

УДК/UDC: 616.153.915:57.084.1:641.56

DOI 10.21323/2618-9771-2018-1-4-4-9

Оригинальная научная статья

АНАЛИЗ ЖИРНОКИСЛОТНОГО СОСТАВА СЫВОРОТКИ КРОВИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС С МОДЕЛЮ ГИПЕРЛИПИДЕМИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА

Чернуха И.М., Котенкова Е.А.*

Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

сердца, аорты, гиперлипидемия, крысы, жирнокислотный состав, индекс атерогенности

Особое место в интенсивно разрастающемся ассортименте пищевой продукции занимают продукты специализированного и функционального назначения, в том числе для отдельных категорий граждан. Помимо подтверждения их биокорректирующих свойств важна их сбалансированность по белкам, жирам и углеводам, наличие эссенциальных нутриентов. Разработанные консервы фаршевые на основе сердец и аорт свиней характеризовались высоким содержанием белка ($17,53 \pm 0,95\%$), при достаточно низком содержании жира ($3,82 \pm 0,13\%$), индекс атерогенности составил всего 0,43. В эксперименте *in vivo* было показано, что внесение консервов фаршевых в течение 42 суток в рацион крыс с моделью алиментарной гиперлипидемии способствовало снижению относительного содержания насыщенных жирных кислот на 21,1% ($P < 0,05$), преимущественно за счет уменьшения содержания пальмитиновой жирной кислоты на 42,0% ($P < 0,05$). Мононенасыщенные жирные кислоты также были снижены на 26,9% ($P < 0,05$), полиненасыщенные жирные кислоты, напротив, увеличилось 79,6% ($P < 0,05$) по сравнению с контролем. Отмеченные модификации жирнокислотного состава сыворотки крови животных опытной группы привели к снижению индекса атерогенности на 43,3% ($P < 0,05$). Выявленная положительная динамика восстановления липидного обмена у крыс с гиперлипидемией позволяет рекомендовать разработанный продукт в качестве компонента диетотерапии, сопутствующей к основному лечению, для лиц, состоящих в группе риска развития сердечно-сосудистых заболеваний, в частности, за счет выявленных дислипидемий.

Original scientific paper

INFLUENCE OF FUNCTIONAL FOOD PRODUCT ON SERUM FATTY ACID COMPOSITION IN HYPERLIPIDEMIC RATS

Irina M. Chernukha, Elena A. Kotenkova*

V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

heart, aorta, hyperlipidemia, rats, fatty acid composition, atherogenic index

A special area in the rapidly growing range of food products is occupied by specialized and functional products, especially for certain categories of citizens. In addition to confirming their biocorrective properties, it's necessary to balance protein, fat and carbohydrates contents as well as the availability of essential nutrients. The developed meat product based on porcine hearts and aorta was characterized by a high protein content ($17.53 \pm 0.95\%$), with a low fat content ($3.82 \pm 0.13\%$), the atherogenic index was 0.43. According to *in vivo* study results, it was shown that the introduction of developed product during 42 days into the diet of hyperlipidemic rats lead to a decrease in the relative content of saturated fatty acids by 21.1% ($P < 0.05$), mainly due to palmitic fatty acid reduction by 42.0% ($P < 0.05$). Monounsaturated fatty acids were also reduced by 26.9% ($P < 0.05$), polyunsaturated fatty acids, on the contrary, increased by 79.6% ($P < 0.05$) compared with the control. The observed modifications of serum fatty acid composition resulted in the reduction of atherogenic index by 43.3% ($P < 0.05$). The revealed positive dynamics of lipid metabolism recovery in hyperlipidemic rats makes it possible to recommend the developed product as a component of diet therapy, concomitant to the main treatment, for persons with risk of cardiovascular diseases, in particular, due to dyslipidemias.

1. Введение

Прогрессивные технологии интенсивно внедряются в пищевую отрасль, среди которых особое место занимают направления эффективной переработки сельскохозяйственной продукции и создание безопасных и качественных продуктов питания, в том числе продуктов специализированного и функционального назначения. В результате многочисленных исследований сегодня используют такие подходы, как модификация рецептур за счет дополнительного внесения биологически активных ингредиентов растительного и животного происхождения, а также технологии, предусматривающие сохранение или накопление биоактивных пептидов, нативно содержащихся в сырье или образующимся в процессе обработки [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. Особую актуаль-

ность приобретает изучение вторичных продуктов убоя как источников активных биологических последовательностей, способных нормализовать соответствующие метаболические нарушения, и разработка на их основе технологии специализированных и функциональных продуктов.

При разработке продуктов функционального и специализированного назначения, помимо обоснования их биокорректирующих свойств, чрезвычайно важным является оценка адекватности их состава в соответствии с медико-биологическими рекомендациями [11,12]. Так, продукты, предназначенные для профилактики и терапии сердечно-сосудистых заболеваний, обязаны содержать 10–15% белка, не более 10% жира, из которого не более 2% холестерина, сбалансированный жирнокислотный состав, при этом доля

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чернуха И.М., Котенкова Е.А. Анализ жирнокислотного состава сыворотки крови лабораторных крыс с моделью гиперлипидемии при применении функционального пищевого продукта. *Пищевые системы*. 2018; 1(4): 4–9. DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-4-4-9

FOR CITATION: Chernukha I.M., Kotenkova E.A.. Influence of functional food product on serum fatty acid composition in hyperlipidemic rats *Food systems*. 2018; 1(4): 4–9. (In Russ.). DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-4-4-9

насыщенных жирных кислот (НЖК) от общей калорийности рациона не должна превышать 10%, доля мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) — 15%, доля полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) должна составлять от 7 до 9% [12,13], т.е. НЖК/МНЖК/ПНЖК (1:1:1) существенно повышает терапевтическую эффективность проводимого комплексного лечения пациентов [14].

В многочисленных исследованиях была показана зависимость риска развития гиперлипидемии от избыточного потребления продуктов с высоким содержанием насыщенных ЖК, транс-ЖК и холестерина, что приводит к увеличению атерогенных фракций липопротеинов (ЛП), циркулирующих в крови и подвергающихся окислению, которые затем способствуют развитию атеросклероза. Поэтому коррекция питания может существенно снизить риск развития дислипидемий, скорректировать состав циркулирующих в крови жиров в составе ЛП и, как следствие, снизить риск развития сердечно-сосудистых заболеваний.

В настоящем исследовании рассмотрено влияние длительного потребления разработанного продукта на ЖК состав сыворотки крови, состав ЛП крови и изменения индекса атерогенности (ИА), исходя из соотношения ЛП и ЖК, определенных в сыворотке крови крыс с моделью алиментарной гиперлипидемии.

2. Материалы и методы

Объектом исследования являлись консервы фаршевые, выработанные на ЗАО «Йошкар-Олинский мясокомбинат» (рецептурный состав: сердца свиней — 64,4%, аорты свиней — 26,0%, крахмал — 3,0%, поваренная соль — 0,4%, вода до 100%). Технология производства включала следующие стадии: измельчение сердец на волчке (размер частиц 2–3 мм), выдерживание полученного фарша в посоле (12 ч); измельчение аорт на волчке (размер частиц 2–3 мм), их гомогенизация на куттере (скорость ножевого вала 3000 об/мин, 6–8 мин); далее фарш из сердец с соком количественно переносили в куттер и повторно гомогенизировали с фаршем из аорт (3000 об/мин, 3–4 мин), добавляя крахмал, соль и воду. Готовый фарш фасовали в банки из ламистера и стерилизовали при (115±2)°С, давлении (0,23±0,02) МПа в течение 40 мин.

Исследование химического состава консервов проводили в соответствии со стандартными методиками.

Для оценки эффективности консервов фаршевых на 20 крысах-самцах стока Wistar массой 350±20 г, произвольно разделенных на 2 группы, моделировали экспериментальную гиперлипидемию [15], по окончании моделирования животных 2 группы (контроль, n=10) переводили на общевиварный рацион (ОВР), 3 группы — опыт (n=10), получали фаршевые консервы (8 г/голову) в составе ОВР. 1 группа состояла из интактных крыс (n=10), содержащихся при сходных условиях. Эксперимент длился на протяжении 42 суток. По истечении эксперимента животных усыпляли в камере для эвтаназии (VETtech, Великобритания), проводили забор крови для биохимических исследований и определения жирнокислотного состава сыворотки крови.

Содержание общего холестерина (ХС), холестерина липопротеинов высокой (ХС ЛПВП) и низкой (ХС ЛПНП) плотности, триглицеридов (ТГ) определяли на автоматическом анализаторе BioChem FC-360 (НТИ, США) в соответствии с методиками, приложенными к реактивам (НТИ, США). Индекс атерогенности (ИАхс) рассчитывали по формуле: ИАхс = (ХС – ХС ЛПВП) / ХС ЛПВП.

Выделение липидов из сыворотки крови экспериментальных животных и разработанного продукта осуществляли экстракцией хлороформ/метанолом по методу Фолча.

Чистоту выделенных липидов проверяли методом тонкослойной хроматографии. Определение состава жирных кислот проводили на газовом хроматографе HP 6890 фирмы «Hewlett Packard». Описание методов изложено в «Руководстве по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов» [16], а также в монографии «Методы практической биотехнологии. Анализ компонентов и микропримесей в мясных и других пищевых продуктах» [17]. По полученным результатам определяли содержание пальмитиновой и олеиновой кислот, количество насыщенных (НЖК), моно- (МНЖК) и полиненасыщенных (ПНЖК) жирных кислот. Расчет индекса атерогенности (ИАжк) сыворотки крови и консервов фаршевых осуществляли по формуле, приведенной Ulbriht T.L.V. и Southgate D.A.T., (1991) [18]:

$$\text{ИАжк} = (\text{C12} + \text{C14} + \text{C16} + \text{Транс ЖК}) : (\text{ПНЖК} + \text{C18:1} + \text{другие МНЖК})$$

Статистический анализ проводили с использованием программы STATISTICA 10. Результаты представлялись в виде «среднее значение ± средняя ошибка» (M ± SE). Статистическая достоверность рассчитывалась с применением однопараметрического ANOVA теста с применением критерия Тьюки при уровне значимости 0,05.

3. Результаты и обсуждение

Химический состав, приведенный в Табл. 1, показал, что в консервах фаршевых отмечено высокое содержание белка при достаточно низком содержании жира, доля углеводов незначительна и составляет менее 3%. Индекс атерогенности (ИА) составил 0,43, что ниже среднего ИА рациона человека, равного 0,74, по данным Лисицына А.Б. и др. (2011) на 41,9%, а также ниже ИА таких продуктов, как баранина (0,97), говядина (0,79), свинина (0,52) и мясо птицы (0,50) [19].

Таблица 1
Химический состав фаршевых консервов

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля белка, %	17,53 ± 0,95
Массовая доля жира, %	3,82 ± 0,13
Массовая доля натрия хлорида, %	0,305 ± 0,015
Массовая доля крахмала, %	2,35 ± 0,25
Энергетическая ценность в 100 г продукта, кал/кДж	104,5 ± 2,64 / 437,5 ± 11,1
Индекс атерогенности, отн. ед.	0,43
Σ ПНЖК и Σ МНЖК, %	14,48 ± 2,58
Σ НЖК / Σ (МНЖК + ПНЖК), отн. ед.	0,83

При проведении биологического эксперимента было выявлено, что на 42 сутки после отмены проатерогенной диеты у контрольных животных (группа 2) концентрация ХС и ТГ в сыворотке крови превышала интактный уровень (группа 1) на 35,8% (P < 0,05) и 17,0% (P > 0,05), ИАхс был увеличен на 59,5% (P < 0,05). Внесение в рацион животных фаршевых консервов (группа 3) приводило к снижению в сыворотке крови концентрации ХС (на 31,8%, P < 0,05) и ТГ (на 28,2%, P > 0,05) по сравнению с показателями контрольных крыс (группа 2), ИАхс был снижен на 41,3% (P < 0,05).

Результаты определения жирнокислотного состава сыворотки крови крыс приведены в таблице 2. У интактных животных (группа 1) и крыс, потреблявших разработанный продукт в течение 42 суток (группа 3), количество иденти-

Таблица 2

Результаты определения жирнокислотного состава сыворотки крови экспериментальных крыс

№ группы	Всего, г/100 г	% от суммы идентифицированных ЖК					ИАжк
		C16:0	C18:1n9c	НЖК	МНЖК	ПНЖК	
1	93,2 ± 1,7 ^б	18,3 ± 0,5 ^{б,г}	23,0 ± 1,0 ^{б,г}	35,1 ± 0,4 ^{б,г}	35,8 ± 1,0 ^б	29,1 ± 0,6 ^{б,г}	0,30 ± 0,01 ^б
2	74,3 ± 1,1 ^а	14,5 ± 0,7 ^{а,г}	25,9 ± 0,2 ^{а,г}	40,7 ± 0,7 ^{а,г}	36,4 ± 0,4 ^б	23,0 ± 0,9 ^{а,г}	0,30 ± 0,01 ^б
3	92,4 ± 1,6 ^б	8,4 ± 0,2 ^{б,а}	12,4 ± 0,4 ^{б,а}	32,1 ± 0,5 ^{б,а}	26,6 ± 0,7 ^а	41,3 ± 0,9 ^{б,а}	0,17 ± 0,00 ^а

^{а-б, в-г, д-е} – достоверные отличия между экспериментальными группами (P < 0,05)

фицированных ЖК было достаточно высоким и превышало 90%. У контрольных животных (группа 2), напротив, количество идентифицированных ЖК было снижено на 20,3% (P < 0,05) по сравнению с интактом (группа 1).

Несмотря на длительное содержание животных на проатерогенной диете, у контрольных животных (группа 2) не наблюдалось изменения ИАжк, однако доля НЖК была увеличена на 16,0% (P < 0,05) по сравнению с интактом (группа 1), несмотря на снижение содержания пальмитиновой ЖК на 20,8% (P < 0,05). Общее содержание МНЖК статистически значимо не изменялось, однако доля олеиновой ЖК увеличилась на 12,6% (P < 0,05), уровень ПНЖК, напротив, снизился на 21,0% (P < 0,05). Стоит также отметить, что количество идентифицированных ЖК в контрольной группе животных было на 20,3% (P < 0,05) ниже интактного.

В состав неидентифицированных в сыворотке крови ЖК могут входить кислоты в виде транс-изомеров или иных модификаций, которые, в свою очередь, могут способствовать увеличению общего ИАжк, но не были определены ввиду их отсутствия в базе прибора при выполнении физико-химического анализа. Отмеченное наблюдение может объяснить отсутствие изменения ИАжк сыворотки крови крыс, которые длительное время содержались на проатерогенной диете (Табл. 2).

Внесение в рацион животных консервов фаршевых в течение 42 суток способствовало снижению относительного содержания НЖК (группа 3) по сравнению с контролем (группа 2) на 21,1% (P < 0,05), преимущественно за счет уменьшения содержания пальмитиновой ЖК на 42,0% (P < 0,05). МНЖК также были снижены на 26,9% (P < 0,05) в основном за счет уменьшения доли олеиновой кислоты более чем в 2 раза (P < 0,05). Относительное же содержание ПНЖК, напротив, увеличилось 79,6% (P < 0,05) по сравнению с контролем. Отмеченные модификации жирнокислотного состава сыворотки крови животных опытной группы, потреблявших в составе ОВР разработанных продукт (группа 3), результировались в итоговое снижение ИАжк на 43,3% (P < 0,05).

При анализе соотношения НЖК:(МНЖК+ПНЖК) сыворотки крови экспериментальных животных, были получены следующие значения: группа 1 (интакт) – 1:1,85; группа 2 (контроль) – 1:1,46; группа 3 (продукт) – 1:2,12. При подсчете соотношения НЖК:МНЖК были получены следующие значения: группа 1 (интакт) – 1:1,02; группа 2 (контроль) – 1:0,89; группа 3 (продукт) – 1:0,83.

Таким образом, основной вклад в снижение ИАжк, почитанного по формуле Ulbriht T.L.V. и Southgate D.A.T., (1991), вносило уменьшение доли пальмитиновой кислоты в сыворотке крови опытных животных на фоне увеличения ПНЖК [18]. Отмеченное наблюдение напрямую связано с риском возникновения последующего атеросклероза. Так, согласно результатам исследования Титова В.Н. (2012) отмечалось, что изоформы триглицеридов, содержащих много пальмитиновой кислоты, способствуют их накоплению в адипоцитах, что, в свою очередь, ведет к увеличению в крови безлигандных и высокоатерогенных ЛПНП с плотностью ЛПОНП [20].

4. Заключение

Разработанные консервы фаршевые характеризуются сбалансированным составом – высоким содержанием белка (17,53 ± 0,95%), при достаточно низком содержании жира (3,82 ± 0,13%), индекс атерогенности продукта составил 0,43. По результатам биологического эксперимента отмечено, что на 42 сутки после отмены проатерогенной диеты у контрольных животных (группа 2) ИАжк был увеличен на 59,5% (P < 0,05), однако ИАжк не отличался от интактного уровня (группа 1). Тем не менее, количество идентифицированных ЖК у контрольных животных было на 20,3% (P < 0,05) ниже интактного значения, причем среди неидентифицированных ЖК могут присутствовать кислоты в виде транс-изомеров или иных модификаций, которые могли бы способствовать увеличению ИАжк, но не были определены ввиду их отсутствия в базе прибора при выполнении физико-химического анализа.

Внесение в рацион животных фаршевых консервов (группа 3) приводило к снижению в сыворотке крови концентрации ХС (на 31,8%, P < 0,05) и ТГ (на 28,2%, P > 0,05) по сравнению с показателями контрольных крыс (группа 2), ИАжк был снижен на 41,3% (P < 0,05). ИАжк также был снижен на 43,3% (P < 0,05) по сравнению с контролем (группа 2), преимущественно, за счет уменьшения содержания пальмитиновой ЖК на 42,0% (P < 0,05). Наблюдалась модификация соотношения МНЖК и ПНЖК за счет длительного употребления разработанного продукта в сторону увеличения относительного содержания ПНЖК.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16–16–10073).

1. Introduction

Progressive technologies are intensively introduced into the food industry, among which a special place are occupied by the effective processing technologies of agricultural raw materials as well as creation of safe and quality foods, including specialized and functional products. According to result of numerous studies, nowadays various approaches are implemented, such as recipe modification by adding bioactive ingredients of plant and animal origin, as well as technologies that provide the pres-

ervation or accumulation of bioactive peptides, which are natively presented in the raw material or formed during processing [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]. The study of by-products of slaughter as sources of active biological sequences that can normalize metabolic disorders, and the development of specialized technology on their basis and functional products, is especially relevant.

During the developing of the functional and specialized products, besides confirmation of their bio-corrective properties, assessing the adequacy of their composition in accordance with

bio-medical recommendations is extremely important [11,12]. Thus, products, intended for the prevention and treatment of cardiovascular diseases, are required to contain 10–15 % of protein, not more than 10 % of fat, from which is not more than 2 % of cholesterol. Fatty acid composition should be also balanced, the proportion of saturated fatty acids (SFA) from the total caloric intake should not exceed 10%, monounsaturated fatty acids (MUFA)–15 %, polyunsaturated fatty acids (PUFA) should be from 7 to 9 % [12,13], therefore SFA/MUFA/PUFA (1:1:1) significantly increases the therapeutic effectiveness of complex treatment for patients [14].

In numerous studies there was shown the dependence of hyperlipidemia development due to excessive consumption of products with a high content of SFA, trans-FA and cholesterol, which lead to the increase of lipoproteins (LP) atherogenic fractions circulating in the blood and subjected to oxidation, which then contribute to the development of atherosclerosis. Therefore the correction of nutrition can significantly reduce the risk of dyslipidemia, adjust the composition of fats as a part of LP circulating in the blood and, as a consequence, to reduce the risk of cardiovascular diseases.

In the present study there was examined the effect of prolonged consumption of the developed product on the serum FA and LP composition, and change of atherogenic index (AI) calculated according to LP and FA content, determined in serum of hyperlipidemic rats.

2. Materials and methods

The object of the study was canned minced product produced on ZAO «Yoshkar-Olinskiy myasokombinat» (recipe composition: pigs hearts – 64.4%, pigs aorta – 26.0%, starch – 3.0%, salt – 0.4%, water up to 100%). The production technology included the following stages: porcine hearts were chopped with a particle size of 2–3 mm and salted for 12 h; porcine aortas were chopped with a particle size of 2–3 mm and homogenized in cutter at 3000 rpm for 6–8 min; then, the minced hearts with juice was quantitatively transferred to the cutter and re-homogenized with minced aorta (3000 rpm, 3–4 min), adding starch, salt and water. The finished minced mixture was packed into lamister and sterilized at (115±2) °C under the pressure (0.23±0.02) MPa during 40 min.

The study of the chemical composition of product was carried out in accordance with standard methods.

To assess the effectiveness of product 20 male *Wistar* rats with weight 350±20 g were randomly divided into 2 groups, modeled experimental hyperlipidemia [15]. At the end of the modeling group 2 animals (control, n=10) were got a standard chow (SC), group 3 – experiment (n=10) were got a product (8 g/head) mixed with SC. Group 1 was consisted from intact rats (n=10), which were kept under similar conditions. The experiment lasted during 42 days. After the experiment animals were euthanized in chamber (VETtech, UK), blood samples for biochemical studies and determination of serum FA composition were taken.

The content of total cholesterol (TCL), cholesterol high-density lipoproteins (CL HDL) and low-density lipoproteins (CL LDL), triglyceride (TG) were determined on automatic analyzer BioChem FC-360 (HTI, USA) in accordance with the methods, applied to the reagents (HTI, USA). Atherogenic index (AI_{CL}) was calculated according the formula: $AI_{CL} = (TCL - CL\ HDL) / CL\ HDL$.

The isolation of lipids from the serum of experimental animals and the developed product were carried out by chloroform/methanol extraction according to the Folch method. The purity of the isolated lipids was tested by thin-layer chromatography. Determination of the composition of fatty acids was carried out on a gas chromatograph HP 6890 company «Hewlett Packard». The description of the methods is stated in the «Guide to methods of analysis of food quality and safety» [16], also in the mono-

graph «Methods of practical biotechnology. Analysis of components and micro-impurities in meat and other food products» [17]. According to the obtained results there were determined the contents of palmitic and oleic acids, amounts of saturated (SFA), mono- (MUFA) and polyunsaturated (PUFA) fatty acids. Calculation of atherogenic index (AI_{FA}) of serum and product was performed according to the formula, given Ulbriht T. L. V. and Southgate D. A. T., (1991) [18]:

$$AI_{FA} = \frac{(C12 + C14 + C16 + \text{Trans-FA})}{(\text{PUFA} + 18:1 + \text{other MUFA})}$$

Statistical analysis was performed using the program STATISTICA 10. The results were presented as «middle value±standard error» ($M \pm SD$). Statistical validity was calculated using ANOVA with the Tukey test at a significance level of 0.05.

3. Results and discussion

The chemical composition is presented in the Table 1. It was shown, that in product was characterized by the high protein content with low fat content, the proportion of carbohydrates was less than 3%. The atherogenic index (AI) was 0.43, which was lower than the average human diet, equaled to 0.74, according to the data of Lisitsyn, A.B. and others (2011) by 41.9%, and also below AI of such products, as lamb (0.97), beef (0.79), pork (0.52) and poultry (0.50) [19].

Table 1

Chemical composition of developed product

Name of indicator	Value of indicator
Protein,%	17.53±0.95
Fat,%	3.82±0.13
Sodium chloride,%	0.305±0.015
Starch,%	2.35±0.25
Energy value per 100 g of product, kcal/kj	104.5±2.64 / 437.5±11.1
Atherogenic index, r.u.	0.43
Σ PUFA and Σ MUFA, %	14.48±2.58
Σ SFA/ Σ (MUFA + PUFA), r.u.	0.83

According to results of biological experiment, it was revealed, that on the 42nd day after the cancellation of the proatherogenic diet in control animals (group 2) the concentration of TCL and TG in serum exceeded the intact level (group 1) by 35.8% ($P < 0.05$) and 17.0% ($P < 0.05$), the AI_{CL} was increased by 59.5% ($P < 0.05$). The introduction of product into the diet of animals (group 3) led to the decrease in serum concentrations of TCL (by 31.8%, $P < 0.05$) and TG (by 28.2%, $P < 0.05$) compared with the control rats (group 2), AI_{CL} was reduced by 41.3% ($P < 0.05$).

Results of determination of serum fatty acid composition are presented in table 2. In intact animals (group 1) and rats, consumed the developed product during 42 days (group 3), the number of identified FA was high enough and exceeded 90%. In control animals (group 2), on contrary, the number of identified FA was reduced by 20.3% ($P < 0.05$) in comparison with the intact (group 1).

Despite on the long-term consumption of proatherogenic diet, in control animals (group 2) there was no change in AI_{FA} , but the proportion of SFA was increased by 16.0% ($P < 0.05$) in compare with intact (group 1), while palmitic FA content was reduced by 20.8% ($P < 0.05$). The total content of MUFA was not significantly changed, however, the proportion of oleic FA was increased on 12.6% ($P < 0.05$), the level of PUFA, on contrary, reduced by 21.0% ($P < 0.05$). It should also be noted that the number of identified FA in the control group of animals was by 20.3% ($P < 0.05$) lower than intact.

Table 2

Results of determination of serum fatty acid composition of experimental rats

№ group	Total, g/100 g	% from the amount identified FA					AI _{FA}
		C16:0	C18:1n9c	SFA	MUFA	PUFA	
1	93.2 ± 1.7 ^b	18.3 ± 0.5 ^{b,d}	23.0 ± 1.0 ^{b,d}	35.1 ± 0.4 ^{b,d}	35.8 ± 1.0 ^b	29.1 ± 0.6 ^{b,d}	0.30 ± 0.01 ^b
2	74.3 ± 1.1 ^a	14.5 ± 0.7 ^{a,d}	25.9 ± 0.2 ^{a,d}	40.7 ± 0.7 ^{a,d}	36.4 ± 0.4 ^b	23.0 ± 0.9 ^{a,d}	0.30 ± 0.01 ^b
3	92.4 ± 1.6 ^b	8.4 ± 0.2 ^{b,c}	12.4 ± 0.4 ^{b,c}	32.1 ± 0.5 ^{b,c}	26.6 ± 0.7 ^a	41.3 ± 0.9 ^{b,c}	0.17 ± 0.00 ^a

^{a,b,c,d} — significant differences between the experimental groups (P < 0.05)

The composition of unidentified serum FA may include acids in the form of trans-isomers or other modifications, which may contribute to an increase in the total AI_{FA}, but have not been determined due to the lack of base device when performing physical and chemical analysis. Marked observation may explain the absence of changes in the serum AI_{FA} of rats, which were kept on a proatherogenic diet for a long time (Table 2).

The introduction of product into the diet of animals within 42 days contributed to a decrease in the relative content of SFA (group 3) compared with the control (group 2) by 21.1% (P < 0.05), mainly due to a decrease in the content of palmitic FA by 42.0% (P < 0.05). MUFA were also reduced on 26.9% (P < 0.05) mainly due to a more than 2-fold decrease in the share of oleic acid (P < 0.05). The relative content of PUFA, on contrary, increased by 79.6% (P < 0.05) in compare with the control. The noted modifications of serum FA composition of animals in the experimental group consuming the developed product (group 3) as a part of SC were resulted in the final reduction of AI_{FA} by 43.3% (P < 0.05).

The ratio of serum SFA:(MUFA+PUFA) of experimental animals was calculated: group 1 (intact) — 1:1.85; group 2 (control) — 1:1.46; group 3 (product) — 1:2.12. The ratio SFA:MUFA was also calculated: group 1 (intact) — 1:1.02; group 2 (control) — 1:0.89; group 3 (product) — 1:0.83.

Thus, the main contribution to the decrease in the AI_{FA}, calculated according to Ulbriht T.L.V. and Southgate D.A.T., (1991), was due to decrease in the proportion of palmitic acid in the serum of the experimental animals. This observation is directly related to the risk of subsequent atherosclerosis. So, according to Titov V.N. (2012), it was noted, that the isoforms of triglycerides containing a lot of palmitic acid, contribute to

their accumulation in adipocytes, which leads to the increase in the blood of non-ligand and high-atherogenic low-density lipoproteins (LDL) with a density of very low-density lipoprotein (VLDL) [20].

4. Conclusion

The developed product is characterized by a balanced composition — high protein content (17.53 ± 0.95%), with a low fat content (3.82 ± 0.13%), the AI of the product was 0.43. According to the results of the biological experiment, it was noted that on the 42nd day after the cancellation of the proatherogenic diet in control animals (group 2) the AI_{CL} was increased on 59.5% (P < 0.05), but the AI_{FA} did not differ from the intact level (group 1). However, the number of identified FA in the control animals was on 20.3% (P < 0.05) lower than the intact value, and among the unidentified FA may be trans-isomers or acid in other modifications that could contribute to an increase in AI_{FA}, but were not determined due to the lack of base device when performing physico-chemical analysis.

The introduction a product into the diet of animals (group 3) led to the decrease in serum concentrations of TCL (by 31.8%, P < 0.05) and TG (by 28.2%, P > 0.05) in compare with the control rats (group 2), AI_{CL} was reduced by 41.5% (P < 0.05). AI_{FA} was also reduced by 43.3% (P < 0.05) in compare with control (group 2), mainly due to the decrease in the content of palmitic FA by 42.0% (P < 0.05). Observed modification of MUFA and PUFA ratio was due to the long-term consumption of developed product, as well as increasing of PUFA relative content.

Acknowledgements

This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 16-16-10073).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тутельян, В.А., Хавинсон, В.Х., Рыжак, Г.А., Линькова, Н.С. (2014). Короткие пептиды как компоненты питания: молекулярные основы регуляции гомеостаза. *Успехи современной биологии*, 134(3), 227–235.
2. Хавинсон, В.Х., Чалисова, Н.И., Линькова, Н.С., Халимов, Р.И., Ничик, Т.Е. (2015). Зависимость тканеспецифического действия пептидов от количества аминокислот, входящих в их состав. *Фундаментальные исследования*, 2–3, 497–503.
3. Hui., Y.H. (2012). *Handbook of Meat and Meat Processing*, 2nd ed. USA, Taylor & Francis Group. — 1000 p. ISBN 9781439836835.
4. Mine, Y., Shahidi, F. (2006). *Nutraceutical Science and Technology* (Book 4). *Nutraceutical Proteins and Peptides in Health and Disease*. USA: Taylor & Francis Group. — 688 p. ISBN 9780824753542
5. Lafarga, T., Hayes, M. (2014). Bioactive peptides from meat muscle and by-products: generation, functionality and application as functional ingredients. *Meat science*, 98(2), 227–239.
6. Udenigwe, C.C., Howard, A. (2013). Meat proteome as source of functional biopptides. *Food Research International*, 54(1), 1021–1032.
7. Weiss, J, Gibis, M, Schuh, V, Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 196–213.
8. Кочеткова, А.А., Воробьева, В.М., Воробьева, И.С., Саркисян, В.А., Зорина, Е.Е., Шатнюк, Л.Н., Михеева, Г.А., Юдина, А.В. (2016). Теоретические и практические аспекты разработки специализированных пищевых продуктов для диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Пищевая промышленность*, 8, 8–12.
9. Fagerberg, L., Hallstrom, B.M., Oksvold, P., Kampf, C., Djureinovic, D., Odeberg, J., Habuka, M., Tahmasebpoor, S., Danielsson, A., Edlund, K., Asplund, A., Sjostedt, E., Lundberg, E., Szgyarto, C.A.-K., Skogs, M., Ottosson Takanen, J., Berling, H., Tegel, H., Mulder, J., Nilsson, P., Schwenk, J.M., Lindskog, C., Danielsson, F., Mardinoglu, A., Sivertsson, A., Von Feilitzen, K., Forsberg, M., Zwahlen, M., Olsson, I., Navani, S., Huss, M., Nielsen, J., Ponten, F., Uhlen, M. (2014). Analysis of the Human Tissue-specific Expression by Genome-wide Integration of Transcriptomics and Antibody-based Proteomics. *Molecular and Cellular Proteomics*, 13(2), 397–406.
10. Чугунов, А.О. (2010). Неизвестные пептиды. *Наука и жизнь*, 10, 26–32.
11. Чернуха, И.М., Федулова, Л.В., Дыдыкин, А.С. (2014). Безопасные и полезные продукты как главный фактор, определяющий качество жизни. *Все о мясе*, 2, 20–22.
12. Гладких, Н.М., Федулова, Л.В. (2017). Биологическая ценность фаршевых консервов специализированного назначения. *Все о мясе*, 3, 28–31.
13. Погожева, А.В. (2004). Основы рациональной диетотерапии при сердечно-сосудистых заболеваниях. *Клиническая диетология*, 2, 17–29.
14. Патиева, А.М., Патиева С.В., Величко В.А. (2012). Жирнокислотный состав шпика свиной датской породы. *Вестник НГИЭИ*, 8(15), 69–82.
15. Патент № 2524127. Способ моделирования атеросклероза. Лисицын А.Б., Чернуха И.М., Котенкова Е.А., Федулова Л.В. Оpubл. 30.05.2014.
16. Скурихин, И.М., Тутельян, В.А. (1998). *Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов*. М, Брандес-Медицина. — 341 с. ISBN 5-225-02777-6

17. Лисицын, А.Б., Иванкин, А.Н., Неклюдов, А.Д. (2002). Методы практической биотехнологии. М, ВНИИМП, – 402 с.
 18. Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T. (1991). Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992.
 19. Лисицын, А.Б., Чернуха, И.М., Кузнецова, Т.Г., Орлова, О.Н., Мкртчян, В.С. (2011). Химический состав мяса: Справочные таблицы общего химического, аминокислотного, жирнокислотного,

витаминого, макро- и микроэлементного составов и пищевой (энергетической и биологической) ценности мяса. М, ВНИИМП. – 104 с.
 20. Титов, В.Н. (2012). Высокое содержание пальмитиновой жирной кислоты в пище – основная причина повышения холестерина липопротеинов низкой плотности и атероматоза интимы артерий. *Атеросклероз и дислипидемии*, 3(8), 48–57.

REFERENCES

1. Tutelian, V.A., Khavinson, V.Kh., Ryzhak, G.A., Linkova, N.S. (2014). Short Peptides as Components of Nutrition: Molecular Bases of Homeostasis Regulation. *Advances in Current Biology*, 134(3), 227–235. (in Russian)
 2. Khavinson, V.H., Chalisova, N.I., Linkova, N.S., Khalimov, R.I., Nichik, T.E. (2015). The dependence of tissue-specific peptides activity on the number of amino acids in the peptides. *Fundamental research*, 2–3, 497–503. (in Russian)
 3. Hui, Y.H. (2012). Handbook of Meat and Meat Processing, 2nd ed. USA, Taylor & Francis Group. – 1000 p. ISBN 9781439836835.
 4. Mine, Y., Shahidi, F. (2006). Nutraceutical Science and Technology (Book 4). Nutraceutical Proteins and Peptides in Health and Disease. USA: Taylor & Francis Group. – 688 p. ISBN 9780824753542
 5. Lafarga, T., Hayes, M. (2014). Bioactive peptides from meat muscle and by-products: generation, functionality and application as functional ingredients. *Meat science*, 98(2), 227–239.
 6. Udenigwe, C.C., Howard, A. (2013). Meat proteome as source of functional biopeptides. *Food Research International*, 54(1), 1021–1032.
 7. Weiss, J., Gibis, M., Schuh, V., Salminen, H. (2010). Advances in ingredient and processing systems for meat and meat products. *Meat Science*, 86(1), 196–213.
 8. Kochetkova, A.A., Vorobyova, V.M., Vorobyova, I.S., Sarkisyan, V.A., Zorina, E.E., Shatnyuk, L.N., Mikheeva, G.A., Yudina, A.V. (2016). Theoretical and Practical Aspects of the Specialized Food for Diet Therapy in Cardiovascular Diseases Development. *Food Industry*, 8, 8–12. (in Russian)
 9. Fagerberg, L., Hallstrom, B.M., Oksvold, P., Kampf, C., Djureinovic, D., Odeberg, J., Habuka, M., Tahmasebpoor, S., Danielsson, A., Edlund, K., Asplund, A., Sjostedt, E., Lundberg, E., Szgyarto, C.A.-K., Skogs, M., Ottosson Takanen, J., Berling, H., Tegel, H., Mulder, J., Nilsson, P., Schwenk, J.M., Lindskog, C., Danielsson, F., Mardinoglu, A., Sivertsson, A., Von Feilitzen, K., Forsberg, M., Zwahlen, M., Olsson, I., Navani, S., Huss, M., Nielsen, J., Ponten, F., Uhlen, M. (2014). Analysis of the Human Tissue-

specific Expression by Genome-wide Integration of Transcriptomics and Antibody-based Proteomics. *Molecular and Cellular Proteomics*, 13(2), 397–406.
 10. Chugunov, A. O. (2010) Unknown peptides. *Nauka i zhizn*, 10, 26–32. (in Russian)
 11. Chernukha, I.M., Fedulova, L.V., Dydykin, A.S. (2014). Safe and useful products as the main factor determining the quality of life. *Vsyo o myase*, 2, 20–22. (in Russian)
 12. Gladkikh, N.M., Fedulova, L.V. (2017). Biological value of canned minced meat specialized. *Vsyo o myase*, 3, 28–31. (in Russian)
 13. Pogozheva, A.V. (2004). Fundamentals of rational diet therapy for cardiovascular diseases. *Klinicheskaya diietologiya*, 2, 17–29. (in Russian)
 14. Patieva, A.M., Patieva, S.V., Velichko, V.A. (2012). Fat-acid content of bacon of pigs of danish breed. *Herald NGIEI*, 8(15), 69–82. (in Russian)
 15. Lisitsyn, A.B., Chernukha, I.M., Kotenkova, E.A., Fedulova, L.V. Sposob modelirovaniya ateroskleroza. Patent RF, no. 2524127. 2014 (in Russian)
 16. Skurikhin, I. M., Tutelyan, V. A. (1998). Guide to methods of analysis of food quality and safety. M: Brandes-Medicine. –341 p. ISBN 5–225–02777–6 (in Russian)
 17. Lisitsyn, A.B., Ivankin, A.N., Neklyudov, A.D. (2002). Methods of practical biotechnology. M: VNIIMP. –402 p. (In Russian)
 18. Ulbricht, T.L.V., Southgate, D.A.T. (1991) Coronary heart disease: seven dietary factors. *The Lancet*, 338(8773), 985–992.
 19. Lisitsyn, A.B., Chernukha, I.M., Kuznetsova, T.G., Orlova, O.N., Mkrтчян, V.S. (2011). Chemical composition of meat: Reference tables of the General chemical, amino acid, fatty acid, vitamin, macro – and microelement compositions and food (energy and biological) value of meat. M: VNIIMP. – 104p. (in Russian)
 20. Titov, V.N. (2012). High dietary content of palmitic fatty acid is the major cause of increase in low-density lipoprotein cholesterol and arterial intima atheromatosis. *Ateroskлероз i dislipidemii*, 3(8), 48–57. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Чернуха Ирина Михайловна – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник Экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения, Всероссийский научно-исследовательский институт мясной промышленности имени В.М. Горбатова 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-63-21 E-mail: imcher@inbox.ru	Irina M. Chernukha – doctor of technical sciences, professor, leading research scientist of Experimental clinic – laboratory «Biologically active substances of an animal origin», V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-63-21 E-mail: imcher@inbox.ru
Котенкова Елена Александровна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Экспериментальная клиника – лаборатория биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26 Тел.: +7-495-676-92-11 E-mail: lazovlena92@yandex.ru *автор для переписки	Elena A. Kotenkova – candidate of technical sciences, senior research scientist, Experimental clinic-laboratory «Biologically active substances of an animal origin», V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 109316, Moscow, Talalikhina str., 26 Tel.: +7-495-676-92-11 E-mail: lazovlena92@yandex.ru *corresponding author
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат	Authors are equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	The authors declare no conflict of interest
Поступила 14.09.2018	Received 14.09.2018