kits (RANDOX, England), glucose, triglycerides were detected using Triglycerides Glucose enzymatic kits (Chronolab, Spain).

Subcutaneous inguinal (SAT), epididymal (EAT), retroperitoneal (RAT) and mesenteric (MAT) white AT was isolated and weighed followed by assessment of rat body weight, fat and lean body mass, and specific weight of AT [19].

The results are represented as median (Me), upper and lower quartiles (Q1; Q3). Statistical data processing was performed with the SPSS 22.0 software package using nonparametric statistics methods. The differences were considered significant at  $p < 0.05$ .

### Results and discussion

As a result of a study in animals with limited caloric intake, the diet led to a decrease in lean body mass compared to the 1st group of animals that were on a standard diet ( $p < 0.01$ ) (table 1).

The specific weight of subcutaneous adipose tissue increased, which changed the ratio of subcutaneous and visceral fat increasing the subcutaneous adipose tissue ( $p < 0.01$ ) (table 2). An increase in the percentage of SAT is more favorable in relation to the metabolic profile [20]. The increase of the subcutaneous depot is may be an adaptive reaction, as a formation of energy resources reserve in the conditions of low-calorie diet.

In the group of animals with limited caloric intake, aerobic exercise decreased the rat body weight due to a predominant decrease in fat mass ( $p < 0.001$ ). The decrease in fat mass was due to a decrease in the mass of visceral and subcutaneous depots ( $p < 0.001$ ). The decrease in the weight of VAT was more pronounced, which led to an increase in the ratio of SAT to VAT in animals of group 3 treated with physical activity ( $p < 0.05$ ) (table 1).

Aerobic exercise decreased the specific weight of adipose

нению с 1 группой животных, находившихся на стандартном питании ( $p < 0,01$ ) (таблица 1).

Таблица 1

Морфометрические показатели крыс на фоне питания и физической нагрузки (Me [ $Q_1$ ;  $Q_3$ ])

Показатель	Группы животных			p
	1	3	3	
Масса тела, г	448 [440; 465]	427 [416; 444]	395 [373; 407]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Безжировая масса, г	429 [417; 446]	410 [397; 423]	385 [364; 397]	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{2-3} < 0,001$
Общая жировая ткань, г	18,9 [17,6; 22,7]	19,0 [17,1; 20,1]	10,5 [9,8; 11,7]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Масса висцеральной жировой ткани, г	15,41 [13,78; 17,43]	14,06 [12,98; 15,37]	7,97 [6,14; 8,36]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Масса подкожной жировой ткани, г	3,89 [3,66; 5,28]	4,80 [3,7; 5,45]	3,33 [3,1; 3,44]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Отношение подкожной жировой ткани к висцеральной, %	27 [26; 30]	34 [29; 36]	42 [37; 56]	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{2-3} < 0,05$

Примечание: p — уровень статистической значимости

Увеличилась удельная масса подкожной жировой ткани, что привело к изменению соотношения подкожного и висцерального жира в сторону увеличения подкожной жировой ткани ( $p < 0,01$ ) (таблица 2). Увеличение процентного содержания ПЖТ более благоприятно в отношении метаболического профиля [20], а также возможно увеличение подкожного депо является адаптационной реакцией, как запас энергетических ресурсов на фоне гипокалорийной диеты.

В группе животных с ограничением калорийности питания аэробная физическая нагрузка привела к снижению массы тела крыс за счет преимущественного уменьшения жировой массы ( $p < 0,001$ ). Понижение жировой массы произошло за счет снижения массы висцеральных и подкожного депо ( $p < 0,001$ ). При этом уменьшение массы ВЖТ было более выраженным, что привело к увеличению соотношения ПЖТ к ВЖТ у животных 3 группы, получавших физическую нагрузку ( $p < 0,05$ ) (таблица 1).

Аэробная физическая нагрузка привела к уменьшению удельной массы жировой ткани во всех исследуемых локализациях, при этом более выраженное снижение отмечено в забрюшинном жировом депо ( $p < 0,001$ ) (таблица 2).

При изучении биохимических показателей сыворотки крови во 2 группе животных, находившихся на питании пониженной калорийности, произошло снижение уровня СЖК и глюкозы по сравнению с 1 группой животных, находившихся на стандартном питании ( $p < 0,001$ ) (таблица 3). Известно, что ограничение калорий на фоне нормальной диеты осуществляет кон-

тissue in all studied locations, while a more pronounced decrease was observed in the retroperitoneal fat depot ( $p < 0,001$ ) (table 2).

Table 1

Morphometric indicators of rats on the background of nutrition and physical activity (Me [ $Q_1$ ;  $Q_3$ ])

Indicator	Animal groups			p
	1	3	3	
Body mass, g	448 [440; 465]	427 [416; 444]	395 [373; 407]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Lean body mass, g	429 [417; 446]	410 [397; 423]	385 [364; 397]	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{2-3} < 0,001$
Mass of adipose tissue, g	18,9 [17.6; 22.7]	19,0 [17.1; 20.1]	10,5 [9.8; 11.7]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Mass of visceral adipose tissue, g	15,41 [13.78; 17.43]	14,06 [12.98; 15.37]	7,97 [6.14; 8.36]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
Mass of subcutaneous adipose tissue, g	3,89 [3.66; 5.28]	4,80 [3.7; 5.45]	3,33 [3.1; 3.44]	$p_{1-2} > 0,05$ $p_{2-3} < 0,001$
The ratio of subcutaneous adipose tissue to visceral, %	27 [26; 30]	34 [29; 36]	42 [37; 56]	$p_{1-2} < 0,01$ $p_{2-3} < 0,05$

Note: p — level of statistical significance

In the blood serum obtained from animals of 2nd group treated with low-calorie diet, there was a decrease in the level of FFA and glucose compared to the 1st group of animals that were on a standard diet ( $p < 0,001$ ) (table 3). It is known that calorie restriction together with the normal diet controls weight maintenance and has a beneficial effect on carbohydrate and fat metabolism, including increased sensitivity to insulin [12, 13, 14, 15].

At the same time, in the group of animals with physical activity the level of triglycerides ( $p < 0,001$ ) and FFA was higher than in the group of animals without exercises ( $p < 0,05$ ). During physical exertion, as well as in conditions of reduced nutrition, fatty acids are one of the main sources of energy for muscles and internal organs [21]. The source of fatty acids as an energy substrate are: plasma FFA, plasma triglycerides, intramuscular triglycerides [22]. Perhaps an increase in the level of FFA and triglycerides in serum is the result of adaptation to the effects of diet and physical activity.

Thus, low calorie nutrition decreases the body weight of the animal due to the predominant decrease in lean mass and promotes the redistribution of adipose tissue in favor of the subcutaneous fat depot, which may be an adaptation reaction. Aerobic exercise proportionally decreases the fat and lean body mass. At the same time, redistribution of adipose tissue towards the subcutaneous depot and a decrease in visceral one mainly due to retroperitoneal adipose tissue are also noted. During physical activity, an increase in the level of FFA and TG in blood serum was noted, which can be considered as an adaptation reaction

троль за поддержанием веса и оказывает благоприятное влияние на показатели углеводного и жирового обмена, включая повышенную чувствительность к инсулину [12, 13, 14, 15].

Таблица 2

Удельная масса жировой ткани крыс на фоне питания и физической нагрузки (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

Показатель	Группы животных			p
	1	3	3	
Удельная масса подкожной жировой ткани, %	0,86 [0,79; 1,14]	1,11 [0,88; 1,23]	0,85 [0,76; 0,9]	p <sub>1-2</sub> <0,01 p <sub>2-3</sub> <0,01
Удельная масса висцеральной жировой ткани, %	3,4 [2,86; 3,96]	3,28 [3,04; 3,45]	2,07 [1,54; 2,13]	p <sub>1-2</sub> >0,05 p <sub>2-3</sub> <0,001
Удельная масса мезентериальной жировой ткани, %	1,01 [0,88; 1,11]	0,83 [0,71; 1,01]	0,53 [0,46; 0,56]	p <sub>1-2</sub> >0,05 p <sub>2-3</sub> <0,001
Удельная масса забрюшинной жировой ткани, %	1,07 [0,98; 1,23]	1,23 [1,14; 1,50]	0,41 [0,37; 0,59]	p <sub>1-2</sub> >0,05 p <sub>2-3</sub> <0,001
Удельная масса эпидидимальной жировой ткани, %	1,31 [1,05; 1,48]	1,22 [0,87; 1,27]	0,88 [0,64; 1,17]	p <sub>1-2</sub> >0,05 p <sub>2-3</sub> <0,05

Примечание: p — уровень статистической значимости

Таблица 3

Биохимические показатели сыворотки крови крыс на фоне питания и физической нагрузки (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

Показатель	Группы животных			p
	1	3	3	
Триглицериды, ммоль/л	0,74 [0,64; 0,78]	0,75 [0,7; 0,79]	1,1 [0,88; 1,31]	p <sub>1-2</sub> >0,05 p <sub>2-3</sub> <0,001
Свободные жирные кислоты, ммоль/л	0,75 [0,70; 0,84]	0,62 [0,56; 0,67]	0,74 [0,65; 0,78]	p <sub>1-2</sub> <0,001 p <sub>2-3</sub> <0,05
Глюкоза, ммоль/л	4,64 [4,15; 4,85]	3,58 [3,36; 4,08]	3,98 [3,79; 4,15]	p <sub>1-2</sub> <0,001 p <sub>2-3</sub> >0,05

Примечание: p — уровень статистической значимости

В то же время в группе животных с физической нагрузкой уровень триглицеридов (p<0,001) и СЖК был выше, чем в группе животных без нагрузки (p<0,05). При физической нагрузке, а также в условиях пониженного питания, жирные кислоты являются одним из главных источников энергии для мышц и внутренних органов [21]. Источником жирных кислот в качестве энергетического субстрата выступают: СЖК плазмы крови, триглицериды плазмы, внутримышечные триглицериды [22]. Возможно, повышение уровня СЖК и триглицеридов в сыворотке крови является результатом адаптации на воздействие диеты и физической нагрузки.

Таким образом, питание пониженной калорийно-

to an additional request of an energy source in condition of increased physical activity and low calorie nutrition. Currently, there are some topical issues remain in the study of low calorie nutrition (as one of the preventing measures of the development of cardiovascular pathology, metabolic disorders, especially in risk groups), both as a one-factor effect on the body, and in combination with other factors, as a physical activity of different intensity and nature.

Table 2

Specific weight of adipose tissue of rats on the background of nutrition and physical activity (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

Indicator	Animal groups			p
	1	3	3	
Specific weight of subcutaneous adipose tissue, %	0,86 [0.79; 1.14]	1,11 [0.88; 1.23]	0,85 [0.76; 0.9]	p <sub>1-2</sub> <0.01 p <sub>2-3</sub> <0.01
Specific weight of visceral adipose tissue, %	3,4 [2.86; 3.96]	3,28 [3.04; 3.45]	2,07 [1.54; 2.13]	p <sub>1-2</sub> >0.05 p <sub>2-3</sub> <0.001
Specific mass of mesenteric adipose tissue, %	1,01 [0.88; 1.11]	0,83 [0.71; 1.01]	0,53 [0.46; 0.56]	p <sub>1-2</sub> >0.05 p <sub>2-3</sub> <0.001
Specific mass of retroperitoneal adipose tissue, %	1,07 [0.98; 1.23]	1,23 [1.14; 1.50]	0,41 [0.37; 0.59]	p <sub>1-2</sub> >0.05 p <sub>2-3</sub> <0.001
Specific mass of epididymal adipose tissue, %	1,31 [1.05; 1.48]	1,22 [0.87; 1.27]	0,88 [0.64; 1.17]	p <sub>1-2</sub> >0.05 p <sub>2-3</sub> <0.05

Note: p — level of statistical significance

Table 3

Biochemical indicators of blood serum of rats on the background of nutrition and physical activity (Me [Q<sub>1</sub>; Q<sub>3</sub>])

Indicator	Animal groups			p
	1	3	3	
Triglycerides, mmol/l	0,74 [0.64; 0.78]	0,75 [0.7; 0.79]	1,1 [0.88; 1.31]	p <sub>1-2</sub> >0.05 p <sub>2-3</sub> <0.001
Free fatty acids, mmol/l	0,75 [0.70; 0.84]	0,62 [0.56; 0.67]	0,74 [0.65; 0.78]	p <sub>1-2</sub> <0.001 p <sub>2-3</sub> <0.05
Glucose, mmol/l	4,64 [4.15; 4.85]	3,58 [3.36; 4.08]	3,98 [3.79; 4.15]	p <sub>1-2</sub> <0.001 p <sub>2-3</sub> >0.05

Note: p — level of statistical significance

сти приводит к уменьшению массы тела животного, за счет преимущественного снижения безжировой массы и способствует перераспределению жировой ткани в пользу подкожного жирового депо, что может являться адаптационной реакцией. Аэробная физическая нагрузка приводит к пропорциональному снижению жировой и безжировой массы тела. При этом также отмечается перераспределение жировой ткани в сторону подкожного депо и уменьшению висцерального преимущественно за счет забрюшинной жировой ткани. При физической нагрузке отмечено увеличение уровня СЖК и ТГ в сыворотке крови, что может рассматриваться как реакция адаптации на дополнительный запрос источника энергии при повышении активности на фоне питания пониженной калорийности.

В настоящее время остаются актуальные вопросы изучения питания пониженной калорийности (как одной из мер по профилактике развития сердечно-сосудистой патологии, метаболических нарушений, особенно в группах риска) как в качестве однофакторного воздействия на организм, так и в сочетании с другими факторами, в частности, с физической нагрузкой разной интенсивности и характера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мяделец О. Д., Мяделец В. О., Соболевская И. С., Кичигина Т. Н. Белая и бурая жировые ткани: взаимодействие со скелетной мышечной тканью. Вестник ВГМУ. 2014; 13 (5): 32-44.
2. Rosen Evan D., Spiegelman Bruce M. What We Talk About When We Talk About Fat. Cell. 2014. Vol. 156: pp. 20-44.
3. Чубриева С.Ю., Глухов Н.В., Зайчик А.М. Жировая ткань как эндокринный регулятор. Вестн. Санкт-Петербургского университета. 2008; 11 (1): 32-40.
4. Филатова Г.А., Дэпюи Т.И., Гришина Т.И. Ожирение: спорные вопросы, определяющие метаболическое здоровье. Эндокринология: новости, мнения, обучение. 2018; 7 (1): 58-67.
5. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Бутрова С.А. Жировая ткань как эндокринный орган. Ожирение и метаболизм. 2006; 1: 6-13.
6. Garg A. Clinical review#: Lipodystrophies: genetic and acquired body fat disorders. J Clin Endocrinol Metab. 2011. Vol. 96 (11): pp. 3313-25.
7. Goossens G.H. The metabolic phenotype in obesity: fat mass, body fat distribution, and adipose tissue function. Obes Facts. 2017. – Vol.10 (3). pp. 207-15.
8. Бородкина Д.А., Груздева О.В., Квиткова Л.В., Барбараш О.Л. Распределение жировых отложений: загадка кажущегося парадокса ожирения в кардиологии? Ожирение и метаболизм. 2017; 14 (2): 3-8.
9. Бондарева Э. А. Влияние эндогенных и экзогенных факторов на развитие ожирения. Вестник Московского университета. Антропология. 2016; 4 (Серия XXIII): 27–36
10. Wilding J.P. Treatment strategies for obesity. Obes

#### REFERENCES

1. Myadelets O. D., Myadelets V. O., Sobolevskaya I. S., Kichigina T. N. White and brown adipose tissue: interaction with skeletal muscle tissue [Belaya i buraya zhirovye tkani: vzaimodeystvie so skeletnoy myshechnoy tkan'yu] Bulletin of VSMU [Vestnik VGMU]. 2014, 13 (5), pp. 32-44. (In Russ)
2. Rosen Evan D., Spiegelman Bruce M. What We Talk About When We Talk About Fat. Cell. 2014. Vol. 156, pp. 20-44.
3. Chubrieva S.Yu., Glukhov N.V., Zaychik A.M. Adipose tissue as an endocrine regulator [Zhirovaya tkan' kak endokrinnyy regulyator] Vestn. St. Petersburg University [Vestn. Sankt-Peterburgskogo universiteta]. 2008, 11 (1), pp. 32-40. (In Russ)
4. Filatova G.A., Depuyi T.I. Grishina T.I. Obesity: controversial issues that define metabolic health [Ozhirenie: spornye voprosy, opredelyayushchie metabolicheskoe zdorov'e] Endocrinology: News, Opinions, Training [Endokrinologiya: novosti, mneniya, obuchenie]. 2018, 7 (1), pp. 58–67. (In Russ)
5. Dedov I.I., Melnichenko G.A., Butrova S.A. Adipose tissue as an endocrine organ [Zhirovaya tkan' kak endokrinnyy organ] Obesity and metabolism [Ozhirenie i metabolism]. 2006, 1, pp. 6-13. (In Russ)
6. Garg A. Clinical review#: Lipodystrophies: genetic and acquired body fat disorders. J Clin Endocrinol Metab. 2011. Vol. 96 (11): pp. 3313-25.
7. Goossens G.H. The metabolic phenotype in obesity: fat mass, body fat distribution, and adipose tissue function. Obes Facts. 2017. – Vol.10 (3). pp. 207-15.
8. Borodkina D.A., Gruzdeva, O.V., Kvitkova, L.V., Barbarash O.L. Body fat distribution: the answer to the

Rev. 2007. Vol. 1: pp. 137-44.

11. Avenell A., Brown T.J., Mcgee M.A., Campbell M.K., Grant A.M., Broom J., Jung RT. Smith What are the long-term benefits of weight reducing diets in adults? A systematic review of randomized controlled trials. *J Hum Nutr Diet.* 2004. Vol. 17: pp. 317-335.

12. Colman Ricki J., Anderson Rozalyn M., Johnson Sterling C., Kastman E. K., Kosmatka T. M., Beasley K. J., Allison D. B., Cruzen C., Simmons H. A., Kemnitz J.W., Weindruch R. Caloric Restriction Delays Disease Onset and Mortality in Rhesus Monkeys. *Science.* 2009. Vol. 325 (5937): pp. 201-204. DOI: 10.1126/science.1173635

13. Zainal TA et al. Caloric restriction of rhesus monkeys lowers oxidative damage in skeletal muscle. *FASEB J.* 2000. Vol. 14: pp.1825–1836.

14. Johnson JB., Laub DR., John S. The effect on health of alternate day calorie restriction: eating less and more than needed on alternate days prolongs life. *Med Hypotheses.* 2006. Vol.67 (2): pp. 209-11.

15. Anson R. M., Guo Z., Cabo R., Iyun T., Rios M., Hagepanos A., Ingram D. K., Lane M. A., Mattson M. P. Intermittent fasting dissociates beneficial effects of dietary restriction on glucose metabolism and neuronal resistance to injury from calorie intake. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003. Vol.100 (10): pp. 6216–6220. doi: 10.1073/pnas.1035720100

16. Urdampilleta A., González-Muniesa P., Portillo M.P., Martínez J.A. Usefulness of combining intermittent hypoxia and physical exercise in the treatment of obesity. *J Physiol Biochem.* 2012. Vol. 68 (2): pp. 289-304. doi: 10.1007/s13105-011-0115-1.

17. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. *Physiology of Sport and Exercise.* Published by Champaign, IL; Human Kinetics. 2011: 640 p.

18. Araujo G.G., Araujo M.B., D'Angelo R.A. et al. Maximal lactate steady state in obese rats of both gender. *Brasilian Journal of Sports Medicine.* 2009. Vol. 15 (1). pp. 46–49.

19. Никоноров А. А., Тиньков А. А., Железнов Л. М., Иванов В. В. Методический подход к изучению ожирения в эксперименте. Оренбург: ОАО «ИПК «Южный Урал». 2013:240.

20. Сулаева О.Н., Белемец Н.И. Половые особенности регуляции жировой ткани. *Клінічна ендокринологія та ендокринна хірургія.* 2017; Vol. 4 (60): pp.11-19.

21. Титов В.Н., Ариповский А.В., Щекотов В.В., Щекотова А.П., Кухарчук В.В. Олеиновые триглицериды пальмового масла и пальмитиновые триглицериды сливочного жира. Реакция пальмитирования, пальмитат калия, магния, всасывание энтероцитами жирных кислот и микробиота толстого кишечника. *Клиническая лабораторная диагностика.* 2016; 61(8): 452-461.

22. Jeppesen J., Bente Kiens. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise. *Physiol.* 2012. Vol. 590(Pt 5): pp.1059-1068. doi: 10.1113/jphysiol.2011.225011.

apparent paradox of obesity in cardiology? [Raspredelenie zhirovyykh otlozheniy: razgadka kazhushchegosya paradoksa ozhireniya v kardiologii?] Obesity and metabolism [Ozhirenie i metabolizm]. 2017, 14 (2), pp. 3-8. (In Russ)

9. Bondareva E. A. Influence of endogenous and exogenous factors on the development of obesity [Vliyanie endogennykh i ekzogennykh faktorov na razvitiye ozhireniya] *Bulletin of Moscow University. Anthropology [Moskovskogo universiteta. Antropologiya].* 2016, 4 (XXIII), pp. 27–36 (In Russ)

10. Wilding J.P. Treatment strategies for obesity. *Obes Rev.* 2007. Vol. 1: pp. 137-44.

11. Avenell A., Brown T.J., Mcgee M.A., Campbell M.K., Grant A.M., Broom J., Jung RT. Smith What are the long-term benefits of weight reducing diets in adults? A systematic review of randomized controlled trials. *J Hum Nutr Diet.* 2004. Vol. 17: pp. 317-335.

12. Colman Ricki J., Anderson Rozalyn M., Johnson Sterling C., Kastman E. K., Kosmatka T. M., Beasley K. J., Allison D. B., Cruzen C., Simmons H. A., Kemnitz J.W., Weindruch R. Caloric Restriction Delays Disease Onset and Mortality in Rhesus Monkeys. *Science.* 2009. Vol. 325 (5937): pp. 201-204. DOI: 10.1126/science.1173635

13. Zainal TA et al.. Caloric restriction of rhesus monkeys lowers oxidative damage in skeletal muscle. *FASEB J.* 2000. Vol. 14: pp.1825–1836.

14. Johnson JB., Laub DR., John S. The effect on health of alternate day calorie restriction: eating less and more than needed on alternate days prolongs life. *Med Hypotheses.* 2006. Vol.67 (2): pp. 209-11.

15. Anson R. M., Guo Z., Cabo R., Iyun T., Rios M., Hagepanos A., Ingram D. K., Lane M. A., Mattson M. P. Intermittent fasting dissociates beneficial effects of dietary restriction on glucose metabolism and neuronal resistance to injury from calorie intake. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2003. Vol.100 (10): pp. 6216–6220. doi: 10.1073/pnas.1035720100

16. Urdampilleta A., González-Muniesa P., Portillo M.P., Martínez J.A. Usefulness of combining intermittent hypoxia and physical exercise in the treatment of obesity. *J Physiol Biochem.* 2012. Vol. 68 (2): pp. 289-304. doi: 10.1007/s13105-011-0115-1.

17. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. *Physiology of Sport and Exercise.* Published by Champaign, IL; Human Kinetics. 2011: 640

18. Araujo G.G., Araujo M.B., D'Angelo R.A. et al. Maximal lactate steady state in obese rats of both gender. *Brasilian Journal of Sports Medicine.* 2009. Vol. 15 (1). pp. 46–49.

19. Nikonorov A. A., Tinkov A. A., Zheleznov L. M., Ivanov V. V. Methodical approach to the study of obesity in the experiment [Metodicheskiy podkhod k izucheniyu ozhireniya v eksperimente] *Orenburg: ОАО «ИПК» South Ural [Orenburg: ОАО «ИПК «Yuzhnyy Ural»].* 2013: 240. (In Russ)

20. Sulaieva ON, Belemets NI Sex differences in regulation

of adipose tissue [Polovye osobennosti regulyatsii zhirovoy tkani] Clinical endocrinology and endocrine chemistry [Klinichna endokrinologiya ta endokrinna khirurgiya]. 2017. Vol. 4 (60), pp. 11-19. (In Russ)

21. Titov V.N., Aripovskii A.V., Schekotov V.V., Schekotova A.P., Kukharchuk V.V. The oleic triglycerides of palm oil and palmitic triglycerides of creamy fat. the reaction of palmitoylation, potassium and magnesium palmitate, absorption of fatty acids by enterocytes and microbiota of large intestine [Oleinovye triglitseridy pal'movogo masla i pal'mitinovye triglitseridy slivochnogo zhira. Reaktsiya pal'mitirovaniya, pal'mitat kaliya, magniya, vsasyvanie enterotsitami zhirnykh kislot i mikrobiota tolstogo kishechnika] Clinical laboratory diagnosis [Klinicheskaya laboratornaya diagnostika]. 2016, 61(8), pp. 452-461. (In Russ)

22. Jeppesen J., Bente Kiens. Regulation and limitations to fatty acid oxidation during exercise. *Physiol.* 2012. Vol. 590(Pt 5): pp.1059-1068. doi: 10.1113/jphysiol.2011.225011.

### Авторы

Якимович Инесса Юрьевна

Сибирский государственный медицинский университет  
Кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой гигиены

Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
iness2501@yandex.ru

Гусакова Светлана Валерьевна

Сибирский государственный медицинский университет  
Доктор медицинских наук, заведующий кафедрой биофизики и функциональной диагностики, декан медико-биологического факультета

Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
gusacova@yandex.ru

Котловский Михаил Юрьевич

НИИФиРМ им. Е.Д.Гольдберга Томского НИМЦ

Доктор медицинских наук, научный сотрудник отдела лекарственной токсикологии

Российская Федерация, 634028, г. Томск, пр. Ленина, 3  
m.u.kotlovskiy@mail.ru

Иванов Владимир Владимирович

Сибирский государственный медицинский университет

Кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биохимии и молекулярной биологии с курсом клинической лабораторной диагностики

Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
ivanovvv1953@gmail.com

Васильев Владимир Николаевич

Сибирский государственный медицинский университет

### Authors

Inessa Yu. Yakimovich

Siberian State Medical University

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of department of Hygiene

Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2  
iness2501@yandex.ru

Svetlana V. Gusakova

Siberian State Medical University

Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Biophysics and Functional Diagnostics, Dean of the Faculty of Medical and Biological Sciences

Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2  
gusacova@yandex.ru

Mikhail Yu. Kotlovsky

Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center

Dr. Sci. (Med.), Research Fellow

Russian Federation, 634028, Tomsk, Lenin Prospect, 3  
m.u.kotlovskiy11443@mail.ru

Vladimir V. Ivanov

Siberian State Medical University

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Biochemistry and Molecular Biology with a course of clinical laboratory diagnostics

Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2  
ivanovvv1953@gmail.com

Vladimir N. Vasilyev

Siberian State Medical University

Dr. Sci. (Biol.), Professor, Professor of the Department of Physical Culture and Health

Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2



Доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физической культуры и здоровья  
Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
vas11@yandex.ru

Чурин Алексей Александрович  
НИИФиРМ им. Е.Д.Гольдберга Томского НИМЦ Доктор медицинских наук,  
заместитель директора НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга Томского НИМЦ по стандартизации доклинических исследований, заведующий отделом лекарственной токсикологии  
Российская Федерация, 634028, г. Томск, пр. Ленина, 3  
churin\_aa@pharmso.ru

Портнова Наталья Александровна  
Сибирский государственный медицинский университет  
Студентка лечебного факультета, 4 курса  
Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
bloodrayn1@mail.ru

Прокопьева Алина Васильевна  
Сибирский государственный медицинский университет  
Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2  
Студентка лечебного факультета 4 курса  
prokoreva-1997@mail.ru

Котловская Лариса Юрьевна  
НИИФиРМ им. Е.Д.Гольдберга Томского НИМЦ  
Лаборант-исследователь  
Российская Федерация, 634028, г. Томск, пр. Ленина, 3  
lars.ktl@gmail.com

Дыгай Александр Михайлович  
НИИФиРМ им. Е.Д.Гольдберга Томского НИМЦ  
Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заместитель академика-секретаря-руководитель секции медико-биологических наук Отделения медицинских наук РАН,  
научный руководитель НИИФиРМ им. Е.Д. Гольдберга Томского НИМЦ  
Российская Федерация, 634028, г. Томск, пр. Ленина, 3  
nii@pharmso.ru

vas11@yandex.ru  
Aleksei A. Churin  
Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center Dr. Sci. (Med.),  
Deputy Director for Preclinical Research Standardization of the Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center,  
Head of the Medical Toxicology Department  
Russian Federation, 634028, Tomsk, Lenin Prospect, 3  
churin\_aa@pharmso.ru

Natalia A. Portnova  
Siberian State Medical University  
A fourth-year medical school student  
Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2  
bloodrayn1@mail.ru

Alina. B. Prokopeva  
Siberian State Medical University  
A fourth-year medical school student  
Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2  
prokopeva-1997@mail.ru

Larisa Yu. Kotlovskaya  
Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center  
Research assistant  
Russian Federation, 634028, Tomsk, Lenin Prospect, 3  
lars.ktl@gmail.com

Aleksandr M. Dygai  
Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center Honored Worker of Science of the Russian Federation  
Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Med.), Professor, deputy Academician-Secretary-Head of the Biomedical Sciences Section of the Medical Sciences Division of the Russian Academy of Sciences, scientific director of Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine of Tomsk National Research Medical Center  
Russian Federation, 634028, Tomsk, Lenin Prospect, 3  
nii@pharmso.ru