

## НЕЗАМЕНИМЫЕ ЖИРНЫЕ КИСЛОТЫ В РАЦИОНЕ ЛЫЖНИКОВ-ГОНЩИКОВ: РОЛЬ В ПОВЫШЕНИИ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

© 2021 г. А. Ю. Людина, И. О. Гарнов, Е. Р. Бойко

Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения  
Российской академии наук (ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН), г. Сыктывкар

**Введение:** Изучение взаимосвязи питания и физической работоспособности (ФР) в практике спорта высших достижений в настоящее время сохраняет свою актуальность. В литературе практически отсутствуют исследования уровня потребления незаменимых жирных кислот (ЖК) и их влияния на ФР высококвалифицированных спортсменов-лыжников.

**Цель:** Изучение связи между потреблением незаменимых жирных кислот и показателями физической работоспособности лыжников-гонщиков.

**Методы:** Обследованы члены сборной команды Республики Коми и России по лыжным гонкам от 17 до 33 лет (юноши, n = 37). Для оценки физической работоспособности спортсмены выполняли нагрузочный тест «до отказа» на велоэргоспирометрической системе «Oxycon-Pro» в режиме «breath-by-breath». Определяли показатели потребления кислорода, коэффициент использования кислорода, максимального потребления кислорода (МПК), частоту сердечных сокращений, артериальное давление, порог анаэробного обмена (ПАНО), ватт-пульс ПАНО. Изучение уровня потребления разных классов ЖК оценивали с помощью авторского on-line сервиса «Жирные кислоты в продуктах».

**Результаты:** Анализ жирового компонента рациона спортсменов выявил высокую вариабельность потребления различных классов ЖК: повышенное относительно нормы потребление n-6 линолевой кислоты и насыщенных жиров, а также недостаток потребления n-3 эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот у большинства лыжников-гонщиков. Показана корреляционная взаимосвязь между потреблением незаменимой  $\alpha$ -линоленовой кислоты и показателями ФР (МПК и ватт-пульс ПАНО) среди спортсменов.

**Заключение:** Нами выявлена ассоциация между показателем экономичности вегетативного обеспечения мышечной работы – ватт-пульс ПАНО и недостаточностью потребления  $\alpha$ -линоленовой кислоты. Результаты проведенного исследования могут быть применены для оптимизации рациона питания и повышения функциональных резервов и физических качеств спортсменов.

*Ключевые слова:* незаменимые жирные кислоты, физическая работоспособность, максимальное потребление кислорода, ватт-пульс ПАНО, лыжники-гонщики

## ESSENTIAL FATTY ACIDS IN DIET AND THEIR ROLE IN IMPROVING PHYSICAL PERFORMANCE OF SKI RACERS

A. Yu. Lyudinina, I. O. Garnov, R. Wojko

Institute of Physiology of Komi Science Centre of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

**Introduction:** Associations between nutrition and physical performance among elite sportsmen have been extensively studied, although not all nutrients have been covered by these studies. For example, there is still lack of information on the levels of consumption of essential fatty acids (FAs) and their influence on the physical performance among high-performing ski racers.

**Aim:** To study associations between consumption of essential fatty acids and indicators of physical performance Russian ski-racers.

**Methods:** Thirty seven male members of the Komi republic team the Russian national team in cross-country ski aged 17- 33 years took part in this study. To assess physical performance, athletes underwent a test  $VO_2$  max, on the Oxycon-Pro ergospirometric system in the "breath-by-breath" mode. Indicators of oxygen consumption ( $VO_2$ ), oxygen utilization ratio,  $VO_2$  max, heart rate (HR), blood pressure (BP), anaerobic threshold (AnT), Watt/pulse were estimated. Consumption of different classes of FAs was assessed using the on-line service "Fatty acids in food items".

**Results:** High variability in the consumption of different classes of FAs was observed. Most ski racers report and higher consumption of n-6 linoleic acid and saturated fats compared to the recommended values. At the same time, consumption of n-3 eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids was lower than recommended. Significant correlations were observed between essential  $\alpha$ -linolenic acid consumption and  $VO_2$  max and watt/pulse AnT in the studied sample.

**Conclusion:** Our results suggest an association between the indicator of the efficiency of autonomic support for muscle work - the watt/pulse AnT and insufficient consumption of  $\alpha$ -linolenic acid. The results of the study can be applied to optimize the diet and increase the functional reserves and physical performance in athletes.

*Key words:* Essential fatty acids, physical performance, maximum oxygen consumption, cross-country skiers.

### Библиографическая ссылка:

Людина А. Ю., Гарнов И. О., Бойко Е. Р. Незаменимые жирные кислоты в рационе лыжников-гонщиков: роль в повышении физической работоспособности // Экология человека. 2021. № 9. С. 27–33.

### For citing:

Lyudinina A. Yu., Garnov I. O., Wojko R. Essential Fatty Acids in Diet and Their Role in Improving Physical Performance of Ski Racers. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021, 9, pp. 27-33.

### Введение

Для спортсменов, стремящихся к достижению высоких результатов и повышению физической работоспособности (ФР), вопросы рационального питания имеют особое значение [3, 16, 25]. В условиях Севера метаболизм и физиологические процессы у спортсменов в кардио-респираторной (КРС) и эндокринной системах имеют свои особенности, что может быть связано и с особенностью их питания [2].

Обеспечение организма атлетов эссенциальными компонентами питания (например, витаминами, незаменимыми аминокислотами и ЖК) и их связь с повышением ФР достаточно подробно изучена [2, 5, 16]. Особая роль среди хорошо зарекомендовавшей себя нутритивной поддержки в последнее время придается полиненасыщенным жирным кислотам (ПНЖК) [2, 9, 20]. Следует особо подчеркнуть, что эти соединения являются обычными нутриентами и не могут рассматриваться в качестве допинга. Исследование метаболизма n-3 ПНЖК вызывает большой интерес в мировом спорте вследствие их существенной роли в повышении ФР [5, 10, 26, 29]. Эффекты приема пищевых добавок, содержащих n-3 ПНЖК, спортсменами в основном сфокусированы на их способности снижать сердечно-сосудистые факторы риска [2, 23, 28], ускорять мышечное восстановление [16, 18], повышать максимальное потребление кислорода (МПК), потребление кислорода (ПК), порог анаэробного обмена (ПАНО) и скорость окисления жира (СОЖ) [13], тем самым повышая ФР [1, 29]. Механизмы действия n-3 ПНЖК различны, среди них повышение текучести клеточной мембраны, изменение работы ионных каналов и рецепторов, уменьшение продукции воспалительных эйкозаноидов, цитокинов и активных форм кислорода, способствующие иммуномодулирующему и противовоспалительному действию на организм [9, 20]. К ряду  $\alpha$ -линоленовой кислоты (ЛНК), являющейся частичным предшественником для биосинтеза длинноцепочечных n-3 ПНЖК, относятся в первую очередь эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) кислоты.

В литературе представлено положительное влияние дополнительного приема n-3 ПНЖК-содержащих добавок у спортсменов, тренирующих выносливость на ПК при физической нагрузке и в целом повышение ФР [1, 29]. В то же время есть работы, показывающие отсутствие выраженного эффекта n-3 ПНЖК на прирост этих показателей [6, 8, 23]. Ввиду подобных противоречивых данных и в целом недостаточно изученной роли незаменимых ПНЖК, поступающих с рационом питания, а не в виде биологически активных добавок, в обеспечении ФР высококвалифицированных спортсменов целью работы являлось изучение связи между потреблением незаменимых ЖК и показателями ФР среди юношей, занимающихся лыжными гонками.

### Методы

Проведено одноцентровое, проспективное, продольное, сплошное неконтролируемое исследование. В общеподготовительный период тренировочного макроцикла обследованы юноши ( $n = 37$ ). Все спортсмены являются членами сборной Республики Коми по лыжным гонкам, часть из них входит в сборную России. Спортивная квалификация исследуемых спортсменов: кандидаты в мастера спорта – 73 % от общей выборки, мастера спорта – 24 % и мастера спорта международного класса – 3 %.

Исследование проведено на базе отдела экологической и медицинской физиологии ИФ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН и одобрено локальным комитетом по биоэтике, все обследуемые дали информированное согласие на участие. Обследование проводили в первой половине дня, после стандартного завтрака и 2-часового отдыха.

Критерии исключения спортсменов из исследования:

- соблюдение особой диеты или несбалансированного питания;
- наличие желудочно-кишечных заболеваний, при которых нарушено всасывание углеводов или жиров, инфекционных или воспалительных заболеваний;
- возраст до 18 и старше 30 лет;
- наличие острых респираторных или соматических заболеваний;
- интенсивная тренировка накануне.

Критерии включения:

- возраст от 18 до 30 лет;
- отсутствие острых заболеваний и хронической соматической патологии на момент обследования;
- соблюдение стандартизированного сбалансированного питания (в столовой Центра подготовки сборных команд Республики Коми).

*Процедура исследования ФР.* У спортсменов измеряли массу и длину тела на медицинском весоростомере (Россия), долю массы жира (МЖ) организма при помощи жиранализатора Omron BF 302 (Япония), рассчитывали индекс массы тела (ИМТ) по формуле Кетле. Систолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление измеряли методом Н. С. Короткова прибором «Microlife Model BP AG1-30» (Швейцария). Для определения уровня ФР спортсменов проводили нагрузочный тест «до отказа» на велоэргоспирометрической системе «Oxycon Pro» («Erich Jaeger», Германия) в режиме «*breath-by-breath*», как описано ранее [2]. Процедура тестирования включала этапы: покой сидя (2 мин), педалирование без нагрузки (1 мин) и затем ступенчато увеличивающаяся нагрузка (начиная со 120 Вт, шаг 40 Вт через 2 мин), каданс 60 об/мин. В тесте определяли показатели ПК, КИО<sub>2</sub>, МПК, ЧСС, АД, респираторный ПАНО, рассчитывали ватт-пульс ПАНО.

*Метод оценки фактического потребления*

незаменимых ЖК включал анализ жирового компонента рациона с помощью оригинальной авторской программы (свидетельство ГР № 2016662728 от 20.12.2016), на основе которой был создан on-line сервис «Жирные кислоты в продуктах». После заполнения обязательных анкетных (ФИО, пол, возраст) и антропометрических (длина, масса тела) данных респонденту предлагалось оценить свое питание, выбрав частоту употребления предложенных продуктов за прошедший месяц и указав его количество, ориентируясь на предложенные фото с эталоном. В общей сложности предлагалось оценить частоту употребления 71 продукта питания различных пищевых групп (молочные, мясные, рыба, орехи и др.), выбрав между «не употреблял», «1–2 раза/месяц», «1 раз/неделя», «2–3 раза/неделя», «1 раз/день», «>2 раз/день». В итоге работы программы выдается таблица содержания ЖК в употребляемых продуктах, включающая подсчет данных по 8 показателям и инфографику экспресс-оценки фактических данных рекомендуемым нормам.

Нормы потребления ЖК приведены согласно рекомендациям международных организаций (Dietary Guidelines for Americans, US Dietary Reference Intake, Academy of Nutrition and Dietetics, WHO, EFSA, ISSFAL) и российских рекомендаций (ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва).

Статистическую обработку результатов осуществляли при помощи программы «Statistica» (версия 8.0, StatSoft, Inc. 2007). Учитывая немногочисленность исследуемой выборки и существенные индивидуальные различия в значениях определяемых показателей, проводили проверку данных на нормальность распределения с применением критерия Шапиро – Уилка. Поскольку полученные данные в нескольких случаях не подчинялись закону нор-

мального распределения, использовали непараметрические методы сравнения – *U* критерий Манна – Уитни и Фридмана. Результаты представлены в виде  $M \pm SD$ . За критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали 0,05. Взаимосвязь количественных признаков оценивалась с помощью метода ранговой корреляции Спирмена.

### Результаты

#### Определение ФР исследуемых спортсменов

Антропометрические характеристики обследуемых лыжников-гонщиков: возраст ( $22,9 \pm 4,2$ ) года; масса тела ( $72,9 \pm 4,8$ ) кг; длина тела ( $174,4 \pm 24,3$ ) см; масса жира ( $10,2 \pm 4,4$ ) %; ИМТ ( $22,8 \pm 1,1$ ) кг/м<sup>2</sup>; МПК/кг ( $61,4 \pm 6,8$ ) мл/мин/кг.

В табл. 1 представлены показатели функционального состояния обследуемых спортсменов при велоэргометрическом тестировании «до отказа».

Проведенное исследование показало статистически значимое увеличение ЧСС на ПАНО и в момент завершения нагрузки относительно покоя перед тестом соответственно на 160 и 203 %. Увеличение САД на ПАНО и в момент завершения теста относительно фоновых значений составило 70 и 75 %, а ДАД имело тенденцию к снижению на 3 и 2 % соответственно. Показатель эффективности легочной вентиляции – КИО<sub>2</sub> на ПАНО повысился на 26 % с ( $32,1 \pm 3,5$ ) до ( $40,5 \pm 4,7$ ) мл/л, а в момент завершения теста относительно покоя на 4 %. Остальные показатели имели разнонаправленные тенденции и находились в рамках референсных значений.

#### Оценка жирового рациона спортсменов

Проведенный анализ жирнокислотного профиля рациона лыжников выявил высокую вариабельность потребления различных классов ЖК с выраженным дисбалансом незаменимых ПНЖК (табл. 2).

Таблица 1

Физиологические показатели обследуемых лыжников при велоэргометрическом тестировании «до отказа»

Показатель	Значение	Уровень <i>p</i>
Частота сердечных сокращений в фоне, уд/мин	$59,9 \pm 9,3^{***\wedge\wedge\wedge}$	<0,05
Частота сердечных сокращений на пороге анаэробного обмена, уд/мин	$155,6 \pm 14,7^{***}$	<0,05
Частота сердечных сокращений в момент завершения нагрузки, уд/мин	$181,7 \pm 13,9^{\wedge\wedge\wedge}$	<0,02
Систолическое артериальное давление в фоне, мм рт. ст.	$113,2 \pm 13,2^{\wedge\wedge\wedge}$	<0,01
Диастолическое артериальное давление в фоне, мм рт. ст.	$76,2 \pm 9,8$	–
Систолическое артериальное давление на пороге анаэробного обмена, мм рт. ст.	$192,6 \pm 11,7^{***}$	<0,02
Диастолическое артериальное давление на пороге анаэробного обмена, мм рт. ст.	$73,9 \pm 13,7$	–
Систолическое артериальное давление в момент завершения теста, мм рт. ст.	$197,0 \pm 21,5^{\wedge\wedge\wedge}$	<0,001
Диастолическое артериальное давление в момент завершения теста, мм рт. ст.	$71,1 \pm 19,6$	–
Коэффициент использования кислорода в фоне, мл/л	$32,1 \pm 3,5^{***}$	<0,05
Коэффициент использования кислорода на пороге анаэробного обмена, мл/л	$40,5 \pm 4,7^{***}$	<0,001
Коэффициент использования кислорода в момент завершения теста, мл/л	$33,5 \pm 8,7^{\wedge\wedge\wedge}$	<0,05
Ватт-пульс на пороге анаэробного обмена, Вт/уд	$1,8 \pm 0,3$	–
Ватт-пульс в момент завершения теста, Вт/уд	$2,1 \pm 0,2$	–
Максимальное потребление кислорода, мл/мин	$4478,9 \pm 541,3$	–

Примечание. \*\*\* –  $p < 0,05$  изменения статистически значимы относительно покоя и ПАНО;  $\wedge\wedge\wedge$  –  $p < 0,05$  изменения статистически значимы относительно покоя и пика нагрузки.

Таблица 2  
Содержание жирных кислот в рационе исследуемых лыжников в общеподготовительный период тренировочного макроцикла

Потребление жирных кислот	Юноши	Норма, г/день
Насыщенные ЖК	35,3 ± 24,1	20,0–30,0
ПНЖК n-3	2,4 ± 2,7	1,0–3,0
ПНЖК n-6	19,3 ± 11,6	8,0–12,0
Линолевая кислота n-6	18,3 ± 11,0	5,0–0,0
Линоленовая кислота n-3	1,6 ± 1,7	1,1–2,0
Эйкозапентаеновая + Докозагексаеновая кислоты n-3	0,8 ± 1,4	>0,5
Индекс n6/n3	13,3 ± 9,8	5,0/1

Примечание. Данные представлены в виде  $M \pm SD$ .

Так, потребление насыщенных ЖК у более половины спортсменов было в пределах нормы и в целом составило в среднем 35,3 г/день. Содержание ПНЖК в рационе спортсменов значительно варьировало в сравнении с рекомендуемой нормой. Среднее значение n-6 ПНЖК (в основном за счет линолевой кислоты) у юношей составило 19,3 г/день и превышало рекомендованные нормативы почти в 1,5 раза. Потребление n-3 ПНЖК у обследуемых юношей составило в среднем 2,4 г/день и в целом находилось в пределах нормы. Недостаточность потребления в рационе ЭПК + ДГК отмечена у 70 % добровольцев, дефицит в рационе ЛНК – у 35 % спортсменов. Нами выявлен повышенный индекс n-6/n-3 в рационе питания юношей – в среднем по группе он составлял 13,3 единицы.

*Характеристика влияния n-3 ПНЖК на ФР.*

При градации групп спортсменов по уровню рекомендуемой нормы потребляемых n-3 ПНЖК было выявлено, что показатель ватт-пульс ПАНО был значимо ниже в группе с низким потреблением ЛНК ( $p = 0,017$ ). В то же время наблюдалась схожая тенденция и при недостаточности в рационе ЭПК и ДГК ( $p = 0,091$ ) (рисунок).

По другим характеристикам ФР (КИО<sub>2</sub>, МПК, ЧСС фоновая и на пике нагрузки) подобных отли-

чий в уровне потребления n-3 ПНЖК не найдено. Установлена слабая корреляционная связь между ЛНК и МПК ( $r_s = 0,358$ ;  $p = 0,037$ ), ватт-пульс ПАНО ( $r_s = 0,455$ ;  $p = 0,007$ ), а также отсутствие корреляции между ЭПК + ДГК в рационе с МПК ( $r_s = 0,158$ ;  $p = 0,376$ ) и ватт-пульс ПАНО ( $r_s = 0,303$ ;  $p = 0,167$ ).

### Обсуждение результатов

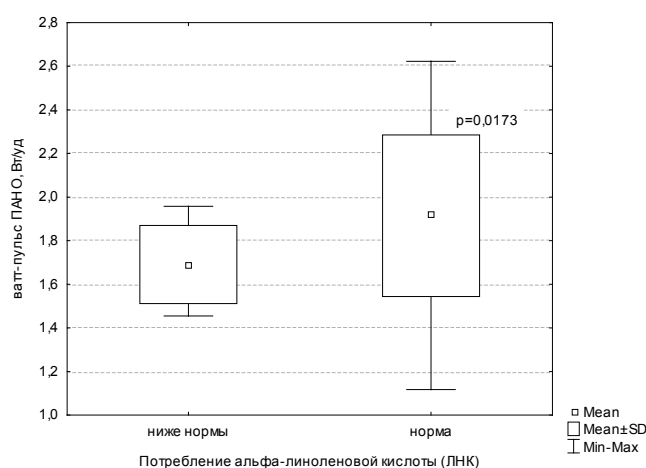
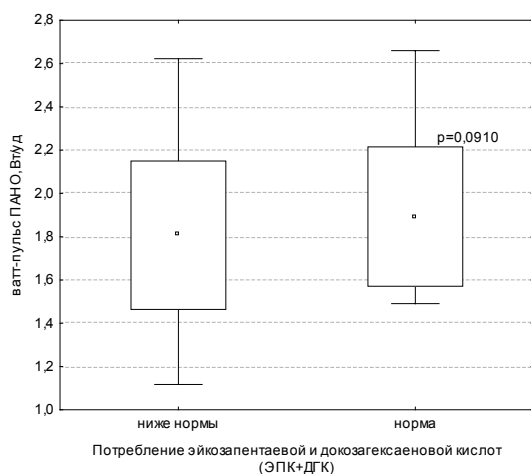
#### Определение ФР обследуемых спортсменов

Антропометрические характеристики обследуемых спортсменов были схожи с ранее опубликованными данными [2], но отличались от показателей норвежских лыжников [25], которые были старше, выше ростом, с большим ИМТ, массой тела и МПК/кг, но с меньшей долей содержания МЖ. Обследованные нами лыжники-гонщики отличались от элитных спортсменов Норвегии [25] меньшими антропометрическими характеристиками и показателями ФР, что можно объяснить различием в методических подходах, сезоном обследования [2] и уровнем тренированности.

С ростом интенсивности физической нагрузки до ПАНО отмечается повышение эффективности легочной вентиляции, ПК, содержания дезоксигенированного гемоглобина в работающих мышцах, а также САД и ДАД, ЧСС, [2, 4]. Эффективным механизмом обеспечения функциональных систем кислородом во время мышечной деятельности является увеличение сердечного выброса, прироста ЧСС и ПК [4].

#### Оценка жирового рациона спортсменов

Ранее нами показано, что вклад жирового компонента в энергетическую структуру суточных рационов более 130 спортсменов циклических видов спорта, в отличие от углеводов, увеличен на 7–12 % от рекомендуемых величин, что в целом характерно для северян [2]. Кроме того, рацион питания характеризовался дефицитом энергетической ценности, недостаточным содержанием углеводов и ряда ПНЖК [2]. Сходную проблему питания спортсменов – недостаточное количество углеводной и избыток жировой



Показатель ватт-пульс ПАНО в зависимости от уровня n-3 ПНЖК в рационе лыжников

пищи — отмечают отечественные и иностранные исследователи [3, 17, 18], что может вести к снижению физического качества выносливости и повышать риск развития утомления по сравнению с использованием высокоуглеводных рационов [17]. Следует заметить, что функциональное состояние и энергетические возможности организма спортсменов зависят не только от количества потребленного жира, но и от качественного состава потребляемых жиров.

Насыщенные ЖК (средне- и длинноцепочечные) могут быть эндогенно синтезированы в организме и традиционно являются основными кислотами, вовлеченными в энергообеспечение аэробных нагрузок средней интенсивности. Показано, что при субмаксимальных нагрузках (работа в течение часа при 50–55 % от МПК) повышается уровень незатерифицированных ЖК, изменяется баланс отдельных ЖК в фосфолипидах эритроцитов и плазме крови. Так, отмечается прирост мононенасыщенной олеиновой кислоты и значительное снижение доли насыщенных пальмитиновой и стеариновой кислот, вероятно, в результате частичного поглощения этих ЖК мышцами [21–23]. Тренировки низкой интенсивности повышают активность цитратсинтазы и модифицируют состав ЖК преимущественно в составе фосфолипидов скелетной мышцы, значимо увеличивая содержание олеиновой, ДГК и снижая индекс  $n3/n6$  у тренированных спортсменов в отличие от нетренированных [16]. В то же время показано, что при нагрузках до истощения заметно активизируется метаболизм среднецепочечных ЖК [20], хотя единого консенсуса по этому вопросу также не существует.

Недостаток в потреблении класса  $n-3$  ПНЖК сопоставим с фоновым дефицитом  $n-3$  ПНЖК в плазме крови у большинства лыжников-гонщиков, который выявлен ранее нами [2] и зарубежными исследователями [27]. Так, описан массовый дефицит ЭПК и ДГК среди 106 немецких элитных спортсменов из национальных сборных команд видов спорта на выносливость, рассчитанный на основе индекса омега-3 (NS-Omega-3 Index), и только один спортсмен имел значение в пределах целевого диапазона  $>8$  %.

Функциональное состояние мышц, а также энергетический обмен миоцитов являются критическим условием выполнения физических упражнений [10]. Показатель ватт-пульс на ПАНО, вероятно, связан в том числе с уровнем  $n-3$  ПНЖК в клетках мышечной ткани. Доказано положительное влияние незаменимых жиров на мышечный анаболизм и катаболизм и их участие как эрогенных средств [17, 28]. Показано, что длительные и интенсивные тренировки значимо увеличивают содержание олеиновой и ДГК преимущественно в фосфолипидах скелетной мышцы [14]. Так, дополнительный прием  $n-3$  ПНЖК значительно индуцирует метаболические гены, а также окислительный метаболизм (ПК) в мышечных клетках [27]. Вероятно, ДГК может способствовать улучшению спортивной результативности за счет модуляции проницаемости

клеточных мембран для глюкозы и аминокислот (это подтверждается повышением регуляции транспортера GLUT4), что может стимулировать гликолитическую способность в миоцитах [26]. Прием  $n-3$  ПНЖК (2,7 г в течение 30 дней [19] или 3,0 г в течение 7 дней) способствовал более быстрому восстановлению после силовых эксцентрических упражнений, снижению мышечной боли, уровня лактата и С-реактивного белка [15].

#### *Характеристика влияния $n-3$ ПНЖК на ФР*

Важнейшими показателями успешного функционирования КРС и наиболее объективными параметрами, характеризующими ФР, для спортсменов являются: МПК, ПК на ПАНО, ЧСС, САД/ДАД [2, 25]. Показано, что спортивный результат на длинных дистанциях у спортсменов (работа длительностью более 3–4 мин) зависит от мощности, развиваемой на уровне ПАНО [4, 12]. В связи с этим мы рассмотрели взаимосвязь между уровнем потребления  $n-3$  ПНЖК в рационе спортсменов и показателями ФР. Установлена слабая корреляционная связь ЛНК с МПК и ватт-пульс ПАНО. Предполагаем, что слабое влияние незаменимых ПНЖК на показатели ФР обусловлено низким уровнем их потребления и/или недостаточностью выборки, поскольку оценка питания достаточно субъективный фактор.

Показатель экономичности вегетативного обеспечения мышечной работы — ватт-пульс у обследуемых нами спортсменов, вероятно, может зависеть и от количества потребляемых с пищей ЛНК и ЭПК + ДГК.

Участие  $n-3$  ПНЖК в регуляции ритма сердца и вегетативного баланса подтверждено в ряде работ [2, 24, 29]. Потребление рыбьего жира, содержащего длинноцепочечные  $n-3$  ПНЖК, было связано со снижением ЧСС в покое и на пике нагрузки в тесте до истощения у высокотренированных велосипедистов [24]. Результаты мета-анализа 15 исследований показали, что высокочастотные волны спектра вариабельности сердечного ритма (HF) существенно возрастают при потреблении рыбьего жира, а индекс вагосимпатического взаимодействия (LF/HF) имеет тренд на понижение, что указывает на усиление вагусного тонуса [29].

Установлено положительное влияние дополнительного приема содержащих  $n-3$  ПНЖК добавок у спортсменов, тренирующих выносливость, на состояние эндотелия сосудов и предположительно с этим связанное повышение МПК [29]. Прием  $n-3$  ПНЖК (1 540 мг/сутки  $n-3$ -ПНЖК) в течение 3 месяцев вызвал увеличение ( $p < 0,05$ ) ПК при физической нагрузке и увеличение ФР, механизмы не обсуждаются [1]. В ряде работ отмечают отсутствие эффекта  $n-3$ -ПНЖК на увеличение МПК и ФР [6, 8]. Так, в рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании с участием 28 высококвалифицированных футболистов-мужчин не был показан прирост максимальной аэробной мощности, ПК ПАНО и показателей бега от 10-недельного приема добавок

(1,60 г/день ЭПК и 1,04 г/день ДГК) [24]. В целом отмечен ряд положительных эффектов от добавок рыбьего жира в рацион, например, снижение пикового ЧСС при субмаксимальных нагрузках у спортсменов [23].

Таким образом, можно предположить, что большее потребление n-3 ПНЖК в рационе спортсменов улучшает энергетику мышечной ткани и соответственно эффективность выполняемых мышечных локомоций. Следует отметить, что изучение уровня эссенциальных кислот не только в рационе питания, но и в крови спортсменов и увеличение объёма выборки, бесспорно, повысило бы вероятность получения более валидных и обоснованных выводов по изучаемой тематике.

#### Заключение

Анализ потребления ЖК в рационе спортсменов выявил повышенное относительно нормы потребление n-6 линолевой кислоты и насыщенных жиров. Также описан существенный недостаток потребления эйкозапентаеновой и докозагексаеновой кислот у 70 % обследуемых спортсменов и линоленовой кислоты у 35 % юношей. Изучение связи между потреблением незаменимых ЖК и показателями ФР среди юношей, занимающихся лыжными гонками, выявил слабую корреляционную связь ЛНЖ с МПК ( $r_s = 0,358$ ;  $r = 0,037$ ) и ватт-пульс ПАНО ( $r_s = 0,455$ ;  $r = 0,007$ ). Ватт-пульс на ПАНО был значимо ниже в группе с низким потреблением линоленовой кислоты в рационе ( $r = 0,017$ ).

**Рекомендации.** Оптимизация жирового компонента (включение в диетический стол расширенного перечня продуктов, содержащих n-3 ПНЖК) в рационе питания спортсменов является мерой улучшения эффективности мышечной деятельности и повышения ФР.

#### Авторство

Люднина А. Ю. внесла основной вклад в концепцию и дизайн исследования, получение первичных данных, их анализ и интерпретацию; Гарнов И. О. получал исследовательские данные, подготовил первый вариант статьи; Бойко Е. Р. окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись, организовал и руководил исследованием.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов. Люднина Александра Юрьевна — ORCID 0000-0003-4849-4735; SPIN 6481-3071

Гарнов Игорь Олегович — ORCID 0000-0002-2604-2773; SPIN 3555-3465

Бойко Евгений Рафаилович — ORCID 0000-0002-5561-0936; SPIN 5402-8176

#### Список литературы / References

1. Бобкова С. Н., Зверева М. В., Искакова Ж. Т. Применение полиненасыщенных жирных кислот в программе физической реабилитации лиц с дислипотеидемиями // Актуальные проблемы и достижения в медицине: сб. науч. Трудов. Самара: Инновационный центр развития образования и науки, 2017. С. 16–18.

Bobkova S. N., Zvereva M. V., Iskakova Zh. T. Application of polyunsaturated fatty acids in the program of physical rehabilitation of persons with dislipoproteinemia In:

*Aktual'nye problemy i dostizheniia v meditsine. Sb. nauch. trudov* [Actual problems and achievements in medicine. Digest of Scientific Papers]. Samara, 2017, pp. 16-18. [In Russian]

2. Бойко Е. Р., Логинова Т. П., Варламова Н. Г. и др. Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта / Федеральный исследовательский центр Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук. Институт физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Сыктывкар, 2019. 256 с.

Bojko E. R., Loginova T. P., Varlamova N. G. *Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy obespecheniya sportivnoi deyatel'nosti zimnikh tsiklicheskih vidov sporta* [Physiological and biochemical mechanisms to ensure the sports activities of winter cyclic sports]. Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar, 2019, 256 p. [In Russian]

3. Олейник С. А. Спортивная фармакология и диетология. М.: Диалектика, 2019. 256 с.

Oleinik S. A. *Sportivnaya farmakologiya i dietologiya* [Sports Pharmacology and Dietetics]. Moscow, Dialektika Publ., 2019, 256 p. [In Russian]

4. Попов Д. В., Виноградова О. Л. Аэробная работоспособность: роль доставки кислорода, его утилизации и активации гликолиза // Успехи физиологических наук. 2012. № 1. С. 30–47.

Popov D. V., Vinogradova O. L. Aerobic Performance: Role of Oxygen Delivery and Utilization, Glycolytic Flux. *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*. 2012, 1, pp. 30-47. [In Russian].

5. Швеллнус М. П. Олимпийское руководство по спортивной медицине / пер. с англ.; науч. ред. В. В. Уйба. М.: Практика, 2011. 672 с.

Schwellnus M. *Olimpiyskoe rukovodstvo po sportivnoy meditsine* [Olympic textbook of medicine in sport]. Moscow, Praktika Publ., 2011, 672 p.

6. Andersson A., Sjodin A., Hedman A., Olsson R., Vessby B. Fatty acid profile of skeletal muscle phospholipids in trained and untrained young men. *American Journal Physiology Endocrinology Metabolism*. 2000, 279, pp. 744-751.

7. Barbara Varga-Pintér, Patricia Horváth, Zsuzsanna Kneffel Zsuzsanna Major, Péter Osváth, Gábor Pavlik Resting. Blood Pressure Values of Adult Athletes. *Kidney Blood Press Res*. 2011, 34, pp. 387-395.

8. Boss A., Lecoultre V., Ruffieux C., Tappy L., Schneiter P. Combined effects of endurance training and dietary unsaturated fatty acids on physical performance, fat oxidation and insulin sensitivity. *British Journal of Nutrition*. 2010, 103 (8), pp. 1151-1159.

9. Calder P. C. Marine omega-3 fatty acids and inflammatory processes: Effects, mechanisms and clinical relevance. *Biochimica et Biophysica Acta-molecular and Cell Biology of Lipids*. 2015, 4, pp. 469-484.

10. Da Boit M., Hunter A. M., Gray S. R. Fit with good fat? The role of n-3 polyunsaturated fatty acids on exercise performance. *Metabolism*. 2017, 66, pp. 45-54.

11. Driskell J. A., Wolinsky I. *Nutritional Assessment of Athletes*. 2nd ed., CRC Press. Taylor and Francis Group, 2011, p. 393.

12. Fabre N., Balestreri F., Leonardi A., Schena F. Racing Performance and Incremental Double Poling Test on Treadmill in Elite Female Cross-Country Skiers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010, 24 (2), pp. 401-407.

13. Farsang Cs. *The handbook of hypertension (in Hungarian)*. Budapest, Medintel, 2000, pp. 29-31.

14. Helge J. W., Wu B. J., Willer M., Dagaard J. R., Storlien L. H., Kiens B. Training affects muscle phospholipid fatty acid composition in humans. *Journal Applied Physiology*. 2001, 90, pp. 670-677.

15. Jouris K. B., McDaniel J. L., Weiss E. P. The effect of n-3 PUFA fatty acid supplementation on the inflammatory response to eccentric strength exercise. *Journal Sports Science Medicine*. 2011, 10, pp. 432-438.

16. Kerksick C. M., Wilborn C. D., Roberts M. D. et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2018, 15 (1), p. 38.

17. Kiens B., Helge W. J. *Adaptation to a High Fat Diet. Nutrition in Sport*. Maughan R. M. (Ed). Blackwell Science Ltd, 2000, pp. 192-202.

18. Lembke P., Capodice J., Hebert K., Swenson T. Influence of Omega-3 (N3) Index on Performance and Wellbeing in Young Adults after Heavy Eccentric Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2014, 13 (1), pp. 151-156.

19. Lyudinina A. Yu., Ivankova G. E., Bojko E. R. Priority use of medium-chain fatty acids during high-intensity exercise in crosscountry skiers. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2018, 15 (57), pp. 2-8.

20. Mickleborough T. D. Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids in Physical Performance Optimization. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2013, 23, pp. 83-96.

21. Mougios V., Ring S., Petridou A., Nikolaidis M. G. Duration of coffee- and exercise-induced changes in the fatty acid profile of human serum. *Journal of Applied Physiology*. 2003, 94 (2), p. 476-484.

22. Nawrocki A., Knapp M., Zendzian-Piotrowska M. Effect of exercise on the content and composition of phospholipid-fatty acids in rat skeletal muscles. *Biology of Sport*. 2006, 23 (1), pp. 97-104.

23. Peoples G. E., McLennan P. L., Howe P. R., et al. Fish oil reduces heart rate and oxygen consumption during exercise. *Journal Cardiovascular Pharmacology*. 2008, 52,

pp. 540-547.

24. Raastad T., Hostmark A. T., Stromme S. B. Omega-3 fatty acid supplementation does not improve maximal aerobic power, anaerobic threshold and running performance in well-trained soccer players. *Scandinavian Journal Medicine Science of Sports*. 1997, 7, pp. 25-31.

25. Sandbakk Ø., Solli G. S., Hans-Christer Holmberg. Sex Differences in World Record Performance: The Influence of Sport Discipline and Competition Duration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2017, 23, pp. 45-52.

26. Schacky C., Kemper M., Haslbauer R., Halle M. Low Omega-3 Index in 106 German Elite Winter Endurance Athletes: A Pilot Study Article. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2014, 24 (5), p. 103.

27. Vaughan R. A., Garcia-Smith R., Bisoffi M., Conn C. A., Trujillo K. A. Conjugated linoleic acid or omega 3 fatty acids increase mitochondrial biosynthesis and metabolism in skeletal muscle cells, *Lipids in Health and Disease*. 2012, 11, p. 142.

28. Xin W., Wei W., Li X. Y. Short-term effects of fish-oil supplementation on heart rate variability in humans: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2013, 97 (5), pp. 926-935.

29. Zebrowska A., Mizia-Stec K., Mizia M., Gasior Z., Poprzecki S. Omega-3 fatty acids supplementation improves endothelial function and maximal oxygen uptake in endurance-trained athletes. *European Journal of Sport Science*. 2015, 15 (4), pp. 305-314.

#### Контактная информация:

Людинина Александра Юрьевна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела экологической и медицинской физиологии Института физиологии Федерального исследовательского центра Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Адрес: 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, д. 50

E-mail: salu\_06@inbox.ru