

УДК: 612.397.23:591.826:613.25:796.015.572]-092.9:599.323.4

*И.Ю. Якимович¹, М.Ю. Котловский², С.В. Гусакова¹, В.В. Иванов¹, В.Н. Васильев¹,
А.М. Дыгай², И.В. Долгалева¹, А.В. Панюшаскина¹, Л.Ю. Котловская²*
**ВЛИЯНИЕ АЭРОБНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ
ЖИРНЫХ КИСЛОТ И ИХ КОМПЛЕКСОВ В БЕЛОЙ ЖИРОВОЙ ТКАНИ
КРЫС ПРИ ПИТАНИИ ПОВЫШЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТИ**

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный медицинский университет»

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

²«Научно-исследовательский институт фармакологии и регенеративной медицины имени Е.Д. Гольдберга»ФГБОУ «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»,
г. Томск, Российская Федерация

*I. Yu. Yakimovich¹, M. Yu. Kotlovsky², S. V. Gusakova¹, V. V. Ivanov¹, V. N. Vasilyev¹,
A. M. Dygai², I. V. Dolgalev¹, A. V. Panimaskina¹, L. Yu. Kotlovskaya²*
**THE EFFECT OF AEROBIC EXERCISE ON THE FATTY ACIDS CONTENT
AND THEIR COMPLEXES IN THE WHITE ADIPOSE TISSUE
OF RATS CONSUMING HIGH CALORIE DIETS**

¹Siberian State Medical University, Tomsk, Russian Federation;²Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine, Tomsk, Russian Federation

Резюме. Цель: изучить влияние регулярной аэробной физической нагрузки на процентное содержание жирных кислот и их комплексов в жировой ткани крыс разной локализации при питании повышенной калорийности.

Материалы и методы. Исследование было проведено на белых крысах-самцах Wistar. Животные были разделены на две группы, находились на диете повышенной калорийности (с долей жира в общей калорийности 32%). В одной группе животные в течение 6 недель подвергались аэробной физической нагрузке, в другой нагрузка отсутствовала. Выделяли мезентериальную, забрюшинную, эпидидимальную и подкожно-паховую жировую ткань. Содержание жирных кислот определяли на хромато-масс-спектрометре. Исследовали 24 жирных кислот и значение 14 интегративных показателей (комплексов) жирных кислот.

Результаты. Физическая нагрузка в мезентериальной жировой ткани снизила содержание ненасыщенных жирных кислот (НЖК), насыщенных жирных кислот (НасЖК) — увеличила. Уменьшилось значение индекса ненасыщенности. Снизилось содержание полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК). Отмечено увеличение содержания пальмитиновой (С16:0) НасЖК. В сторону пальмитиновой (С16:0) НасЖК изменилось её соотношение с олеиновой (С18:1) мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК). В забрюшинной жировой ткани понизилось содержание жирных кислот-субстратов энергии, и увеличилось — субстратов мембран. Было отмечено снижение суммы МНЖК. Увеличилось содержание жирных кислот-субстратов витамина F и их соотношение с МНЖК и олеиновой (С18:1) ω9 НЖК. Увеличилось значение суммы ω6

Abstract. Objective: to study the effect of aerobic exercise on the fatty acids percentage and their complexes in the adipose tissue of rats of different localization consuming high calorie diets.

Materials and methods. The study was conducted on male white rats (Wistar). The animals were divided into two groups and followed a high calorie diet (with a 32% fat share in the total calorie content). One group of animals did low-intensity aerobic exercise (6 weeks), another one had no regular activity. Mesenteric, retroperitoneal, epididymal and subcutaneous inguinal adipose tissues were isolated. The fatty acids (FA) were determined by a chromatomass spectrometer (Agilent, USA). 24 FA and 14 integrative complexes were studied.

Results. Physical activity decreased the unsaturated (UFA), polyunsaturated FA (PUFA) and unsaturation index in mesenteric tissue. Saturated FA (SFA) were increased. The value of the unsaturation index was decreased. The content of polyunsaturated fatty acids (PUFA) was decreased. An increase in the content of palmitic (C16: 0) SFA was noted. Toward the palmitic (C16: 0) SFA, its ratio with the oleic (C18: 1) monounsaturated fatty acid (MUFA) was changed. FA-substrates of energy was decreased in retroperitoneal adipose tissue and increased in membranes substrates. A decrease in the amount of MUFA was noted. The fatty acid-substrates content of vitamin F and their ratio with MUFA and oleic (C18: 1) ω9 UFA were increased. The value of the ω6 UFA amount was increased due to linoleic (C18: 2) UFA.

The amount of ω3 EFA was decreased in mesenteric and retroperitoneal adipose tissue. The ratio ω3 / ω6 was shifted towards ω6 UFA. The content of stearic (C18: 0) SFA was increased.

НЖК, за счет линолевой (С18:2) НЖК.

В мезентериальной и забрюшинной жировой ткани уменьшилась сумма $\omega 3$ НЖК. Соотношение $\omega 3/\omega 6$ сместилось в сторону $\omega 6$ НЖК. Увеличилось содержание стеариновой (С18:0) НасЖК.

Заключение. Аэробная физическая нагрузка при питании повышенной калорийности модифицировала процентное содержание жирных кислот в белой жировой ткани крыс. При этом наибольший эффект был зафиксирован в отношении жирных кислот в мезентериальной и забрюшинной жировой ткани, а наименьший в отношении эпидидимальной и подкожной.

Ключевые слова: жирные кислоты, комплексы жирных кислот, жировая ткань, аэробная физическая нагрузка, диета

Конфликт интересов отсутствует.

Контактная информация автора, ответственного за переписку:

Якимович Инесса Юрьевна

iness2501@yandex.ru

Дата поступления 14.05.2019 г.

Образец цитирования:

Якимович И.Ю., Котловский М.Ю., Гусакова С.В., Иванов В.В., Васильев В.Н., Дыгай А.М., Долгалев И.В., Панимаскина А.В., Котловская Л.Ю. Влияние аэробной физической нагрузки на содержание жирных кислот и их комплексов в белой жировой ткани крыс при питании повышенной калорийности. Вестник уральской медицинской академической науки. 2019, Том 16, №3, с. 384-400, DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-3-384-400

Conclusion. Aerobic exercise and high calorie diet modified the percentage of FA in white adipose tissue of rats. The most significant effect was recorded for FA in mesenteric and retroperitoneal tissue, and the smallest for FA in epididymal and subcutaneous tissue.

Keywords: fatty acids, fatty acid complexes, adipose tissue, aerobic exercise, diet

There is no conflict of interest.

Contact details of the corresponding author:

Inessa Yu. Yakimovich

iness2501@yandex.ru

Received 14.05.2019

For citation:

Yakimovich I.Yu., Kotlovsky M.Yu., Gusakova S.V., Ivanov V.V., Vasilyev V.N., Dygai A.M., Dolgalev I.V., Panimaskina A.V., Kotlovskaya L.Yu. The Effect of Aerobic Exercise on the Fatty Acids Content and their Complexes in the White Adipose Tissue of Rats Consuming High Calorie Diets. Vestn. Ural. Med. Akad. Nauki. = Journal of Ural Medical Academic Science. 2019, Vol. 16, no. 3, pp. 384-400. DOI: 10.22138/2500-0918-2019-16-3-384-400 (In Russ)

Введение

В настоящее время известно, что все клетки животных организмов нуждаются в поступлении пищи как источника пластического материала и образования энергии [1]. При этом от количества и качества потребляемой пищи зависит состояние здоровья организма [2]. Жирные кислоты (ЖК) представляют собой основной субстрат, обеспечивающий реализацию биологической функции трофологии [3]. Именно ЖК являются основным энергетическим ресурсом организма, входят в состав клеточных мембран и являются субстратом для образования сигнальных молекул [4].

Жировая ткань (ЖТ) обеспечивает жизнедеятельность организма в постабсорбтивный период [5]. Адипоциты в абсорбтивный период накапливают экзогенные ЖК в виде преимущественно пальмитиновых и олеиновых триглицеридов. При отсутствии экзогенного поступления питательных веществ данные клетки реализуют функцию эндотрофии, производя мобилизацию ранее запасенных ЖК [6].

Жировые депо организма различаются по своему клеточному составу, метаболическим характеристикам, васкуляризации и иннервации, что обуславливает различие их метаболизма и функций. На сегодняшний день установлены функциональные и морфометрические отличия висцеральной (мезентериальной, перигонадальной, забрюшинной) и подкожной ЖТ [7].

Известно, что физическая нагрузка (локомоция) это

Introduction

It is currently known that all animal cells require food, as a source of plastic material and the formation of energy [1]. Moreover, the state of body's health depends on the quantity and quality of consuming food [2]. Fatty acids (FA) are the main substrate that ensures the implementation of the biological function of trophology [3]. FA are the main energy resource of the body. They are a part of cell membranes and a substrate for the formation of signaling molecules [4].

Adipose tissue (AT) ensures the vital body activity in the postabsorption period [5]. Adipocytes in the absorptive period accumulate exogenous AT in the form of predominantly palmitic and oleic triglycerides. In the absence of exogenous nutrient intake, these cells realize the endotrophy function, mobilizing previously stored FA [6].

Fat depots of the body vary in their cellular composition, metabolic characteristics, vascularization and innervation that causes the differences in their metabolism and functions. To date, functional and morphometric differences have been defined between visceral (mesenteric, perigonadal, retroperitoneal) and subcutaneous AT [7].

It is known that physical activity (locomotion) is the main key factor in energy consumption and normalization of energy balance [8]. With prolonged, continuous and low-intensity physical activity, predominantly aerobic energy supply pathways using carbohydrates and fats start operating [9]. It is an inexpensive non-pharmacological

основной, ключевой фактор расхода энергии и нормализации энергетического баланса [8]. При продолжительных, непрерывных и малоинтенсивных физических нагрузках преимущественно включаются аэробные пути энергообеспечения с использованием углеводов и жиров [9]. Она является недорогим нефармакологическим вмешательством в образ жизни с хорошим положительным результатом профилактики избыточной массы тела и ассоциированных с ней заболеваний [10].

Таким образом, цель нашей работы: изучить влияние регулярной аэробной физической нагрузки на процентное содержание жирных кислот и их комплексов в жировой ткани крыс разной локализации при питании повышенной калорийности.

Материалы и методы

Данное исследование было проведено на 10 самцах белых крыс (Wistar), полученных из ФГБНУ НИИ фармакологии и регенеративной медицины им. Е.Д. Гольдберга. Животные находились в стандартных условиях содержания на естественном световом режиме при свободном доступе к воде и пище. Все манипуляции, которым подвергались животные, соответствовали правилам лабораторной практики.

Животные были разделены на две группы. Во второй группе крысы в течение 6 недель получали малоинтенсивную физическую нагрузку преимущественно аэробного характера [11]. Животные подвергались физической нагрузке в виде плавания через 1 день в течение 1 ч с отягощением 4% от массы тела. Характер физической нагрузки был определен методом максимального стабильного содержания лактата (Maximal Lactate Stable State (MLSS)) в сыворотке крови крыс [11]. Протокол определения MLSS, включал в себя 3 теста с разной нагрузкой (3,5; 4; 4,5% от массы тела крысы, груз, размещали в специальный жилет, который одевали на животного), продолжительностью 25 минут каждый. В течение всех тестов собирали образцы крови животных на 5, 10, 15, 20, 25 минуте тестирования с последующим определением содержания лактата. MLSS был определен при стабильном уровне лактата крови за период времени с 10 до 25 минуты теста при отягощении 4% от массы тела. У животных первой группы регулярная физическая нагрузка отсутствовала.

В течение всего эксперимента крысы обеих групп получали рацион питания повышенной калорийности (долей жира в общей калорийности корма 32%).

Из эксперимента животных выводили CO₂-асфиксией. Выделяли методом диссекции эпидидимальную (ЭЖТ), забрюшинную (ЗЖТ), мезентериальную (МЖТ) и подкожно-паховую (ПЖТ) жировую ткань [12].

Методом J. Folch липиды экстрагировали из навесок ЖТ (250 мг) разной локализации (ПЖТ, МЖТ, ЭЖТ, ЗЖТ) [13]. В последующем производили изучение метиловых эфиров ЖК на хромато-масс-спектрометре

lifestyle intervention with a good positive result in the overweight prevention and associated diseases [10].

Thus, the goal of our work: to study the effect of regular aerobic physical activity on the percentage of fatty acids and their complexes in the adipose tissue of rats of different localization, consuming a high calorie diet.

Materials and methods

This study was conducted on 10 male white rats (Wistar), obtained from Goldberg Research Institute of Pharmacology and Regenerative Medicine. The animals were kept in standard conditions under natural light with free access to water and food. All the manipulations that the animals were subjected to were in accordance with the laboratory practice rules.

Animals were divided into two groups. In the second group, rats received low-intensity physical activity, predominantly aerobic, for 6 weeks [11]. The animals were subjected to physical activity in the form of swimming after 1 day for 1 h with a 4% of body weight load. The kind of physical activity was determined by the method of maximum stable lactate content (Maximal Lactate Stable State (MLSS)) in rat serum [11]. The MLSS determination protocol included 3 tests with different loads (3.5, 4, 4.5% of the rat's body weight, load, placed in a special vest, which was worn on an animal), each lasting 25 minutes. During all tests, animal blood samples were collected at 5, 10, 15, 20, 25 minutes of the testing, followed by determination of the lactate content. MLSS was determined at a stable level of blood lactate over a period from 10 to 25 minutes of the test with a 4% of body weight load. Animals of the first group didn't have any regular physical activity.

During the entire experiment rats of both groups consumed a high-calorie diet (32% of fat in the total calorie value of the feed).

Animals with CO₂ asphyxia were removed from the experiment. Epididymal (EAT), retroperitoneal (RAT), mesenteric (MAT) and subcutaneous-inguinal (SAT) adipose tissue were isolated by dissection [12].

By the J. Folch method, lipids were extracted from AT samples (250 mg) of different localization (SAT, MAT, EAT, RAT) [13]. Subsequently, FA methyl esters were studied on an Agilent Technologies chromatograph-mass spectrometer (USA). An HP-5MS chromatographic column (Agilent Technologies, USA) was used, 30 m long, 0.25 mm outer diameter, and 0.25 μm film thickness.

Identification was carried out by comparing the experimental mass spectra with the spectra of the NIST MS Search 2.0 databases and AMDIS Analysis programs, as well as by comparing the output time of the analyzed sample with the output time of the known pre-methylated FA standards.

The content of FA was expressed as a percentage of the total peak areas. The content of 24 FA (14 UFA and 10 SFA) was determined.

The 14 integrative FA indicators (complexes) were analyzed. They included: the sum of ω3 (C18: 3, C20: 5,

Agilent Technologies (США). Использовали хроматографическую колонку HP-5MS (Agilent Technologies, США) длиной 30 м, внешним диаметром — 0,25 мм и толщиной пленки — 0,25 мкм.

Идентификация проводилась при сравнении экспериментальных масс-спектров со спектрами баз данных программ «NIST MS Search 2.0» и «AMDIS Analysis», а также путем сопоставления времени выхода анализируемого образца со временем выхода известных, предварительно метилированных, стандартов ЖК.

Содержание ЖК выражалось в процентах от общей суммы площадей пиков. Определяли содержание 24 ЖК (14 НЖК и 10 НасЖК).

Было проанализировано значение 14 интегративных показателей (комплексов) ЖК. В их состав вошли: сумма $\omega 3$ (C18:3, C20:5, C22:6), $\omega 6$ (C18:2, C20:2, C20:3, C20:4), $\omega 7$ (C16:1, C18:1), $\omega 9$ (C16:1, C18:1, C20:1, C22:1, C24:1), НЖК, НасЖК, ПНЖК, МНЖК, насыщенных жирных кислот с четным числом атомов углерода (НасЖК четных), насыщенных жирных кислот с нечетным числом атомов углерода (НасЖК нечетных), ЖК-субстратов витамина F, сфингофосфолипидов (СФЛ), глицерофосфолипидов (ГФЛ), энергии, мембран, индекс ненасыщенности (ИН).

Для оценки изменения активности отдельных ферментов, отвечающих за метаболизм ЖК и функционирования систем транспорта, антиоксидантной защиты, депонирования, окисления и эндогенного образования данных ЖК было проанализировано изменение соотношений отдельных ЖК между собой и с их комплексами.

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

Результаты

В проведенном исследовании было установлено, что регулярная аэробная физическая нагрузка при питании повышенной калорийности приводит к уменьшению процентной доли α -линоленовой (C18:3) $\omega 3$ НЖК ($p < 0,05$) в ЗЖТ и ПЖТ (Таблица 1). Содержание тимнодовой (C20:5) $\omega 3$ НЖК понизилось в МЖТ ($p < 0,05$). В то же время в МЖТ и ЗЖТ данная физическая нагрузка способствует снижению значения всей суммы $\omega 3$ НЖК ($p < 0,05$).

Только в ЗЖТ под воздействием нагрузки увеличился уровень линолевой (C18:2) НЖК и всей суммы $\omega 6$ НЖК ($p < 0,05$). В то же время в МЖТ и ПЖТ уменьшилось содержание дигомо- γ -линоленовой (C20:3) $\omega 6$ НЖК ($p < 0,05$).

В МЖТ и ПЖТ было зафиксировано изменение соотношения $\omega 3/\omega 6$ ($p < 0,05$), что говорило о смещении баланса эссенциальных ЖК в сторону $\omega 6$ НЖК.

Аэробная физическая нагрузка приводит к пониже-

нию $\omega 6$ (C18: 2, C20: 2, C20: 3, C20: 4), $\omega 7$ (C16: 1, C18: 1), $\omega 9$ (C16: 1, C18: 1, C20: 1, C22: 1, C24: 1), UFA, SFA, PUFA, MUFA, saturated fatty acids with an even number of carbon atoms (even SFA), saturated fatty acids with the odd number of carbon atoms (odd SFA), FA-substrates of vitamin F, sphingophospholipids (SPL), glycerophospholipids (GPL), energy, membranes, unsaturation index (UN).

To evaluate the activity changes of individual enzymes responsible for FA metabolism and the transport systems functioning, antioxidant protection, deposition, oxidation and endogenous formation of these FA, we analyzed the ratios change of individual FA with each other and with their complexes.

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

Results

The conducted study found that regular aerobic exercise with a high-calorie diet leads to a decrease in the percentage of α -linolenic (C18: 3) $\omega 3$ UFA ($p < 0.05$) in RAT and SAT (table 1). The content of eicosapentaenoic acid (C20: 5) $\omega 3$ UFA was decreased in MAT ($p < 0.05$). At the same time, in MAT and RAT this physical activity helps to reduce the value of the total amount $\omega 3$ UFA ($p < 0.05$).

Only in RAT the level of linoleic (C18: 2) UFA and the total amount of $\omega 6$ UFA ($p < 0.05$) were increased under the influence of the load. At the same time the content of dihomo- γ -linolenic (C20: 3) $\omega 6$ UFA ($p < 0.05$) was decreased in MAT and SAT.

The ratio change of $\omega 3 / \omega 6$ ($p < 0.05$) was recorded in MAT and SAT, which indicated the balance shift of essential FA towards $\omega 6$ UFA.

Aerobic physical activity leads to a decrease of the palmitoleic (C16: 1) $\omega 7$ UFA in MAT and vaccenic (C18: 1) $\omega 7$ UFA ($p < 0.05$) in RAT (table 1). Only in the MAT the ratio decrease C16: 1 (9) / C18: 1 (11) ($p < 0.05$) was determined, therefore, the activity of the elongase of palmitoleic (C16: 1) UFA was increased.

An increase ($p < 0.05$) of the content of palmitoleic (C16: 1) $\omega 9$ UFA in RAT, erucic (C22: 1) $\omega 9$ UFA in MAT, and nervonic (C24: 1) $\omega 9$ UFA in the body was noted.

The ratio increase C16: 1 (7) / C18: 1 (9) in RAT ($p < 0.05$) was defined. Aerobic physical activity in MAT leads to the ratio decrease C16: 1 (9) / C18: 1 (9) ($p < 0.05$), which indicates the predominance of the endogenous formation of oleic (C18: 1) $\omega 9$ UFA.

The experiment showed that the studied load in the MAT, EAT and SAT leads to an increase of the content of behenic (C22: 0) UFA ($p < 0.05$) (table 2). There was also an increase of the content of stearin (C18: 0) SFA in MAT and EAT ($p < 0.05$), arachidic (C20: 0) SFA in MAT and SAT, and lignoceric (C24: 0) SFA in RAT and SAT.

The level of palmitic (C16: 0) SFA and the total amount

нию уровня пальмитолеиновой (C16:1) ω 7 НЖК в МЖТ и вакценовой (C18:1) ω 7 НЖК ($p < 0,05$) в ЗЖТ (Таблица 1). Только в МЖТ также было отмечено уменьшение соотношения C16:1(9)/C18:1(11) ($p < 0,05$), следовательно, увеличилась активность элонгазы пальмитолеиновой (C16:1) НЖК.

Было отмечено увеличение содержания ($p < 0,05$) пальмитолеиновой (C16:1) ω 9 НЖК в ЗЖТ, эруковой (C22:1) ω 9 НЖК в МЖТ и нервоновой (C24:1) ω 9 НЖК в ЭЖТ.

Установлено увеличение соотношения C16:1(7)/C18:1(9) в ЗЖТ ($p < 0,05$). Аэробная физическая нагрузка в МЖТ приводит к уменьшению значения соотношения C16:1(9)/C18:1(9) ($p < 0,05$), что свидетельствует о преобладании эндогенного образования олеиновой (C18:1) ω 9 НЖК.

Эксперимент показал, что исследуемая нагрузка в МЖТ, ЭЖТ и ПЖТ приводит к увеличению содержания бегеновой (C22:0) НасЖК ($p < 0,05$) (таблица 2). Только в МЖТ и ЭЖТ повысилась ($p < 0,05$) содержание стеариновой (C18:0) НасЖК, в МЖТ и ПЖТ-арахиновой (C20:0) НасЖК, а в ЭЖТ и ПЖТ-лингоцериновой (C24:0) НасЖК.

В МЖТ увеличился ($p < 0,05$) уровень пальмитиновой (C16:0) НасЖК и всей суммы НасЖК четных.

В МЖТ и ЭЖТ было отмечено увеличение значения C16:0/C16:1(9), а в МЖТ и соотношения C18:0/C18:1(9) ($p < 0,05$). Это свидетельствовало об угнетении активности ферментов эндогенного образования ω 7 и ω 9 НЖК или о повышенном потреблении данных МНЖК.

Значение соотношения C16:0/C18:1(9) повысилось ($p \leq 0,05$) в МЖТ, показывая, что образование и поступление олеиновой (C18:1) НЖК уступало аналогичным процессам в отношении пальмитиновой (C16:0) НасЖК.

Было установлено, что уровень маргариновой (C17:0) НасЖК увеличился в МЖТ и ЭЖТ ($p < 0,05$). Уровень генэйкоциловой (C21:0) НасЖК снизился в ЭЖТ, но увеличился в ПЖТ ($p < 0,05$). Уровень трикозановой (C23:0) НасЖК повысился в ЭЖТ ($p < 0,05$). В то же время только в МЖТ нагрузка приводила к повышению значения суммы НасЖК нечетных ($p < 0,05$).

Аэробная физическая нагрузка приводит к увеличению ($p < 0,05$) содержания ЖК-субстратов СФЛ в ЭЖТ (таблица 3), а в ЗЖТ уровню ЖК-субстратов ГФЛ ($p < 0,05$). В свою очередь в ЗЖТ было отмечено увеличение содержания ЖК-субстратов мембран и снижение ЖК-субстратов энергии ($p < 0,05$).

В МЖТ уменьшилось значение суммы ПНЖК и их соотношение с олеиновой (C18:1) ω 9 НЖК ($p < 0,05$).

В ЗЖТ повысилось значение показателя ЖК-субстраты витамина F и соотношение ЖК-субстраты витамина F/C18:1(9) ($p < 0,05$). Увеличение содержания МНЖК сдвинуло в их сторону соотношение с ЖК-субстраты витамина F ($p < 0,05$). В то же время значение соотношения ПНЖК/МНЖК уменьшилось в МЖТ

of even SFA were increased in MAT ($p < 0,05$).

An increase of C16: 0 / C16: 1 (9) in MAT and EAT and the ratio C18: 0 / C18: 1 (9) in MAT was noted ($p > 0,05$). This indicated the activity suppression of the endogenous formation enzymes ω 7 and ω 9 UFA or an increased consumption of these MUFA.

The value of the ratio C16: 0 / C18: 1 (9) was increased ($p \leq 0,05$) in MAT, showing that the formation and supply of oleic (C18: 1) UFA was inferior to similar processes regarding palmitic (C16: 0) SFA.

It was found that the level of margarine (C17: 0) SFA was increased in MAT and EAT ($p < 0,05$). The level of hencosanoic (C21: 0) SFA decreased in EAT, but was increased in SAT ($p < 0,05$). The level of tricosanoic (C23: 0) SFA was increased in EAT ($p < 0,05$). At the same time, only in MAT the load led to an increase of the total value of odd SFA ($p < 0,05$).

Aerobic physical activity leads to an increase ($p < 0,05$) of the content of FA-substrates of SPL in EAT (table 3), and the level of FA-substrates of GPL ($p < 0,05$) in RAT. In turn, an increase of the content of FA-substrates of membranes and a decrease of FA-substrates of energy ($p < 0,05$) were noted in RAT.

The amount of the PUFA and their ratio with oleic (C18: 1) ω 9 UFA was decreased ($p < 0,05$) in MAT.

In RAT the value of the FA-substrate of vitamin F and the ratio of the FA-substrate of vitamin F / C18: 1 (9) was increased ($p < 0,05$). The increase in the MUFA content shifted the ratio of the FA- substrate and vitamin F ($p < 0,05$). At the same time, the value of the PUFA / MUFA ratio was decreased in MAT ($p < 0,05$).

Physical activity leads to a decrease in the UFA amount in MAT, on the contrary to an increase in SFA ($p < 0,05$). The ratio of SFA / MUFA was also increased ($p < 0,05$), which indicated a shift in the balance towards SFA. A decrease in the value of UN was noted.

Discussion

In the study it was found that only in MAT the percentage of UFA was decreased and the percentage of SFA was increased. A decrease in the value of UN was a consequence of it. It is known that an increased concentration of SFA in the triglycerides of AT reduces the intensity of FA lipases [14]. At the same time, triglycerides that include MUFA are more sensitive to the lipases action [15].

In MAT, at the loading the PUFA content was decreased. The ratio of the FA and MUFA was changed towards the latter ones. That indicated an increase in the cells antioxidant protection. MUFA are known to be more effective antioxidants than α -tocopherol, carotene and ascorbic acid [16].

In turn, physical exercise increased the value of the GPL FA-substrate in RAT. The content of energy FA-substrates was decreased, and the membrane substrates was increased. It is known that an increase in the cell membrane fluidity is associated with an improvement in the cells sensitivity to the insulin action [17]. A decrease in the amount of MUFA

($p < 0,05$).

Физическая нагрузка приводит к уменьшению суммы НЖК в МЖТ, а НасЖК, напротив, увеличению ($p < 0,05$). Соотношение НасЖК/МНЖК также увеличилось ($p < 0,05$), что говорило о сдвиге баланса в сторону НасЖК. Было отмечено уменьшение значения ИН.

Обсуждение

В проведенном исследовании было установлено, что только в МЖТ снизилось процентное содержание НЖК и увеличилось НасЖК. Следствием этого было уменьшение значения ИН. Известно, что повышенная концентрация НасЖК в триглицеридах ЖТ, снижает интенсивность липаз ЖК [14]. В то же время триглицериды, в состав которых входят МНЖК, более чувствительны к действию липаз [15].

В МЖТ при нагрузке понизилось содержание ПНЖК. Изменилось соотношение данных ЖК с МНЖК в сторону последних, свидетельствуя об увеличении антиоксидантной защиты клеток. Известно, что МНЖК является более эффективными антиоксидантами, чем α -токоферол, каротин и аскорбиновая кислота [16].

В свою очередь в ЗЖТ физическая нагрузка увеличила значение показателя ЖК-субстраты ГФЛ. Понизилось содержание ЖК-субстратов энергии и увеличилось — субстратов мембран. Известно, что повышение жидкости клеточной мембраны связано с улучшением чувствительности клеток к действию инсулина [17]. Было отмечено снижение суммы МНЖК. Увеличилось содержание ЖК-субстраты витамина F и их соотношение с МНЖК и олеиновой (C18:1) НЖК.

ПНЖК занимают особое место среди ЖК, являются незаменимыми, не синтезируются в организме и поступают с пищей. Данные ЖК служат важнейшими структурными компонентами биологических мембран и выполняют регуляторную функцию [18].

В клетках МЖТ и ЗЖТ было отмечено уменьшение суммы $\omega 3$ НЖК. Известно, что $\omega 3$ и $\omega 6$ ПНЖК конкурируют между собой, и модификация содержания НЖК одного семейства противоположным образом изменяет содержание другого [19]. Соотношение $\omega 3/\omega 6$ сместилось в сторону $\omega 6$ НЖК. Известно, что подобное изменение соотношения семейств ПНЖК может быть негативным фактором.

В свою очередь в ЗЖТ и ПЖТ было отмечено снижение процентного содержания α -линолевой (C18:3) $\omega 3$ НЖК. Только в МЖТ уменьшилось содержание тимнодовой (C20:5) $\omega 3$ НЖК, непосредственного субстрата синтеза эйкозаноидов. Содержание дигомо- γ -линоленовой (C20:3) $\omega 6$ НЖК понизилось в МЖТ и ПЖТ. Из литературы известно, что дигомо- γ -линоленовой (C20:3) $\omega 6$ НЖК являются биомаркером резистентности к инсулину [20]. Помимо этого, только в ЗЖТ было отмечено увеличение значения суммы $\omega 6$ НЖК за счет линолевой (C18:2) НЖК. Увеличение содержания данной НЖК может оказывать провоспалительное действие [21].

was noted. The content of the FA-substrate of vitamin F and their ratio with MUFA and oleic (C18: 1) UFA was increased.

PUFA hold a special place among FA. They are indispensable, are not synthesized in the body, and come from food. The FA serve as the most important structural components of biological membranes and perform a regulatory function [18].

A decrease in the sum of $\omega 3$ UFA was noted in the cells of the MAT and RAT. It is known that $\omega 3$ and $\omega 6$ PUFA compete with each other, and modification of the UFA content of one family changes the content of another in the opposite way [19]. The ratio $\omega 3 / \omega 6$ was shifted towards $\omega 6$ UFA. It is known that such a change in the ratio of PUFA families can be a negative factor.

In turn, a decrease in the percentage of α -linoleic (C18: 3) $\omega 3$ UFA was noted in the EAT and SAT. The content of eicosapentaenoic (C20: 5) $\omega 3$ UFA, a direct substrate for the eicosanoids synthesis, decreased only in MAT. The content of digomo- γ -linolenic (C20: 3) $\omega 6$ UFA decreased in MAT and SAT. It is known from the literature that digomo- γ -linolenic (C20: 3) $\omega 6$ UFA are a biomarker of insulin resistance [20]. In addition, there was an increase in the sum of $\omega 6$ UFA only in RAT due to a linoleic (C18: 2) UFA increased. An increase in the content of this UFA can have a pro-inflammatory effect [21].

It is known that with a deficiency of essential PUFA, endogenously formed $\omega 7$ and $\omega 9$ UFA can replace them in annular membranes lipids and substrates of the synthesis of eicosanoids [22].

In the conducted study it was established a decrease in the activity of desaturase during endogenous synthesis of $\omega 7$ MUFA in MAT and EAT. In addition there was an increase in elongase activity during the formation of these FA in MAT. A decrease in the activity of desaturase was also defined by the endogenous formation of $\omega 9$ MUFA. However, the ratio of the products of endogenous MUFA synthesis shifted toward oleic (C18: 1) $\omega 9$ UFA in this tissue. There was a shift in the direction of this MUFA of its ratio with PUFA. An increase in the content of erucic (C22: 1) $\omega 9$ UFA was noted.

An increase in the content of vaccenic (C18: 1) $\omega 7$ UFA and palmitoleic (C16: 1) $\omega 9$ UFA was recorded in the RAT. A shift towards the products of oleic (C18: 1) $\omega 9$ NLC oxidation was noted.

In EAT, the value of the UFA-substrate of SPL was increased due to the content of the nervonic (C24: 1) $\omega 9$ UFA.

An increase in the level of PUFA endogenously formed from MUFA with their subsequent placement in phospholipids increases the microviscosity of cell membranes and reduces the negative charge on their surface [23]. In this case, the functioning of transmembrane proteins is disrupted [24].

It is known that SFA perform the function of tissues energy supply [25], and they are also part of cell membranes [26].

Only in MAT aerobic physical activity led to an increase

Известно, что при дефиците эссенциальных ПНЖК образованные эндогенно $\omega 7$ и $\omega 9$ НЖК могут замещать их в аннулярных липидах мембран и субстратов синтеза эйкозаноидов [22].

В проведенном исследовании в МЖТ и ЭЖТ было установлено уменьшение активности десатуразы при эндогенном синтезе $\omega 7$ МНЖК. В МЖТ, помимо этого, увеличилась активность элонгазы при образовании данных ЖК. Было установлено снижение активности десатуразы и при эндогенном образовании $\omega 9$ МНЖК. Тем не менее, в данной ткани соотношение продуктов эндогенного синтеза МНЖК сместилось в сторону олеиновой (C18:1) $\omega 9$ НЖК. В сторону данной МНЖК произошел сдвиг её соотношения с ПНЖК. Было отмечено увеличение содержания эруковой (C22:1) $\omega 9$ НЖК.

В ЗЖТ было зафиксировано повышение содержания вакценовой (C18:1) $\omega 7$ НЖК и пальмитоолеиновой (C16:1) $\omega 9$ НЖК. Отмечен сдвиг в сторону продуктов окисления олеиновой (C18:1) $\omega 9$ НЖК.

В ЭЖТ увеличилось значение ЖК-субстраты СФЛ, за счет содержания нервоновой (C24:1) $\omega 9$ НЖК

Повышение уровня ПНЖК, эндогенно образованных из МНЖК с последующим размещением их в фосфолипиды, повышает микровязкость клеточных мембран и снижает отрицательный заряд на их поверхности [23]. При этом нарушается функционирование трансмембранных белков [24].

Известно, что НасЖК выполняют функцию энергетического обеспечения тканей [25], а также входят в состав клеточных мембран [26].

Только в МЖТ аэробная физическая нагрузка приводила к увеличению суммы НасЖК с четным и нечетным числом атомов углерода. Повышение содержания НасЖК в МЖТ, учитывая ее физиологические особенности, может говорить о наибольшей перестройке данной ткани для энергетического обеспечения функции локомоции в условиях аэробной нагрузки.

В МЖТ было отмечено увеличение содержания пальмитиновой (C16:0) НасЖК. В сторону пальмитиновой (C16:0) НасЖК изменилось её соотношение с олеиновой (C18:1) МНЖК. Известно, что пальмитиновая (C16:0) НасЖК является конечным продуктом биосинтеза ЖК в цитоплазме [27]. Последующая элонгация ЖК происходит в эндоплазматическом ретикулуме [28].

В свою очередь, содержание стеариновой (C18:0) НасЖК повысилось в МЖТ и ЗЖТ. Уровень арахидиновой (C20:0) НасЖК и маргариновой (C17:0) стал более высоким в МЖТ и ЭЖТ, а лингоцериновой (C24:0) в ЗЖТ и ПЖТ. Содержание бегеновой (C22:0) увеличилось в МЖТ, ЗЖТ, ПЖТ.

Только в ЗЖТ повысилось содержание трикозановой (C23:0) НасЖК, а в ПЖТ генэйкоциловой (C21:0) НасЖК. В свою очередь в ЗЖТ уровень генэйкоциловой (C21:0) НасЖК снизился.

Таким образом, полученные результаты могут свиде-

in the amount of SFA with an even and odd number of carbon atoms. An increase in the content of SFA in MAT, taking into account its physiological features, may indicate the greatest restructuring of this tissue for the energy supply of the locomotion function under aerobic exercise.

An increase in the content of palmitic (C16: 0) SFA was noted in MAT. Toward the palmitic (C16: 0) SFA its ratio with the oleic (C18: 1) MUFA was changed. It is known that palmitic (C16: 0) SFA is the end product of FA biosynthesis in the cytoplasm [27]. Subsequent elongation of FA occurs in the endoplasmic reticulum [28].

In turn the content of stearic (C18: 0) SFA increased in MAT and RAT. The level of arachidic (C20: 0) SFA and margarine (C17: 0) became higher in MAT and EAT, and lignoceric (C24: 0) in RAT and SAT. Behenic content (C22: 0) was increased in MAT, RAT, SAT.

Only in RAT the content of tricosanoic (C23: 0) SFA was increased, and hencicosanoic (C21: 0) SFA in SAT. In turn hencicosanoic level (C21: 0) SFA was decreased in RAT.

Thus, the obtained results may indicate aerobic exercise modification, not only quantitative, but also qualitative composition of FA in white adipose tissue. In this case the physical activity of a given regime and a high calorie diet produced a more pronounced effect on FA in MAT and RAT.

тельствовать о модификации аэробной физической нагрузкой не только количественного, но и качественного состава ЖК в белой жировой ткани. При этом более выраженное влияние физическая нагрузка заданного режима при питании повышенной калорийности произвела на ЖК в МЖТ и ЖТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Титов В.Н. Биологическая функция питания, биологические реакции экзотрофии, депонирования и эндотрофии. Висцеральные жировые клетки и адипоциты – филогенетически, функционально и регуляторно разные пулы жировой ткани. Клиническая лабораторная диагностика. 2015; 8:14-23.
2. Абдурашитова Ш. А. Пропаганда здорового образа жизни — одно из главных направлений гигиенического обучения и воспитания населения. «Молодой учёный». 2017; 7:128-131.
3. Переверзева Э.В., Филиппова С.Н. Питание современного человека: путь развития или деградации? Вестник РМАТ. 2015; 4: 116-130.
4. Turner N, Cooney GJ, Kraegen EW, Bruce CR. Fatty acid metabolism, energy expenditure and insulin resistance in muscle. J Endocrinol. 2014. Vol. 220(2). pp. 61-79. DOI: 10.1530/JOE-13-0397.
5. Vegiopoulos A., Rohm M., Herzig S. Adipose tissue: between the extremes. EMBO J. 2017. Vol. 36(4). pp. 1999-2017.
6. Титов В.Н. Становление в филогенезе жировых клеток, биологической функции трофологии, биологических реакций экзо- и эндотрофии функциональное различие между висцеральными жировыми клетками и подкожными адипоцитами. Клиническая лабораторная диагностика. 2014;12: 4-12.
7. Tchkonja T., Thomou T., Zhu Y., Karagiannides I., Pothoulakis C., Jensen M.D., Kirkland J.L. Mechanisms and metabolic implications of regional differences among fat depots. Cell Metab. 2013. Vol. 17(5). pp. 644-656.
8. Thompson D., Karpe F., Lafontan M., Frayn K. Physical Activity and Exercise in the Regulation of Human Adipose Tissue Physiology. Physiological Reviews. 2012. Vol. 92. no 1. pp. 157-191. DOI: 10.1152/physrev.00012.2011
9. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. Physiology of Sport and Exercise. Published by Champaign, IL. Human Kinetics. 2011. 640 p.
10. Gibala, M.J., Little J.P., Macdonald M.J., Hawley J.A. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. J Physiol. 2012. Vol. 590. pp. 1077-1084.
11. Kim Jong-Hee, Park Y. Combined effects of phytochemicals and exercise on fatty acid oxidation. J Exerc Nutrition Biochem. 2016. Vol. 20. no 4. pp. 20-26. – DOI:10.20463/jenb.2016.0053
12. 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.

REFERENCES

1. Titov V.N. The biological function of nutrition, biological reaction of exotrophy, depositing and endotrophy. The visceral fatty cells and adipocytes - phylogenetically, functionally and regulatory different pools of fatty tissue [Biologicheskaya funkciya pitaniya, biologicheskie reakcii ehkzotrofii, deponirovaniya i ehndotrofii. Visceral'nye zhirovye kletkii adipocity – filogeneticheski, funkcionalno i regulatorno raznye puly zhirovoy tkani] Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika [Klinicheskaya laboratornaya diagnostika]. 2015, 60 (8), pp. 14–23. (in Russ.)
2. Abdurashitova, SH. A. Promotion of a healthy lifestyle is one of the main areas of hygienic education and training of the population [Propaganda zdorovogo obraza zhizni - odno iz glavnyh napravlenij gigienicheskogo obucheniya i vospitaniya naseleniya] Young scientist [«Molodoj uchyonyj»]. 2017, no. 7, pp. 128-131. (In Russ.)
3. Pereverzeva Je.V., Filippova S.N. Nutrition modern man: the path of development or degradation? [Pitanie sovremennogo cheloveka: put' razvitija ili degradacii?] Bulletin RMAТ [Vestnik RMAТ]. 2015, no. 4, pp. 116-130. (In Russ)
4. Turner N, Cooney GJ, Kraegen EW, Bruce CR. Fatty acid metabolism, energy expenditure and insulin resistance in muscle. J Endocrinol. 2014. Vol. 220(2). pp. 61-79. DOI: 10.1530/JOE-13-0397.
5. Vegiopoulos A., Rohm M., Herzig S. Adipose tissue: between the extremes. EMBO J. 2017. Vol. 36(4). pp. 1999-2017.
6. Titov V.N. The becoming of fatty cells, biological function of trophology, biological reactions of exo- and endotrophy in phylogenesis. The functional difference between visceral fatty cells and subcutaneous adipocytes [Stanovlenie v filogeneze zhirovyh kletok, biologicheskoy funkcii trofologii, biologicheskikh reakcij jekzo- i jendotrofii funkcional'noe razlichie mezhdru visceral'nymi zhirovymi kletkami i podkozhnymi adipocitami] Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika [Klinicheskaja laboratornaja diagnostika]. 2014, no. 12, pp. 4-12. (In Russ.)
7. Tchkonja T., Thomou T., Zhu Y., Karagiannides I., Pothoulakis C., Jensen M.D., Kirkland J.L. Mechanisms and metabolic implications of regional differences among fat depots. Cell Metab. 2013. Vol. 17(5). pp. 644-656.
8. Thompson D., Karpe F., Lafontan M., Frayn K. Physical Activity and Exercise in the Regulation of Human Adipose Tissue Physiology. Physiological Reviews. 2012. Vol. 92. no 1. pp. 157-191. DOI: 10.1152/physrev.00012.2011
9. Kenney W.L., Wilmore J., Costill D. Physiology of Sport and Exercise. Published by Champaign, IL. Human Kinetics. 2011. 640 p.

13. Folch J. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226 (1). pp. 497–509.
14. Watt M.J., Spriet L.L. Triacylglycerol lipases and metabolic control: implications for health and disease. *Am. J. Physiol. Metab.* 2010. Vol. 299. pp. 162–168.
15. Gillingham L.G., Gustafson J.A., Han S.Y. et al. High-oleic rapeseed (canola) and flaxseed oils modulate serum lipids and inflammatory biomarkers in hypercholesterolaemic subjects. *Br. J. Nutr.* 2011. Vol. 105 (3). pp. 417–427.
16. Титов В. Н., Лисицын Д.М., Разумовский С.Д. Методические вопросы и диагностическое значение определения перекисного окисления липидов в липопротеинах низкой плотности. Олеиновая кислота как биологический антиоксидант (обзор литературы). *Клиническая лабораторная диагностика.* 2005; 4:3-10.
17. Frayn, K.N. Dietary fat and insulin sensitivity / K.N. Frayn, L. Hodson, F. Karpe // *Diabetologia.* 2010. Vol. 53. no 5. pp. 799-801.
18. Запорожская Л.И., Гаммель И.В. Характеристика и биологическая роль эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот. *Медицинский совет.* 2012; 12: 134 – 137.
19. Hwang D. Fatty acids and immune responses – a new perspective in searching for clues to mechanisms. *Annu. Rev. Nutr.* 2000. Vol. 20. pp. 431-456.
20. Ni Y., Zhao L., Yu H., Ma X., Bao Y., Rajani C. et al. Circulating unsaturated fatty acids delineate the metabolic status of obese individuals. *EBioMedicine.* 2015. Vol. 2. no 10. pp. 1513-22.
21. Aldámiz-Echevarría L., Prieto J., Andrade Fe, Elorz J, Sanjurjo P, Soriano J. R. Arachidonic Acid Content in Adipose Tissue Is Associated With Insulin Resistance in Healthy Children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2007. Vol. 44. no1. pp. 77-83.
22. Grosfeld A., Zilberfarb V., Turban S., Andre J., Guerre-Millo M., Issad T. Hypoxia increases leptin expression in human PAZ6 adipose cells. *Diabetologia.* 2002. Vol.45. pp. 527-530.
23. Геннис Р. Биомембраны. Молекулярная структура и функция. М.: Мир, 1997.
24. Heitzer T., Schlinzig T., Krohn K. et al. Endothelial dysfunction, oxidative stress, and risk of cardiovascular events in patients with coronary artery disease. *Circulation.* 2001. Vol. 104. pp. 2673–2678.
25. Титов В.Н. Транспорт липопротеидами насыщенных и полиеновых жирных кислот. *Успехи современной биологии.* 1997; 117(2):240-253.
26. Болдырев А.А., Кяйвяряйнен Е.И., Илюха В.А. Биомембранология: учебное пособие. Петрозаводск: Изд-во Кар НИЦ РАН. 2006:226.
27. Smidt K. et al. Zinc-transporter genes in human visceral and subcutaneous adipocytes: lean versus obese. *Mol. Cell. Endocrinol.* 2007. Vol. 264(1/2). pp. 68–73.
28. Peter A., Weigert C., Staiger H. et al. Individual stearoyl-coadesaturase 1 expression modulates endoplasmic
10. Gibala, M.J., Little J.P., Macdonald M.J., Hawley J.A. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J Physiol.* 2012. Vol. 590. pp. 1077-1084.
11. Kim Jong-Hee, Park Y. Combined effects of phytochemicals and exercise on fatty acid oxidation. *J Exerc Nutrition Biochem.* 2016. Vol. 20. no 4. pp. 20-26. – DOI:10.20463/jenb.2016.0053
12. Nikonorov A. A., Tinkov A. A., Zheleznov L. M., Ivanov V. V. Methodical approach to the study of obesity in the experiment [Metodicheskij podhod k izucheniju ozhirenija v jeksperimente] Orenburg: JSC «IPK» South Ural « [Orenburg: OAO «IPK «Juzhnyj Ural»]. 2013: 240. (In Russ).
13. Folch J. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *J. Biol. Chem.* 1957. Vol. 226 (1). pp. 497–509.
14. Watt M.J., Spriet L.L. Triacylglycerol lipases and metabolic control: implications for health and disease. *Am. J. Physiol. Metab.* 2010. Vol. 299. pp. 162–168.
15. Gillingham L.G., Gustafson J.A., Han S.Y. et al. High-oleic rapeseed (canola) and flaxseed oils modulate serum lipids and inflammatory biomarkers in hypercholesterolaemic subjects. *Br. J. Nutr.* 2011. Vol. 105 (3). pp. 417–427.
16. Titov V.N., Lisitsyn D.M., Razumovsky S.D. Methodological issues and the diagnostic value of determining lipid peroxidation in low-density lipoproteins. Oleic acid as a biological antioxidant (review of literature) [Metodicheskie voprosy i diagnosticheskoe znachenie opredeleniya perekisnogo okisleniya lipidov v lipoproteinah nizkoj plotnosti. Oleinovaya kislota kak biologicheskij antioksidant (obzor literatury)] *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika [Klinicheskaya laboratornaya diagnostika].* 2005, no. 4, pp. 3-10. (In Russ).
17. Frayn, K.N. Dietary fat and insulin sensitivity / K.N. Frayn, L. Hodson, F. Karpe // *Diabetologia.* 2010. Vol. 53. no 5. pp. 799-801.
18. Zaporozhskaya L.I., Gammel I.V. Characterization and biological role of essential polyunsaturated fatty acids [Kharakteristika i biologicheskaya rol' essentsial'nykh polinenasyshchennykh zhirnykh kislot] *Medical Council [Meditsinskiy sovet].* 2012, no. 12, pp. 134 – 137. (In Russ).
19. Hwang D. Fatty acids and immune responses – a new perspective in searching for clues to mechanisms. *Annu. Rev. Nutr.* 2000. Vol. 20. pp. 431-456. (In Russ)
20. Ni Y., Zhao L., Yu H., Ma X., Bao Y., Rajani C. et al. Circulating unsaturated fatty acids delineate the metabolic status of obese individuals. *EBioMedicine.* 2015. Vol. 2. no 10. pp. 1513-22.
21. Aldámiz-Echevarría L., Prieto J., Andrade Fe, Elorz J, Sanjurjo P, Soriano J. R. Arachidonic Acid Content in Adipose Tissue Is Associated With Insulin Resistance in Healthy Children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition.* 2007. Vol. 44. no1. pp. 77-83.
22. Grosfeld A., Zilberfarb V., Turban S., Andre J., Guerre-Millo M., Issad T. Hypoxia increases leptin expression in

reticulum stress and inflammation in human myotubes and is associated with skeletal muscle lipid storage and insulin sensitivity in vivo. *Diabetes*. 2009. Vol. 58. pp. 1757–1765.

human PAZ6 adipose cells. *Diabetologia*. 2002. Vol. 45. pp. 527–530.

23. Gennis R. Molecular structure and function [Biomembrany. Molekulyarnaya struktura i funkciya]. M.: Mir [M.: Mir]. 1997. (In Russ)

24. Heitzer T., Schlinzig T., Krohn K. et al. Endothelial dysfunction, oxidative stress, and risk of cardiovascular events in patients with coronary artery disease. *Circulation*. 2001. Vol. 104. pp. 2673–2678.

25. Titov V.N. Transport of lipoproteins of saturated and polyenoic fatty acids [Transport lipoproteidami насыщенных и полиеновых жирных кислот] *Successes of modern biology [Uspekhi sovremennoy biologii]*. 1997, 117(2), pp. 240–253 (In Russ).

26. Boldyrev A.A., Kyaviariinen E.I., Ilyukha V.A. Biomembranology [Biomembranologiya: uchebnoe posobie] Petrozavodsk: Publishing House of the Karts SC RAS [Petrozavodsk: Izd-vo Kar NTs RAN]. 2006 (In Russ).

27. Smidt K. et al. Zinc-transporter genes in human visceral and subcutaneous adipocytes: lean versus obese. *Mol. Cell. Endocrinol*. 2007. Vol. 264(1/2). pp. 68–73.

28. Peter A., Weigert C., Staiger H. et al. Individual stearoyl-coadesaturase 1 expression modulates endoplasmic reticulum stress and inflammation in human myotubes and is associated with skeletal muscle lipid storage and insulin sensitivity in vivo. *Diabetes*. 2009. Vol. 58. pp. 1757–1765.

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

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

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

Иванов Владимир Владимирович

Сибирский государственный медицинский универси-

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

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

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

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

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

Дыгай Александр Михайлович
НИИФиРМ им. Е.Д.Гольдберга Томского НИМЦ
Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, Академик-секретарь 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

Долгалев Игорь Владимирович
Сибирский государственный медицинский университет
Доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской терапии с курсом клинической фармакологии
Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2
div65@mail.ru

Панимаскина Анна Владимировна
Сибирский государственный медицинский университет
Ассистент кафедры факультетской терапии с курсом клинической фармакологии Российская Федерация, 634050, г. Томск, Московский тракт, 2
doctorpav@yandex.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

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
vas11@yandex.ru

Aleksandr M. Digai
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, Secretary of the Life Science Section of the Russian Academy of Science Medical Department, Academic Advisor 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

Igor V. Dolgalev
Siberian State Medical University
Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of department of Faculty Therapy with a course of clinical pharmacology
Russian Federation, 634050, Tomsk, Moscow tract, 2
div65@mail.ru

Anna V. Panimaskina
Siberian State Medical University
Assistant of the Department of Faculty Therapy with a course of clinical pharmacology
doctorpav@yandex.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

Таблица 1

Влияние аэробной физической нагрузки на спектр ненасыщенных жирных кислот и их соотношение в белой жировой ткани крыс разной локализации, при питании повышенной калорийности (Ме [Q1; Q3])

Жирные кислоты	Мезентериальная жировая ткань		Забрюшинная жировая ткань		Эпидидимальная жировая ткань		Подкожная жировая ткань	
	Группы животных		Группы животных		Группы животных		Группы животных	
	1	2	1	2	1	2	1	2
C16:1(7), %	0,22 [0,15; 0,26]	0,23 [0,21; 0,25]	0,21 [0,19; 0,22]	0,286 [0,24; 0,29]*	0,194 [0,188; 0,208]	0,3 [0,19; 0,39]	0,267 [0,17; 0,275]	0,24 [0,23; 0,25]
C16:1(9), %	1,14 [0,95; 1,2]	0,81 [0,71; 0,99]*	1,31 [1,28; 1,7]	1,19 [0,8; 1,59]	1,67 [1,53; 1,78]	1,47 [1,02; 1,98]	1,21 [1,17; 1,37]	1,06 [0,85; 1,21]
C18:1(9), %	36,27 [35,31; 37,02]	35,35 [35,07; 36,68]	35,3 [34,28; 36,40]	34,14 [33,86; 34,92]	33,73 [32,88; 35,05]	33,88 [32,82; 34,44]	34,17 [32,7; 36,11]	34,66 [32,27; 35,55]
C18:1(11), %	9,77 [9,6; 9,95]	9,28 [8,98; 10,38]	9,12 [8,95; 9,32]	8,75 [8,53; 8,95]*	8,85 [8,76; 9,1]	8,67 [8,39; 9,09]	8,98 [8,69; 9,14]	8,77 [8,47; 8,94]
C18:2, %	37,62 [36,58; 38,49]	37,12 [35,48; 38,15]	37,02 [35,99; 37,86]	38,85 [37,71; 39,35]*	39,29 [38,93; 39,65]	37,89 [35,96; 40,01]	38,25 [36,33; 38,88]	38,51 [38,01; 39,03]
C18:3, %	0,04 [0,03; 0,05]	0,029 [0,027; 0,038]	0,06 [0,05; 0,064]	0,039 [0,035; 0,048]*	0,07 [0,06; 0,08]	0,06 [0,04; 0,07]	0,046 [0,043; 0,054]	0,033 [0,031; 0,038]*
C20:1, %	0,14 [0,13; 0,15]	0,16 [0,14; 0,17]	0,14 [0,13; 0,16]	0,16 [0,13; 0,21]	0,14 [0,13; 0,17]	0,17 [0,16; 0,18]	0,17 [0,16; 0,18]	0,17 [0,16; 0,19]
C20:2, %	0,08 [0,07; 0,09]	0,08 [0,07; 0,09]	0,1 [0,08; 0,11]	0,12 [0,08; 0,13]	0,11 [0,08; 0,17]	0,15 [0,12; 0,16]	0,12 [0,11; 0,13]	0,11 [0,1; 0,14]
C20:3, %	0,063 [0,062; 0,065]	0,049 [0,047; 0,057]*	0,063 [0,06; 0,07]	0,06 [0,05; 0,07]	0,073 [0,07; 0,091]	0,072 [0,066; 0,122]	0,089 [0,087; 0,96]	0,07 [0,06; 0,08]*
C20:4, %	0,27 [0,23; 0,31]	0,23 [0,21; 0,24]	0,26 [0,22; 0,3]	0,22 [0,19; 0,25]	0,28 [0,23; 0,38]	0,26 [0,24; 0,29]	0,38 [0,37; 0,39]	0,33 [0,31; 0,51]
C20:5, %	0,01 [0,007; 0,012]	0,0067 [0,0050; 0,0074]*	0,009 [0,007; 0,013]	0,007 [0,006; 0,009]	0,01 [0,008; 0,019]	0,012 [0,01; 0,014]	0,013 [0,01; 0,016]	0,011 [0,0106; 0,0122]
C22:1, %	0,009 [0,008; 0,01]	0,015 [0,01; 0,022]*	0,012 [0,01; 0,03]	0,012 [0,004; 0,025]	0,011 [0,007; 0,016]	0,0093 [0,0086; 0,0123]	0,012 [0,01; 0,02]	0,014 [0,012; 0,016]
C22:6, %	0,013 [0,009; 0,025]	0,012 [0,009; 0,014]	0,02 [0,01; 0,03]	0,01 [0,008; 0,015]	0,02 [0,013; 0,043]	0,019 [0,015; 0,024]	0,019 [0,016; 0,036]	0,015 [0,013; 0,034]
C24:1, %	0,0055 [0,0032; 0,0064]	0,007 [0,005; 0,008]	0,004 [0,003; 0,01]	0,006 [0,002; 0,009]	0,0033 [0,0025; 0,0045]	0,01 [0,006; 0,043]*	0,005 [0,003; 0,051]	0,005 [0,004; 0,006]
C16:1(9)/C18:1(11), %	11,7 [9,9; 12,1]	8,1 [7,6; 10,7]*	14,5 [13,8; 18,9]	13 [9; 18]	19 [17; 20]	17 [12; 22]	14 [13; 15]	12 [10; 14]
C16:1(7)/C18:1(9), %	0,6 [0,4; 0,7]	0,65 [0,58; 0,71]	0,6 [0,55; 0,61]	0,84 [0,69; 0,86]*	0,59 [0,54; 0,62]	0,9 [0,5; 1,2]	0,77 [0,51; 0,8]	0,71 [0,66; 0,74]
C16:1(9)/C18:1(9), %	3,1 [2,7; 3,3]	2,3 [1,9; 2,8]*	3,7 [3,5; 5]	3 [2; 5]	5 [4,4; 5,4]	4 [3; 6]	3,6 [3,2; 4,1]	3,1 [2,6; 3,4]
C18:3/C20:5, %	493 [297; 653]	519 [387; 595]	679 [467; 892]	522 [425; 786]	686 [432; 823]	486 [414; 517]	386 [317; 448]	284 [271; 354]
C18:2/C20:4, %	13974 [11855; 16652]	16470 [14770; 17959]	14559 [12496; 16416]	17586 [15516; 20982]	14025 [10389; 17105]	14765 [12262; 16674]	10025 [9644; 10290]	11510 [7963; 12241]
C20:3/C20:4, %	24 [20; 28]	22 [19; 27]	26 [23; 27]	27,9 [25,9; 28,3]	27 [22; 31]	28 [27; 41]	24 [23; 25]	20 [15; 23]
C20:5/C20:4, %	3,4 [3,2; 3,8]	3,16 [2,17; 3,19]	3,6 [3,0; 4,2]	3,5 [3,1; 3,6]	3,5 [3,3; 5]	4,6 [4,2; 4,9]	3,4 [2,7; 4,2]	3,2 [2,4; 3,5]
$\omega 3$, %	0,07 [0,06; 0,08]	0,048 [0,045; 0,054]*	0,082 [0,08; 0,10]	0,059 [0,053; 0,065]*	0,093 [0,090; 0,139]	0,09 [0,07; 0,11]	0,08 [0,07; 0,11]	0,062 [0,055; 0,08]
$\omega 6$, %	38,08 [36,97; 38,88]	37,48 [35,84; 38,5]	37,46 [36,38; 38,28]	39,23 [38,11; 39,73]*	39,81 [39,45; 40,1]	38,35 [36,52; 40,47]	38,84 [36,90; 39,47]	39,15 [38,52; 39,60]
$\omega 7$, %	10,92 [10,56; 11,13]	10,05 [9,88; 11,22]	10,57 [10,32; 10,79]	9,85 [9,51; 10,44]	10,57 [10,49; 10,64]	9,96 [9,68; 10,97]	10,19 [9,91; 10,45]	9,77 [9,54; 9,99]
$\omega 9$, %	36,62 [35,68; 37,4]	35,75 [35,49; 37,08]	35,68 [34,65; 36,78]	34,61 [34,39; 35,29]	34,08 [33,26; 35,39]	34,3 [33,38; 34,95]	34,56 [33,14; 36,57]	35,09 [32,72; 35,96]
$\omega 3/\omega 6$, %	0,17 [0,16; 0,2]	0,13 [0,12; 0,14]*	0,23 [0,21; 0,27]	0,15 [0,13; 0,17]*	0,234 [0,225; 0,35]	0,23 [0,18; 0,29]	0,2 [0,19; 0,27]	0,16 [0,14; 0,2]
$\omega 7/\omega 9$, %	29,7 [29,6; 29,9]	28 [27; 31]	29,2 [28,5; 31,1]	28,1 [27,7; 29,9]	31 [30; 32]	29 [28; 33]	29 [28; 31]	28 [27; 29]
Коэффициент эффективности метаболизации (20:4 / (20:2+20:3+20:5+22:6)), %	154 [151; 171]	153 [146; 155]	141 [118; 153]	117 [108; 134]	124 [112; 155]	96 [92; 120]	160 [143; 165]	163 [161; 190]

Примечание: * — $p < 0,05$

Таблица 2

Влияние аэробной физической нагрузки на спектр насыщенных жирных кислот и их соотношение в белой жировой ткани крыс разной локализации, при питании повышенной калорийности (Ме [Q1; Q3])

Жирные кислоты	Мезентериальная жировая ткань		Забрюшинная жировая ткань		Эпидидимальная жировая ткань		Подкожная жировая ткань	
	Группы животных		Группы животных		Группы животных		Группы животных	
	1	2	1	2	1	2	1	2
C14:0,%	0,65 [0,6; 0,67]	0,63 [0,61; 0,64]	0,8 [0,77; 0,89]	0,72 [0,64; 0,83]	0,79 [0,72; 0,81]	0,85 [0,75; 0,95]	0,74 [0,71; 0,86]	0,7 [0,62; 0,8]
C16:0,%	10,79 [10,59; 11,02]	11,89 [11,22; 12,34]*	12,23 [12,1; 12,38]	11,96 [11,59; 12,57]	11,74 [10,59; 12,19]	12,51 [11,17; 14,17]	12,2 [11,90; 12,98]	11,9 [11,65; 12,57]
C18:0,%	2,65 [2,37; 2,84]	3,29 [2,86; 3,47]*	2,8 [2,43; 2,94]	2,88 [2,4; 3,47]	2,51 [2,22; 2,78]	2,94 [2,89; 3,05]*	2,93 [2,65; 3,23]	2,81 [2,71; 4,03]
C20:0,%	0,09 [0,07; 0,1]	0,106 [0,099; 0,115]*	0,08 [0,06; 0,09]	0,08 [0,06; 0,11]	0,064 [0,056; 0,071]	0,08 [0,05; 0,09]	0,076 [0,06; 0,078]	0,084 [0,079; 0,102]*
C22:0,%	0,036 [0,024; 0,039]	0,041 [0,038; 0,043]*	0,028 [0,02; 0,029]	0,03 [0,02; 0,042]	0,0207 [0,019; 0,0218]	0,03 [0,02; 0,04]*	0,026 [0,021; 0,028]	0,032 [0,029; 0,034]*
C24:0,%	0,015 [0,011; 0,017]	0,019 [0,015; 0,021]	0,013 [0,011; 0,014]	0,013 [0,01; 0,018]	0,0122 [0,012; 0,013]	0,016 [0,013; 0,019]*	0,013 [0,011; 0,016]	0,018 [0,016; 0,022]*
Насыщенные жирные кислоты,%	14,08 [13,98; 14,52]	15,81 [15,03; 16,60]*	15,83 [15,72; 16,13]	15,87 [15,04; 16,53]	15,14 [13,68; 15,83]	16,38 [15,01; 18,27]	15,83 [15,58; 17,13]	15,55 [15,14; 17,53]
C14:0/C16:0,%	6 [5,5; 6,4]	5,3 [5,1; 5,6]	7 [6,3; 7,2]	6,1 [5,4; 6,7]	6,7 [6,6; 6,9]	6,72 [6,68; 6,81]	6,1 [5,9; 6,6]	5,8 [5,3; 6,4]
C16:0/C18:0,%	400 [385; 459]	357 [353; 402]	433 [419; 512]	427 [348; 497]	460 [436; 488]	426 [380; 472]	409 [401; 461]	422 [321; 432]
C16:0/C16:1(9),%	929 [906; 1157]	1480 [1157; 1740]*	929 [737; 952]	1114 [755; 15,13]	692 [679; 706]	901 [716; 1096]*	1022 [907; 1058]	1113 [985; 1493]
C18:0/C18:1(9),%	7 [6; 8]	9 [8; 10]*	7,7 [7; 8,3]	8 [7; 10]	7,5 [6,3; 8,5]	8,7 [8,4; 9,3]	8,2 [7,8; 9,7]	8,1 [7,7; 12,6]
C16:0/C18:1(9),%	30 [29; 31]	33 [32; 35]*	35 [33; 36]	35 [34; 36]	34,8 [30,5; 36,9]	37 [33; 43]	35 [33; 40]	34 [33; 39]
C15:0,%	0,166 [0,157; 0,172]	0,18 [0,17; 0,2]	0,2 [0,18; 0,23]	0,22 [0,19; 0,23]	0,22 [0,19; 0,25]	0,27 [0,26; 0,31]	0,2 [0,19; 0,24]	0,215 [0,188; 0,225]
C17:0,%	0,12 [0,11; 0,13]	0,15 [0,13; 0,16]*	0,132 [0,13; 0,15]	0,16 [0,14; 0,19]	0,14 [0,13; 0,17]	0,19 [0,18; 0,2]*	0,142 [0,138; 0,17]	0,15 [0,14; 0,2]
C21:0,%	0,036 [0,031; 0,037]	0,038 [0,034; 0,043]	0,035 [0,03; 0,04]	0,03 [0,022; 0,032]	0,04 [0,03; 0,06]	0,029 [0,023; 0,031]*	0,029 [0,027; 0,033]	0,036 [0,034; 0,039]*
C23:0,%	0,0029 [0,0028; 0,0039]	0,004 [0,0036; 0,0043]	0,0029 [0,0026; 0,003]	0,003 [0,002; 0,004]	0,003 [0,0019; 0,0033]	0,004 [0,003; 0,005]*	0,0027 [0,002; 0,0034]	0,0035 [0,0034; 0,0052]
Насыщенные жирные кислоты нечетные,%	0,32 [0,31; 0,34]	0,38 [0,34; 0,39]*	0,37 [0,36; 0,42]	0,4 [0,35; 0,46]	0,4 [0,36; 0,48]	0,49 [0,48; 0,54]	0,38 [0,36; 0,44]	0,41 [0,37; 0,46]
Насыщенные жирные кислоты четные/ Насыщенные жирные кислоты нечетные, %	4356 [4305; 4566]	4316 [3973; 4493]	4283 [3857; 4437]	3781 [3552; 4485]	3719 [3300; 3910]	3227 [3144; 3501]	4199 [3902; 4378]	3774 [3727; 4143]

Примечание: * — p<0,05

Таблица 3

Влияние аэробной физической нагрузки на комплексы жирных кислот и их соотношение в белой жировой ткани крыс разной локализации, при питании повышенной калорийности (Ме [Q1; Q3])

Комплекс жирных кислот	Мезентериальная жировая ткань		Забрюшинная жировая ткань		Эпидидимальная жировая ткань		Подкожная жировая ткань	
	Группы животных		Группы животных		Группы животных		Группы животных	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Сфингофосфолипиды (C24:1+C24:0), %	0,021 [0,015; 0,023]	0,027 [0,02; 0,028]	0,017 [0,014; 0,019]	0,02 [0,012; 0,027]	0,0154 [0,0153; 0,0165]	0,03 [0,02; 0,06]*	0,018 [0,014; 0,021]	0,023 [0,019; 0,029]
Гликофосфолипиды (C16:0+C18:1(9)+C18:2+C18:3), %	84,71 [84,34; 84,77]	84,55 [83,64; 85,21]	84,56 [84,35; 84,82]	85,08 [84,74; 85,25]*	84,82 [84,18; 85,25]	84,6 [83,29; 85,13]	84,59 [84,26; 84,83]	85,13 [83,75; 85,37]
Субстраты (C18:3+C18:2+C20:2+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	38,14 [37,04; 38,96]	37,53 [35,89; 38,55]	37,55 [36,47; 38,37]	39,29 [38,18; 39,78]*	39,93 [39,55; 40,19]	38,44 [36,62; 40,54]	38,94 [36,97; 39,56]	39,21 [38,58; 39,68]
Субстраты (МНЖК+НасЖК), %	61,86 [61,04; 62,96]	62,47 [61,45; 64,11]	62,45 [61,63; 63,53]	60,71 [60,22; 61,82]*	60,07 [59,81; 60,45]	61,56 [59,46; 63,38]	61,06 [60,44; 63,03]	60,79 [60,32; 61,42]
ПНЖК (C18:3+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	0,4 [0,36; 0,45]	0,328 [0,316; 0,336]*	0,4 [0,37; 0,47]	0,34 [0,29; 0,38]	0,45 [0,39; 0,61]	0,42 [0,38; 0,52]	0,54 [0,53; 0,59]	0,47 [0,43; 0,66]
ПНЖК/C18:1(9), %	0,83 [0,75; 0,97]	0,7 [0,67; 0,73]*	0,87 [0,8; 1]	0,8 [0,6; 0,9]	1 [0,9; 1,4]	0,94 [0,86; 1,16]	1,2 [1,13; 1,37]	1,05 [0,95; 1,57]
Витамин F (C18:2+C18:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	38 [36,9; 38,8]	37,39 [35,76; 38,42]	37,37 [36,33; 38,21]	39,13 [37,99; 39,62]*	39,72 [39,33; 40,04]	38,23 [36,36; 40,32]	38,73 [36,77; 39,35]	39,02 [38,4; 39,48]
Витамин F / C18:1(9), %	105 [100; 110]	106 [98; 109]	106 [100; 111]	115 [109; 116]*	118 [114; 121]	115 [107; 119]	114 [102; 120]	113 [108; 122]
МНЖК, %	47,56 [46,24; 48,52]	46,52 [45,4; 47,55]	46,06 [45,41; 47,32]	44,71 [43,9; 45,48]*	44,61 [43,83; 46,01]	44,18 [43,98; 45,08]	44,83 [43,16; 46,83]	44,97 [42,33; 45,77]
ПНЖК/ МНЖК, %	0,83 [0,75; 0,97]	0,7 [0,67; 0,73]*	0,87 [0,78; 1,03]	0,8 [0,6; 0,9]	0,1 [0,9; 1,4]	0,94 [0,86; 1,16]	1,2 [1,13; 1,37]	1,05 [0,95; 1,57]
Витамин F / MUFA МНЖК, %	80 [76; 84]	81 [75; 84]	81 [77; 84]	88 [84; 90]*	89 [86; 91]	87 [81; 92]	87 [79; 91]	87 [84; 93]
НЖК, %	85,6 [85,14; 85,71]	83,83 [83,01; 84,6]*	83,81 [83,46; 83,9]	83,74 [83,03; 84,57]	84,46 [83,7; 85,96]	83,13 [81,19; 84,52]	83,79 [82,44; 84,06]	84,06 [82,01; 84,47]
НасЖК, %	14,4 [14,29; 14,86]	16,17 [15,4; 16,99]*	16,19 [16,1; 16,54]	16,26 [15,43; 16,97]	15,54 [14,04; 16,3]	16,87 [15,48; 18,81]	16,21 [15,94; 17,56]	15,94 [15,53; 17,99]
НасЖК/МНЖК, %	30,1 [29,7; 32]	35 [33; 37]*	35 [34; 36]	36 [34; 38]	35 [31; 37]	38 [35; 42]	36 [35; 41]	35 [34; 43]
Индекс ненасыщенности ((НЖК/НасЖК)*100), %	594 [573; 600]	520 [489; 549]*	517 [504; 521]	515 [489; 548]	544 [514; 615]	495 [432; 546]	517 [470; 527]	528 [458; 544]

Примечание: * — $p < 0,05$

Table 1

The effect of aerobic exercise on the spectrum of unsaturated fatty acids and their ratio in the white adipose tissue of rats of different localization, with a high calorie diet (Me [Q1; Q3])

Fatty acids	Mezentarial adipose tissue		Retroperitoneal adipose tissue		Epididymal adipose tissue		Subcutaneous adipose tissue	
	Animal groups		Animal groups		Animal groups		Animal groups	
	1	2	1	2	1	2	1	2
C16:1(7), %	0.22 [0.15; 0.26]	0.23 [0.21; 0.25]	0.21 [0.19; 0.22]	0.286 [0.24; 0.29]*	0.194 [0.188; 0.208]	0.3 [0.19; 0.39]	0.267 [0.17; 0.275]	0.24 [0.23; 0.25]
C16:1(9), %	1.14 [0.95; 1.2]	0.81 [0.71; 0.99]*	1.31 [1.28; 1.7]	1.19 [0.8; 1.59]	1.67 [1.53; 1.78]	1.47 [1.02; 1.98]	1.21 [1.17; 1.37]	1.06 [0.85; 1.21]
C18:1(9), %	36.27 [35.31; 37.02]	35.35 [35.07; 36.68]	35.3 [34.28; 36.40]	34.14 [33.86; 34.92]	33.73 [32.88; 35.05]	33.88 [32.82; 34.44]	34.17 [32.7; 36.11]	34.66 [32.27; 35.55]
C18:1(11), %	9.77 [9.6; 9.95]	9.28 [8.98; 10.38]	9.12 [8.95; 9.32]	8.75 [8.53; 8.95]*	8.85 [8.76; 9.1]	8.67 [8.39; 9.09]	8.98 [8.69; 9.14]	8.77 [8.47; 8.94]
C18:2, %	37.62 [36.58; 38.49]	37.12 [35.48; 38.15]	37.02 [35.99; 37.86]	38.85 [37.71; 39.35]*	39.29 [38.93; 39.65]	37.89 [35.96; 40.01]	38.25 [36.33; 38.88]	38.51 [38.01; 39.03]
C18:3, %	0.04 [0.03; 0.05]	0.029 [0.027; 0.038]	0.06 [0.05; 0.064]	0.039 [0.035; 0.048]*	0.07 [0.06; 0.08]	0.06 [0.04; 0.07]	0.046 [0.043; 0.054]	0.033 [0.031; 0.038]*
C20:1, %	0.14 [0.13; 0.15]	0.16 [0.14; 0.17]	0.14 [0.13; 0.16]	0.16 [0.13; 0.21]	0.14 [0.13; 0.17]	0.17 [0.16; 0.18]	0.17 [0.16; 0.18]	0.17 [0.16; 0.19]
C20:2, %	0.08 [0.07; 0.09]	0.08 [0.07; 0.09]	0.1 [0.08; 0.11]	0.12 [0.08; 0.13]	0.11 [0.08; 0.17]	0.15 [0.12; 0.16]	0.12 [0.11; 0.13]	0.11 [0.1; 0.14]
C20:3, %	0.063 [0.062; 0.065]	0.049 [0.047; 0.057]*	0.063 [0.06; 0.07]	0.06 [0.05; 0.07]	0.073 [0.07; 0.091]	0.072 [0.066; 0.122]	0.089 [0.087; 0.96]	0.07 [0.06; 0.08]*
C20:4, %	0.27 [0.23; 0.31]	0.23 [0.21; 0.24]	0.26 [0.22; 0.3]	0.22 [0.19; 0.25]	0.28 [0.23; 0.38]	0.26 [0.24; 0.29]	0.38 [0.37; 0.39]	0.33 [0.31; 0.51]
C20:5, %	0.01 [0.007; 0.012]	0.0067 [0.0050; 0.0074]*	0.009 [0.007; 0.013]	0.007 [0.006; 0.009]	0.01 [0.008; 0.019]	0.012 [0.01; 0.014]	0.013 [0.01; 0.016]	0.011 [0.0106; 0.0122]
C22:1, %	0.009 [0.008; 0.01]	0.015 [0.01; 0.022]*	0.012 [0.01; 0.03]	0.012 [0.004; 0.025]	0.011 [0.007; 0.016]	0.0093 [0.0086; 0.0123]	0.012 [0.01; 0.02]	0.014 [0.012; 0.016]
C22:6, %	0.013 [0.009; 0.025]	0.012 [0.009; 0.014]	0.02 [0.01; 0.03]	0.01 [0.008; 0.015]	0.02 [0.013; 0.043]	0.019 [0.015; 0.024]	0.019 [0.016; 0.036]	0.015 [0.013; 0.034]
C24:1, %	0.0055 [0.0032; 0.0064]	0.007 [0.005; 0.008]	0.004 [0.003; 0.01]	0.006 [0.002; 0.009]	0.0033 [0.0025; 0.0045]	0.01 [0.006; 0.043]*	0.005 [0.003; 0.051]	0.005 [0.004; 0.006]
C16:1(9)/C18:1(11), %	11.7 [9.9; 12.1]	8.1 [7.6; 10.7]*	14.5 [13.8; 18.9]	13 [9; 18]	19 [17; 20]	17 [12; 22]	14 [13; 15]	12 [10; 14]
C16:1(7)/C18:1(9), %	0.6 [0.4; 0.7]	0.65 [0.58; 0.71]	0.6 [0.55; 0.61]	0.84 [0.69; 0.86]*	0.59 [0.54; 0.62]	0.9 [0.5; 1.2]	0.77 [0.51; 0.8]	0.71 [0.66; 0.74]
C16:1(9)/C18:1(9), %	3.1 [2.7; 3.3]	2.3 [1.9; 2.8]*	3.7 [3.5; 5]	3 [2; 5]	5 [4.4; 5.4]	4 [3; 6]	3.6 [3.2; 4.1]	3.1 [2.6; 3.4]
C18:3/C20:5, %	493 [297; 653]	519 [387; 595]	679 [467; 892]	522 [425; 786]	686 [432; 823]	486 [414; 517]	386 [317; 448]	284 [271; 354]
C18:2/C20:4, %	13974 [11855; 16652]	16470 [14770; 17959]	14559 [12496; 16416]	17586 [15516; 20982]	14025 [10389; 17105]	14765 [12262; 16674]	10025 [9644; 10290]	11510 [7963; 12241]
C20:3/C20:4, %	24 [20; 28]	22 [19; 27]	26 [23; 27]	27.9 [25.9; 28.3]	27 [22; 31]	28 [27; 41]	24 [23; 25]	20 [15; 23]
C20:5/C20:4, %	3.4 [3.2; 3.8]	3.16 [2.17; 3.19]	3.6 [3.0; 4.2]	3.5 [3.1; 3.6]	3.5 [3.3; 5]	4.6 [4.2; 4.9]	3.4 [2.7; 4.2]	3.2 [2.4; 3.5]
ω 3, %	0.07 [0.06; 0.08]	0.048 [0.045; 0.054]*	0.082 [0.08; 0.10]	0.059 [0.053; 0.065]*	0.093 [0.090; 0.139]	0.09 [0.07; 0.11]	0.08 [0.07; 0.11]	0.062 [0.055; 0.08]
ω 6, %	38.08 [36.97; 38.88]	37.48 [35.84; 38.5]	37.46 [36.38; 38.28]	39.23 [38.11; 39.73]*	39.81 [39.45; 40.1]	38.35 [36.52; 40.47]	38.84 [36.90; 39.47]	39.15 [38.52; 39.60]
ω 7, %	10.92 [10.56; 11.13]	10.05 [9.88; 11.22]	10.57 [10.32; 10.79]	9.85 [9.51; 10.44]	10.57 [10.49; 10.64]	9.96 [9.68; 10.97]	10.19 [9.91; 10.45]	9.77 [9.54; 9.99]
ω 9, %	36.62 [35.68; 37.4]	35.75 [35.49; 37.08]	35.68 [34.65; 36.78]	34.61 [34.39; 35.29]	34.08 [33.26; 35.39]	34.3 [33.38; 34.95]	34.56 [33.14; 36.57]	35.09 [32.72; 35.96]
ω 3/ ω 6, %	0.17 [0.16; 0.2]	0.13 [0.12; 0.14]*	0.23 [0.21; 0.27]	0.15 [0.13; 0.17]*	0.234 [0.225; 0.35]	0.23 [0.18; 0.29]	0.2 [0.19; 0.27]	0.16 [0.14; 0.2]
ω 7/ ω 9, %	29.7 [29.6; 29.9]	28 [27; 31]	29.2 [28.5; 31.1]	28.1 [27.7; 29.9]	31 [30; 32]	29 [28; 33]	29 [28; 31]	28 [27; 29]
Metabolic efficiency ratio, (20:4 / 20:2+20:3+20:5+22:6), %	154 [151; 171]	153 [146; 155]	141 [118; 153]	117 [108; 134]	124 [112; 155]	96 [92; 120]	160 [143; 165]	163 [161; 190]

Note: * – $p < 0.05$

Table 2

The effect of aerobic exercise on the spectrum of saturated fatty acids and their ratio in the white adipose tissue of rats of different localization, with a high calorie diet (Me [Q1; Q3])

Fatty acid	Mezentarial adipose tissue		Retroperitoneal adipose tissue		Epididymal adipose tissue		Subcutaneous adipose tissue	
	Animal groups		Animal groups		Animal groups		Animal groups	
	1	2	1	2	1	2	1	2
C14:0,%	0.65 [0.6; 0.67]	0.63 [0.61; 0.64]	0.8 [0.77; 0.89]	0.72 [0.64; 0.83]	0.79 [0.72; 0.81]	0.85 [0.75; 0.95]	0.74 [0.71; 0.86]	0.7 [0.62; 0.8]
C16:0,%	10.79 [10.59; 11.02]	11.89 [11.22; 12.34]*	12.23 [12.1; 12.38]	11.96 [11.59; 12.57]	11.74 [10.59; 12.19]	12.51 [11.17; 14.17]	12.2 [11.90; 12.98]	11.9 [11.65; 12.57]
C18:0,%	2.65 [2.37; 2.84]	3.29 [2.86; 3.47]*	2.8 [2.43; 2.94]	2.88 [2.4; 3.47]	2.51 [2.22; 2.78]	2.94 [2.89; 3.05]*	2.93 [2.65; 3.23]	2.81 [2.71; 4.03]
C20:0,%	0.09 [0.07; 0.1]	0.106 [0.099; 0.115]*	0.08 [0.06; 0.09]	0.08 [0.06; 0.11]	0.064 [0.056; 0.071]	0.08 [0.05; 0.09]	0.076 [0.06; 0.078]	0.084 [0.079; 0.102]*
C22:0,%	0.036 [0.024; 0.039]	0.041 [0.038; 0.043]*	0.028 [0.02; 0.029]	0.03 [0.02; 0.042]	0.0207 [0.019; 0.0218]	0.03 [0.02; 0.04]*	0.026 [0.021; 0.028]	0.032 [0.029; 0.034]*
C24:0,%	0.015 [0.011; 0.017]	0.019 [0.015; 0.021]	0.013 [0.011; 0.014]	0.013 [0.01; 0.018]	0.0122 [0.012; 0.013]	0.016 [0.013; 0.019]*	0.013 [0.011; 0.016]	0.018 [0.016; 0.022]*
Even saturated fatty acids,%	14.08 [13.98; 14.52]	15.81 [15.03; 16.60]*	15.83 [15.72; 16.13]	15.87 [15.04; 16.53]	15.14 [13.68; 15.83]	16.38 [15.01; 18.27]	15.83 [15.58; 17.13]	15.55 [15.14; 17.53]
C14:0/C16:0,%	6 [5.5; 6.4]	5.3 [5.1; 5.6]	7 [6.3; 7.2]	6.1 [5.4; 6.7]	6.7 [6.6; 6.9]	6.72 [6.68; 6.81]	6.1 [5.9; 6.6]	5.8 [5.3; 6.4]
C16:0/C18:0,%	400 [385; 459]	357 [353; 402]	433 [419; 512]	427 [348; 497]	460 [436; 488]	426 [380; 472]	409 [401; 461]	422 [321; 432]
C16:0/C16:1(9),%	929 [906; 1157]	1480 [1157; 1740]*	929 [737; 952]	1114 [755; 15.13]	692 [679; 706]	901 [716; 1096]*	1022 [907; 1058]	1113 [985; 1493]
C18:0/C18:1(9),%	7 [6; 8]	9 [8; 10]*	7.7 [7; 8.3]	8 [7; 10]	7.5 [6.3; 8.5]	8.7 [8.4; 9.3]	8.2 [7.8; 9.7]	8.1 [7.7; 12.6]
C16:0/C18:1(9),%	30 [29; 31]	33 [32; 35]*	35 [33; 36]	35 [34; 36]	34.8 [30.5; 36.9]	37 [33; 43]	35 [33; 40]	34 [33; 39]
C15:0,%	0.166 [0.157; 0.172]	0.18 [0.17; 0.2]	0.2 [0.18; 0.23]	0.22 [0.19; 0.23]	0.22 [0.19; 0.25]	0.27 [0.26; 0.31]	0.2 [0.19; 0.24]	0.215 [0.188; 0.225]
C17:0,%	0.12 [0.11; 0.13]	0.15 [0.13; 0.16]*	0.132 [0.13; 0.15]	0.16 [0.14; 0.19]	0.14 [0.13; 0.17]	0.19 [0.18; 0.2]*	0.142 [0.138; 0.17]	0.15 [0.14; 0.2]
C21:0,%	0.036 [0.031; 0.037]	0.038 [0.034; 0.043]	0.035 [0.03; 0.04]	0.03 [0.022; 0.032]	0.04 [0.03; 0.06]	0.029 [0.023; 0.031]*	0.029 [0.027; 0.033]	0.036 [0.034; 0.039]*
C23:0,%	0.0029 [0.0028; 0.0039]	0.004 [0.0036; 0.0043]	0.0029 [0.0026; 0.003]	0.003 [0.002; 0.004]	0.003 [0.0019; 0.0033]	0.004 [0.003; 0.005]*	0.0027 [0.002; 0.0034]	0.0035 [0.0034; 0.0052]
Odd saturated fatty acids,%	0.32 [0.31; 0.34]	0.38 [0.34; 0.39]*	0.37 [0.36; 0.42]	0.4 [0.35; 0.46]	0.4 [0.36; 0.48]	0.49 [0.48; 0.54]	0.38 [0.36; 0.44]	0.41 [0.37; 0.46]
Even saturated fatty acids/ Odd saturated fatty acids,%	4356 [4305; 4566]	4316 [3973; 4493]	4283 [3857; 4437]	3781 [3552; 4485]	3719 [3300; 3910]	3227 [3144; 3501]	4199 [3902; 4378]	3774 [3727; 4143]

Note: * – p<0.05

Table 3

The effect of aerobic exercise on the complexes of fatty acids and their ratio in the white adipose tissue of rats of different localization, consuming a high calorie diet (Me [Q1; Q3])

Fatty acid complex	Mezentarial adipose tissue		Retroperitoneal adipose tissue		Epididymal adipose tissue		Subcutaneous adipose tissue	
	Animal groups		Animal groups		Animal groups		Animal groups	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Sphingophospholipids (C24:1+C24:0), %	0.021 [0.015; 0.023]	0.027 [0.02; 0.028]	0.017 [0.014; 0.019]	0.02 [0.012; 0.027]	0.0154 [0.0153; 0.0165]	0.03 [0.02; 0.06]*	0.018 [0.014; 0.021]	0.023 [0.019; 0.029]
Glycophospholipids (C16:0+C18:1(9)+C18:2+C18:3), %	84.71 [84.34; 84.77]	84.55 [83.64; 85.21]	84.56 [84.35; 84.82]	85.08 [84.74; 85.25]*	84.82 [84.18; 85.25]	84.6 [83.29; 85.13]	84.59 [84.26; 84.83]	85.13 [83.75; 85.37]
Substrates of membranes (C18:3+C18:2+C20:2+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	38.14 [37.04; 38.96]	37.53 [35.89; 38.55]	37.55 [36.47; 38.37]	39.29 [38.18; 39.78]*	39.93 [39.55; 40.19]	38.44 [36.62; 40.54]	38.94 [36.97; 39.56]	39.21 [38.58; 39.68]
Substrates of energy (MUFA/SFA), %	61.86 [61.04; 62.96]	62.47 [61.45; 64.11]	62.45 [61.63; 63.53]	60.71 [60.22; 61.82]*	60.07 [59.81; 60.45]	61.56 [59.46; 63.38]	61.06 [60.44; 63.03]	60.79 [60.32; 61.42]
PUFA (C18:3+C20:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	0.4 [0.36; 0.45]	0.328 [0.316; 0.336]*	0.4 [0.37; 0.47]	0.34 [0.29; 0.38]	0.45 [0.39; 0.61]	0.42 [0.38; 0.52]	0.54 [0.53; 0.59]	0.47 [0.43; 0.66]
PUFA/C18:1(9), %	0.83 [0.75; 0.97]	0.7 [0.67; 0.73]*	0.87 [0.8; 1]	0.8 [0.6; 0.9]	1 [0.9; 1.4]	0.94 [0.86; 1.16]	1.2 [1.13; 1.37]	1.05 [0.95; 1.57]
Vitamin F (C18:2+C18:3+C20:4+C20:5+C22:6), %	38 [36.9; 38.8]	37.39 [35.76; 38.42]	37.37 [36.33; 38.21]	39.13 [37.99; 39.62]*	39.72 [39.33; 40.04]	38.23 [36.36; 40.32]	38.73 [36.77; 39.35]	39.02 [38.4; 39.48]
Vitamin F/ C18:1(9), %	105 [100; 110]	106 [98; 109]	106 [100; 111]	115 [109; 116]*	118 [114; 121]	115 [107; 119]	114 [102; 120]	113 [108; 122]
MUFA, %	47.56 [46.24; 48.52]	46.52 [45.4; 47.55]	46.06 [45.41; 47.32]	44.71 [43.9; 45.48]*	44.61 [43.83; 46.01]	44.18 [43.98; 45.08]	44.83 [43.16; 46.83]	44.97 [42.33; 45.77]
PUFA/ MUFA, %	0.83 [0.75; 0.97]	0.7 [0.67; 0.73]*	0.87 [0.78; 1.03]	0.8 [0.6; 0.9]	0.1 [0.9; 1.4]	0.94 [0.86; 1.16]	1.2 [1.13; 1.37]	1.05 [0.95; 1.57]
Vitamin F/ MUFA, %	80 [76; 84]	81 [75; 84]	81 [77; 84]	88 [84; 90]*	89 [86; 91]	87 [81; 92]	87 [79; 91]	87 [84; 93]
UFA, %	85.6 [85.14; 85.71]	83.83 [83.01; 84.6]*	83.81 [83.46; 83.9]	83.74 [83.03; 84.57]	84.46 [83.7; 85.96]	83.13 [81.19; 84.52]	83.79 [82.44; 84.06]	84.06 [82.01; 84.47]
SFA, %	14.4 [14.29; 14.86]	16.17 [15.4; 16.99]*	16.19 [16.1; 16.54]	16.26 [15.43; 16.97]	15.54 [14.04; 16.3]	16.87 [15.48; 18.81]	16.21 [15.94; 17.56]	15.94 [15.53; 17.99]
SFA/ MUFA, %	30.1 [29.7; 32]	35 [33; 37]*	35 [34; 36]	36 [34; 38]	35 [31; 37]	38 [35; 42]	36 [35; 41]	35 [34; 43]
Unsaturation index ((UFA / SFA)* 100), %	594 [573; 600]	520 [489; 549]*	517 [504; 521]	515 [489; 548]	544 [514; 615]	495 [432; 546]	517 [470; 527]	528 [458; 544]

Note: * – $p < 0.05$;

Explanation

Saturated fatty acids/ SFA

Unsaturated fatty acids / UFA

Polyunsaturated fatty acids / PUFA

Monounsaturated fatty acids / MUFA