

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Комплексная оценка влияния полиненасыщенных жирных кислот омега-3 на функциональное состояние жителей-северян в критический период года

И.В. Аверьянова, О.О. Алёшина, И.Н. Безменова, С.И. Вдовенко

Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Магадан, Россия

АННОТАЦИЯ

Цель. Изучение динамики морфофизиологических показателей, биохимического профиля, уровня стресса, а также уровня поступления жирных кислот различных классов в организм человека и выявления дефицита эссенциальных жирных кислот до введения в рацион питания биологически активной добавки с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3.

Материалы и методы. Проведено комплексное морфофизиологическое и биохимическое исследование, включающее в себя анализ 35 показателей, до обогащения рациона питания и после 1,5 мес. приёма биологически активной добавки с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3.

Результаты. Показано, что мужчины (опытная и контрольная группы), включённые в анализ, имели сходные показатели по всем анализируемым профилям на момент начала исследования. После 1,5-месячного приёма дополнительной дозы полиненасыщенных жирных кислот семейства омега-3 (2-й этап) в опытной группе наблюдали оптимизационные перестройки по ряду анализируемых систем, что проявлялось в улучшении функционального состояния сердечно-сосудистой системы, в свою очередь обеспечивающего оптимальный метаболический портрет организма, в нормализации углеводно-липидного обмена, в значительном уменьшении концентрации гормона стресса кортизола и одновременном снижении общего воспалительного фона организма, что наглядно представлено в уменьшении площади матрицы напряжения функциональных резервов. Аналогичных перестроек у мужчин группы сравнения, не принимавших добавок с докозагексаеновой и эйкозапентаеновой кислотами, не было; напротив, в данной группе отмечены дизадаптационные проявления углеводного обмена, капиллярного кровотока, состояния сердечной-сосудистой системы, что, по-нашему мнению, обусловлено периодом проведения исследований в самое критическое время года за счёт перехода температурной кривой через ноль.

Заключение. Проведённое исследование может являться основанием для рекомендации приёма биологических активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 жителям-северянам как определённого нивелирующего фактора неблагоприятного воздействия сезонных природно-климатических изменений.

Ключевые слова: функциональные резервы; жители-северяне; полиненасыщенные жирные кислоты омега-3; оптимизационная роль.

Как цитировать:

Аверьянова И.В., Алёшина О.О., Безменова И.Н., Вдовенко С.И. Комплексная оценка влияния полиненасыщенных жирных кислот омега-3 на функциональное состояние жителей-северян в критический период года // Экология человека. 2024. Т. 31, № 6. С. 468–483.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Comprehensive assessment of the effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the functional status of northern residents during a critical season

Inessa V. Averyanova, Olga O. Alyoshina, Irina N. Bezmenova, Sergei I. Vdovenko

Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

ABSTRACT

AIM: To examine the dynamics of morphophysiological and biochemical indicators, stress levels, and the intake of different classes of fatty acids in the human body, identifying essential fatty acid deficiencies before omega-3 polyunsaturated fatty acid (PUFA) supplementation.

MATERIALS AND METHODS: A comprehensive morphophysiological and biochemical study was conducted, analyzing 35 parameters before and after 1.5 months of omega-3 PUFA supplementation.

RESULTS: At baseline, the men in both the experimental and control groups demonstrated similar profiles across all analyzed parameters. After 1.5 months of omega-3 PUFA supplementation (Stage 2), the experimental group exhibited optimization-driven adjustments in several physiological systems. These changes included improvements in cardiovascular function, which facilitated a more optimal metabolic profile, normalization of carbohydrate-lipid metabolism, a significant reduction in the stress hormone cortisol, and a concurrent decrease in overall systemic inflammation, as evidenced by a reduction in the tension matrix of functional reserves. In contrast, the control group, which did not receive docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid supplementation, did not experience similar adaptations. Instead, maladaptive responses in carbohydrate metabolism, capillary blood flow, and cardiovascular function were observed, which were likely exacerbated by the critical seasonal transition, as ambient temperatures fluctuated around freezing.

CONCLUSION: The findings of this study support the recommendation of omega-3 PUFA supplementation for northern residents as a mitigating factor against the adverse effects of seasonal climatic fluctuations.

Keywords: functional reserves; northern residents; omega-3 polyunsaturated fatty acids; optimization role.

To cite this article:

Averyanova IV, Alyoshina OO, Bezmenova IN, Vdovenko SI. Comprehensive assessment of the effects of omega-3 polyunsaturated fatty acids on the functional status of northern residents during a critical season. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):468–483.

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

Received: 11.07.2024

Accepted: 20.12.2024

Published online: 23.01.2025

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

在关键季节期间, ω -3 多不饱和脂肪酸对北方居民功能状态的综合影响评估

Inessa V. Averyanova, Olga O. Alyoshina, Irina N. Bezmenova, Sergei I. Vdovenko

Scientific Research Center «Arktika» Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russia

摘要

研究目的。研究北方居民的形态生理学和生化指标、压力水平以及不同类别脂肪酸的摄入情况,并在补充 ω -3 多不饱和脂肪酸前后评估必需脂肪酸缺乏情况的影响。

材料与方法。本研究进行了一项综合的形态生理学与生化分析,涵盖35项指标,并比较补充 ω -3多不饱和脂肪酸前后(1.5个月)的生理和代谢变化。

结果。基线测量:实验组与对照组的受试男性在所有分析参数上表现出相似的特征。补充 ω -3 多不饱和脂肪酸1.5 个月后(第二阶段)实验组的多个生理系统出现了优化调整,主要表现为:心血管功能改善,促进更优化的代谢模式;碳水化合物-脂质代谢的正常化;压力激素皮质醇水平显著下降;全身炎症水平同步降低,这一趋势通过功能储备张力矩阵减少得到量化体现。对照组(未摄入二十二碳六烯酸和二十碳五烯酸):未观察到类似的适应性变化。相反,该组表现出碳水化合物代谢失调、毛细血管血流异常及心血管系统功能失衡,可能与研究期间的气温波动,特别是关键季节温度接近零度的变化相关。

结论。研究结果表明,补充 ω -3 PUFA可在北方居民中发挥保护作用,有助于缓解季节性气候波动的不利影响,优化心血管健康和代谢功能。

关键词: 功能储备; 北方居民; ω -3 多不饱和脂肪酸; 优化作用。

引用本文:

Averyanova IV, Alyoshina OO, Bezmenova IN, Vdovenko SI. 在关键季节期间, ω -3 多不饱和脂肪酸对北方居民功能状态的综合影响评估. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(6):468–483. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco634225>

收到: 11.07.2024

接受: 20.12.2024

发布日期: 23.01.2025

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время в мире фиксируется недостаточное потребление в пищу жирных кислот семейства омега-3, что ведёт к их сниженным концентрациям в крови, повышенному риску ассоциированных хронических заболеваний и позволяет говорить о глобальном дефиците данного нутриента [1]. Эйкозапентаеновая (ЭПК) и докозагексаеновая (ДГК) кислоты являются основными составляющими омега-3, синтез которых осуществляется из α -линоленовой кислоты, которая не может производиться человеческим организмом самостоятельно и должна поступать с пищей. Стоит отметить, что ЭПК и ДГК относятся к мощным пищевым сигнальным молекулам, с максимально раскрытым потенциалом для оптимизации состояния здоровья человека [2].

В настоящее время потребление с пищей длинноцепочечных омега-3 жирных ЭПК и ДГК связывают с многочисленными преимуществами для сердечно-сосудистой системы, такими как снижение триглицеридов (ТГ) [3, 4], артериального давления [5, 6], повышение холестерина липопротеидов высокой плотности [4] и уменьшение воспаления [7–9]. Хотя причинно-следственные связи ещё предстоит установить, эпидемиологические исследования показали, что более высокое потребление ЭПК и ДГК (их более высокие уровни в крови) связано со снижением риска тревоги и депрессии [9], рака [10], астмы [11], болезни Альцгеймера [12], диабета 1-го типа [13], рассеянного склероза [14], сердечно-сосудистых заболеваний [15, 16] и общей смертности [15]. Дети женщин, которые потребляют ЭПК и ДГК во время беременности и кормления грудью, имеют лучшее неврологическое развитие и другие показатели здоровья [17].

Цель исследования. Изучение динамики основных морфофизиологических и биохимических показателей жителей-северян до и после введения в рацион питания добавки с полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК) омега-3.

Исходя из цели работы, поставили следующие задачи: изучить соматометрический статус, функциональные резервы кардиогемодинамики на основе анализа характеристик артериального давления, вариабельности сердечного ритма, дисперсионного картирования, оценить функциональные резервы системы дыхания и энергетически-метаболических процессов организма (функции внешнего дыхания и газоанализа), провести анализ состояния микроциркуляторного русла (капиллярного (микрососудистого) русла сердечно-сосудистой системы), оценить биохимический профиль: углеводный и липидный обмены веществ, уровень витамина D, уровень стресса на основе анализа кортизола в слюне, уровень воспалительных процессов в организме, уровень поступления жирных кислот различных классов в организм человека и выявления дефицита эссенциальных жирных кислот.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Перспективное рандомизированное контролируемое открытое исследование с использованием метода простой (неограниченной) рандомизации.

Критерии соответствия

Условием включения испытуемых в исследование являлось отсутствие хронических заболеваний в стадии обострения и жалоб на состояние здоровья, а также отсутствие приёма биологически-активных добавок (БАД) с омега-3 ПНЖК. Все лица, входящие в выборку, были постоянными жителями Магаданской области и характеризовались сопоставимыми условиями жизни, в том числе одинаковым режимом двигательной активности. Группы были также сопоставимы по возрасту, полу и анализируемым параметрам.

Объекты исследования

В общую выборку вошли 45 добровольцев-мужчин (средний возраст $40,0 \pm 0,8$ года), преимущественно европеоидов (этническая принадлежность определялась на основе самоидентификации респондентов), набор которых осуществляли путём размещения объявления о проведении исследования в средствах массовой информации и на сайте организации. Исходя из полученных первичных данных методом простой рандомизации участники исследования были разделены на две группы: 1-я — опытная группа ($n=30$, участники принимали БАД с омега-3), 2-я группа — контрольная ($n=15$, без воздействия на рацион питания).

Условия проведения исследования

Для поставленной цели в рамках реализации программы научного мониторинга жителей-северян «Арктика. Человек. Адаптация. Омега-си», реализуемой на базе НИЦ «Арктика» ДВО РАН (Магадан), было проведено комплексное обследование представителей мужского пола — уроженцев северных территорий.

Описание медицинского вмешательства

Согласно протоколу научного эксперимента, исследования в обеих группах проводили в 2 этапа: до и после воздействия на рацион питания. Опытная группа принимала утром натощак в течение 1,5 мес. БАД с омега-3 ПНЖК в виде препарата торговой марки «Nord Mile» rTG fish oil (2 капсулы, содержащие 1200 мг, из которых 660 мг — ЭПК и 440 мг — ДГК).

Методика проведения измерений

Антропометрические данные получены следующим образом: длину тела (см) измеряли при помощи настенного ростомера (точность — 0,5 см), массу тела (кг) —

с использованием медицинских весов BOSCH PPW 2360 (Китай), точность — 0,1 кг. Исходя из полученных данных рассчитывали индекс массы тела ($\text{кг}/\text{м}^2$), ранжирование результатов проводили согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения.

Показатели систолического (САД) и диастолического (ДАД) артериального давления (мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин) фиксировали трижды с вычислением среднего арифметического с помощью тонометра (Nessei DS-1862, Япония) и дальнейшим расчётом ударного объёма по Старру (мл), минутного объёма кровообращения (л/мин), общего периферического сопротивления сосудов ($\text{дин}^2 \times \text{с} \times \text{см}^{-5}$). Вариабельность сердечного ритма регистрировали при помощи комплекса «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi, анализ проводили по общепринятой методике в соответствии с методическими рекомендациями группы российских экспертов. У испытуемых в состоянии покоя (сидя) регистрировали SI (усл. ед.) — стресс-индекс (индекс напряжения регуляторных систем). Оценку дисперсионного картирования электрокардиограммы на основе дисперсионной характеристики показателя «Миокард» (%) проводили с использованием аппаратно-программного обеспечения «КардиоВизор-06с» (Россия).

Исследование структуры капилляров и микроциркуляции изучали в зоне эпонихия (кожного валика) ногтевого ложа с применением капли иммерсионного масла при помощи компьютерного видеокапилляроскопа «Капилляроскан-1» (ООО «Новые энергетические технологии», Сколково), оснащённого оптическим зондом. В работе проведён анализ следующих морфофункциональных показателей: диаметр артериального, венозного и переходного отделов капилляра (мкм), длина капилляра (мкм), количество сладжей (ед./с.).

Функцию внешнего дыхания мужчин оценивали методом индексации объёмного давления и пневматического потока на медицинском спирографе «Диамант-С», все базовые характеристики автоматически сравнивали с должными значениями, представляющими собой величины, рассчитанные для популяции жителей центральной части России. Оценивали мгновенную объёмную скорость на участках 25, 50, 75% от форсированной жизненной ёмкости лёгких (л/с). Показатели энергогазообмена (энергозатраты (ккал/мин; ккал/день) и их процентное отношение к должному уровню) определяли с помощью метаболога «Спиrolан-М» (Ланамедика, Россия).

У испытуемых проводили забор венозной крови натощак вакуумной системой в лаборатории ООО «Юни-лаб-Хабаровск» для анализа следующих показателей: гликозилированного гемоглобина (HbA_{1c}) методом турбидиметрического иммуноингибирования, сертифицированного по NGSP (AU 680, Beckman Coulter, США); инсулина иммунохемилюминесцентным методом с использованием парамагнитных частиц (Dxl800, Beckman Coulter); глюкозы с использованием гексокиназного метода (AU 680,

Beckman Coulter, США); холестерина (ОХС, ммоль/л), ТГ (ммоль/л), холестерина липопротеинов высокой плотности (ЛПВП, ммоль/л) и холестерина липопротеинов низкой плотности (ЛПНП, ммоль/л) калориметрическим ферментативным методом (AU 680, Beckman Coulter, США); дегидроэпиандростерона-сульфата (мкг/дл) и кортизола (нмоль/л) методом иммунохроматографического анализа с использованием автоматического иммунохемилюминесцентного анализатора (Mindray CL 6000i); С-реактивного белка (СРБ, мг/л) методом иммунотурбидиметрии (анализатор AU 680, Beckman Coulter, США); исследование 25(OH) витамина D (нмоль/л) в сыворотке крови выполняли на автоматическом иммунохимическом анализаторе (CL2000i, Mindray, Китай) с использованием метода иммунохемилюминесцентного анализа, определение индекса омега-3 (%) проводили на основе газовой хроматографии с масс-селективным детектированием (Agilent Technologies 6850/5973N).

На основе полученных данных рассчитывали индекс инсулинорезистентности HOMA-IR: $[\text{инсулин (мкМе/мл)} \times \text{глюкоза (ммоль/л)}] / 22,5$ [18], а также коэффициент атерогенности: $(\text{ОХС} - \text{ЛПВП}) / \text{ЛПВП}$ [19].

Дислипидемию анализируемых характеристик определяли исходя из критериев клинических рекомендаций Российской Федерации 2023 г. [20] и на основе доклада экспертов NCEP [21]. При выявлении у обследуемых концентрации глюкозы натощак более 5,5 ммоль/л определяли нарушение углеводного обмена. Выявление инсулинорезистентности проводили с помощью метода оценки гомеостатической модели (HOMA-IR) с точкой отсечения больше 2,50 усл. ед. [22]. При значении ТГ, превышающего 1,7 ммоль/л, устанавливали гипертриглицеридемию. При уровне холестерина ЛПВП менее 1,03 ммоль/л фиксировали наличие гипоальфахолестеринемии. При величинах САД 130 мм рт. ст. и более и/или ДАД 85 мм рт. ст. и более определяли артериальную гипертензию. Для выявления недостаточного и дефицитного уровней концентрации 25(OH) витамина D использовали пороговые значения в соответствии с критериями клинических рекомендаций Российской ассоциации эндокринологов [23].

Продолжительность исследования

Исследование проведено в осенне-зимний период 2023 г.

Этическая экспертиза

Исследование выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации (2013 г.). Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом Научно-исследовательского центра «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук (заключение № 002/021 от 26.11.2021 г.). У всех обследуемых получено письменное информированное согласие для включения в исследование.

Статистический анализ

Размер выборки предварительно не рассчитывали.

Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверку на нормальность распределения измеренных переменных осуществляли на основе теста Шапиро–Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го процентилей, а параметрических — как среднее значение и его ошибка ($M \pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическую значимость различий определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с распределением, отличающимся от нормального. При сравнении несвязанных выборок статистическую значимость различий определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна–Уитни для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа по всем системам между опытной и контрольной

группами, полученные на момент начала исследования (1-й этап). Представленные данные позволяют сделать вывод о сопоставимости выборок, так как более чем по 90% показателей различий не выявлено. Стоит отметить, что, несмотря на случайную рандомизацию анализируемой выборки на группы, по некоторым характеристикам липидного профиля и показателям микроциркуляции отмечены значимые различия.

В табл. 2 представлены результаты 2-го этапа исследования, а также сравнительный анализ полученных данных с аналогичными до приёма БАД с ПНЖК, которые позволили выявить положительное влияние данной добавки на различные функциональные системы человеческого организма. Так, в опытной группе после приёма омега-3 ПНЖК отмечено значимое снижение индекса миокарда, что свидетельствует об уменьшении риска развития начальных и пограничных признаков дисфункций в миокарде, снижении длины капилляра макроциркуляционного русла, уровня HbA_{1c}, а также СРБ, который является маркером воспаления, снижении количества липопротеинов очень низкой плотности, а также уменьшение уровня кортизола, что может свидетельствовать об уменьшении стрессовой нагрузки на организм. Для контрольной группы отмечены дизадаптационные перестройки, которые проявляются в значимом возрастании индекса миокарда, диаметра венозного отдела

Таблица 1. Результаты 1-го этапа эксперимента и сравнительный анализ полученных данных между анализируемыми группами (до начала приёма биологически-активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3)

Table 1. Results from the first phase of the experiment, along with a comparative analysis of data collected between the groups under study (prior to the administration of dietary supplements containing omega-3 PUFA)

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimen- tal group	Контрольная группа Control group	Уровень значи- мости различий Level of sig- nificance of the differences
Соматометрические показатели Somatometric parameters			
Возраст, лет Age (years)	41,1±0,9	38,1±1,5	0,098
Длина тела, см Body length (cm)	180,6±1,2	181,0±1,4	0,835
Масса тела, кг Body weight (kg)	88,2±2,3	86,9±3,9	0,781
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	27,1±0,8	26,4±1,0	0,558
Общее содержание жира в организме, % Total body fat content (%)	19,7±1,1	17,5±1,1	0,083
Показатели кардиогемодинамики Cardiohemodynamic parameters			
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	124,9±1,4	122,4±2,0	0,157
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	79,3±1,5	79,1±2,0	0,468
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate (beats/min)	69,8±2,2	69,3±2,7	0,445
Ударный объём, мл Impact volume (ml)	51,6±1,4	52,6±2,3	0,356
Минутный объём кровообращения, мл/мин Minute volume of blood circulation (ml/min)	3591,9±146,2	3582,3±103,8	0,480
Общее периферическое сопротивление сосудов, дин ² ×с×см ⁻⁵ Total peripheral vascular resistance (din ² ×s×cm ⁻⁵)	2297,0±98,1	2195,8±69,4	0,202

Окончание табл. 1 | End of the Table 1

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimen- tal group	Контрольная группа Control group	Уровень значи- мости различий Level of sig- nificance of the differences
Индекс миокарда, % Myocardial index (%)	14,4±0,8	14,3±0,5	0,458
Стресс-индекс, усл. ед. Stress index (conl. units)	129,0 (82,2; 196,5)	108,2 (82,2; 192,9)	0,783
Макроциркуляторное русло Macrocirculatory system			
Диаметр артериального отдела, мкм Diameter of the arterial region (microns)	10,7±1,25	11,6±1,95	0,50
Диаметр венозного отдела, мкм Diameter of the venous section (microns)	22±1,93	17,1±1,29	0,021
Диаметр переходного отдела, мкм Diameter of the transitional section (microns)	31,9±3,4	34,9±10,1	0,390
Длина капилляра, мкм Capillary length (microns)	624,9±78,8	519,5±87,1	0,187
Сладжи, ед./с Sludge (units/s)	4,6±1,91	6,9±1,61	0,374
Внешнее дыхание и энергообмен External respiration and energy exchange			
Мгновенная объёмная скорость 25% (%) Instantaneous volumetric velocity 25% (%)	91,0±3,58	95,0±9,03	0,342
Мгновенная объёмная скорость 50% (%) Instantaneous volumetric velocity 50% (%)	79,0±4,95	82,0±8,34	0,379
Мгновенная объёмная скорость 75% (%) Instantaneous volumetric velocity 75% (%)	68,0±4,79	79,0±9,02	0,145
Ккал/день, ед. Kcal/day (units.)	2115,0±99,5	1980,0±148,7	0,455
Ккал, % Calories (%)	111,0±4,9	105,0±5,88	0,219
Биохимический профиль Biochemical profile			
Гликозилированный гемоглобин, % Glycosylated hemoglobin (%)	5,5±0,1	5,4±0,1	0,242
Глюкоза, ммоль/л Glucose (mmol/l)	5,2±0,1	5,3±0,1	0,242
Инсулин, мМе/мл Insulin (mcme/ml)	9,8±0,7	8,8±1,2	0,238
Инсулинорезистентность, усл. ед. Insulin resistance (conl. units)	2,1±0,2	2,0±0,2	0,363
Холестерин, ммоль/л Cholesterol (mmol/l)	5,44±0,11	4,98±0,18	0,031
Липопротеины высокой плотности, ммоль/л High-density lipoproteins (mmol/l)	1,34±0,06	1,36±0,07	0,415
Липопротеины низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoproteins (mmol/l)	3,56±0,17	3,11±0,17	0,058
Липопротеины очень низкой плотности, ммоль/л Very low density lipoproteins (mmol/l)	0,63±0,05	0,58±0,03	0,081
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides (mmol/l)	1,05±0,15	0,92±0,05	0,214
Коэффициент атерогенности, усл. ед. Coefficient of atherogenicity (conl. units)	3,20±0,18	2,78±0,21	0,073
Кортизол, нмоль/л Cortisol (nmol/l)	424,1±32,7	467,0±17,2	0,126
Дегидроэпиандростерон, мкг/дл Dehydroepiandrosterone (mcg/dl)	389,7±32,6	414,3±57,4	0,356
Концентрация 25(OH) витамина D, нмоль/л Concentration of 25(OH) vitamin D (nmol/l)	70,6±4,4	71,1±5,9	0,473
С-реактивный белок, мг/л C-reactive protein (mg/l)	2,8±0,9	2,2±0,2	0,260
Омега-3 индекс, % Omega-3 index (%)	8,9±0,4	9,1±0,5	0,378

Примечание. Полуширным начертанием выделены статистически значимые различия. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го процентилей, параметрических — средним значением и его ошибкой (M±m). При сравнении несвязанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок с параметрическим распределением и непараметрического критерия Манна–Уитни для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

Note. Statistically significant differences are highlighted in bold. The results of nonparametric methods are presented in the form of the median (Me) and interquartile range in the form of the 25th and 75th percentiles, parametric — the mean and its error (M±m). When comparing unrelated samples, the statistical significance of the differences was determined using the Student's *t*-test for independent samples with a parametric distribution and the nonparametric Mann–Whitney test for samples with a distribution other than normal.

Таблица 2. Результаты 2-го этапа исследования (после приёма опытной группой биологически-активных добавок с полиненасыщенными жирными кислотами омега-3 в дозе 1200 мг/сут), сопоставление полученных результатов с 1-м этапом

Table 2 Presents the results of the second stage of the study, which were obtained after the experimental group had taken dietary supplements containing omega-3 PUFA at a daily dose of 1200 (mg), and compares these results with those from the first stage

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimental group		p^*	Контрольная группа Control group		p^*
	1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage		1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage	
Соматометрические показатели Somatometric parameters						
Индекс массы тела, кг/м ² Body mass index (kg/m ²)	27,4±0,8	27,0±0,8	0,721	25,6±0,8	25,9±1,1	0,824
Общее содержание жира в организме, % Total body fat content (%)	19,7±1,1	19,9±1,1	0,900	17,5±1,1	18,6±1,2	0,503
Показатели кардиогемодинамики Cardiohemodynamic parameters						
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. Systolic blood pressure (mm Hg)	124,9±1,4	123,5±1,6	0,154	122,4±2,0	124,1±2,8	0,311
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. Diastolic blood pressure (mm Hg)	79,3±1,5	78,1±1,1	0,268	79,1±2,0	79,7±2,6	0,425
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate (beats/min)	69,8±2,2	69,1±2,1	0,412	69,3±2,7	72,3±3,2	0,189
Ударный объём, мл Impact volume (ml)	51,6±1,4	51,6±1,1	0,456	52,6±2,3	52,5±2,5	1,000
Минутный объём кровообращения, мл/мин Minute volume of blood circulation (ml/min)	3591,9±146,2	3566,5±133,0	0,448	3582,3±103,8	3752,8±188,8	0,224
Общее периферическое сопротивление сосудов, дин ² ×с×см ⁻⁵ Total peripheral vascular resistance (din ² ×s×cm ⁻⁵)	2297,0±98,1	2285,4±110,0	0,463	2195,8±69,4	2184,9±127,8	0,468
Индекс миокарда, % Myocardial index (%)	14,4±0,8	11,9±1,1	0,041	14,3±0,5	17,4±0,9	0,001
Стресс-индекс, усл. ед. Stress index (conl. units)	129,0 (82,2; 196,5)	145,1 (92,1; 233,2)	0,677	108,2 (82,2; 192,9)	148,9 (111,0; 216,2)	0,345
Макроциркуляторное русло Macrocirculatory system						
Диаметр артериального отдела, мкм Diameter of the arterial region (microns)	10,7±1,25	9,9±1,0	0,523	11,6±1,95	13,7±3,0	0,560
Диаметр венозного отдела, мкм Diameter of the venous section (microns)	22,0±1,9	25,4±2,1	0,248	17,1±1,29	22,1±2,7	0,042
Диаметр переходного отдела, мкм Diameter of the transitional section (microns)	31,9±3,4	34,1±4,3	0,685	34,9±10,1	54,0±8,69	0,164
Длина капилляра, мкм Capillary length (microns)	624,9±78,8	481±32,7	0,031	519,5±87,1	613,0±122,3	0,533
Сладжи, ед./с Sludge (units/s)	4,6±1,9	5,1±1,37	0,832	6,9±1,61	16,7±5,9	0,032
Внешнее дыхание и энергообмен External respiration and energy exchange						
Мгновенная объёмная скорость 25% (%) Instantaneous volumetric velocity 25% (%)	91,0±3,58	93,0±4,0	0,712	95,0±9,03	94,0±8,81	0,941
Мгновенная объёмная скорость 50% (%) Instantaneous volumetric velocity 50% (%)	79,0±4,95	82,0±5,2	0,679	82,0±8,34	83,0±8,74	0,939
Мгновенная объёмная скорость 75% (%) Instantaneous volumetric velocity 75% (%)	68,0±4,79	65,0±5,36	0,683	79,0±9,02	77,0±9,78	0,806
Ккал/день, ед. Kcal/day (units.)	2115,0±99,5	1985,0±86,3	0,332	1980,0±148,7	2103,0±162,4	0,583
Ккал, % Calories (%)	111,0±4,9	106,0±4,9	0,475	105,0±5,88	112,0±7,5	0,473
Биохимический профиль Biochemical profile						
Гликозилированный гемоглобин, % Glycosylated hemoglobin (%)	5,5±0,1	5,2±0,1	0,047	5,4±0,1	5,4±0,1	0,442

Окончание табл. 2 | End of the Table 2

Анализируемый показатель Analyzed indicator	Опытная группа An experimental group		p^*	Контрольная группа Control group		p^*
	1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage		1-й этап 1 st stage	2-й этап 2 nd stage	
Глюкоза, ммоль/л Glucose (mmol/l)	5,2±0,1	5,1±0,1	0,264	5,3±0,1	5,2±0,1	0,213
Инсулин, мМе/мл Insulin (mcme/ml)	9,8±0,7	10,1±0,9	0,202	8,8±1,2	11,4±1,1	0,029
Инсулинорезистентность, усл. ед. Insulin resistance (conl. units)	2,1±0,2	2,1±0,2	0,428	2,0±0,2	2,6±0,3	0,047
Холестерин, ммоль/л Cholesterol (mmol/l)	5,44±0,11	5,21±0,16	0,437	4,98±0,18	4,82±0,23	0,169
Лipoproteины высокой плотности, ммоль/л High-density lipoproteins (mmol/l)	1,34±0,06	1,29±0,04	0,084	1,36±0,07	1,27±0,09	0,193
Лipoproteины низкой плотности, ммоль/л Low-density lipoproteins (mmol/l)	3,56±0,17	3,46±0,14	0,313	3,11±0,17	3,32±0,22	0,275
Лipoproteины очень низкой плотности, ммоль/л Very low density lipoproteins (mmol/l)	0,63±0,05	0,50±0,03	0,042	0,58±0,03	0,49±0,04	0,208
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides (mmol/l)	1,05±0,15	1,13±0,13	0,287	0,92±0,05	1,11±0,14	0,172
Коэффициент атерогенности, усл. ед. Coefficient of atherogenicity (conl. units)	3,20±0,18	3,12±0,19	0,261	2,78±0,21	3,02±0,18	0,247
Кортизол, нмоль/л Cortisol (nmol/l)	424,1±32,7	365,2±20,6	0,038	467,0±17,2	420,7±20,5	0,106
Дегидроэпиандростерон, мкг/дл Dehydroepiandrosterone (mcg/dl)	389,7±32,6	353,4±24,1	0,187	414,3±57,4	381,1±20,5	0,321
Концентрация 25(OH) витамина D, нмоль/л Concentration of 25(OH) vitamin D (nmol/l)	70,6±4,4	64,3±2,7	0,879	71,1±5,9	72,1±3,2	0,383
C-реактивный белок, мг/л C-reactive protein (mg/l)	2,8±0,9	0,82±0,11	0,002	2,2±0,2	3,4±0,4	0,004
Омега-3 индекс, % Omega-3 index (%)	8,9±0,4	Нет данных	—	9,1±0,5	Нет данных	—

Примечание. * Уровень значимости различий. Полушпирным начертанием выделены статистически значимые различия. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25-го и 75-го перцентилей, параметрических — средним значением и его ошибкой ($M \pm m$). В случае сравнения связанных выборок статистическая значимость различий определялась с помощью t -критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с распределением, отличающимся от нормального.

Note. * The level of significance of the differences. Statistically significant differences are highlighted in bold. The results of nonparametric methods are presented in the form of the median (Me) and interquartile range in the form of the 25th and 75th percentiles, parametric — the mean and its error ($M \pm m$). In the case of comparing related samples, the statistical significance of the differences was determined using the Student's t -test for dependent samples with a normal distribution and the nonparametric Wilconson test for samples with a distribution other than normal.

макроциркуляторного русла, инсулина и, как следствие, индекса HOMA-IR, а также СРБ.

Помимо регистрации основных показателей, проанализировали процентное соотношение значений, выходящих за референсные пределы, для более детального рассмотрения изменений, происходящих в исследуемых группах (табл. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ

Первый этап исследования позволил констатировать, что все обследуемые мужчины характеризуются наличием избыточной массы тела: в опытной группе доля лиц с избыточной массой тела и ожирением составила 65%, в контрольной — 50%. При изучении антропометрических характеристик на 2-м этапе исследования выявлена

тенденция к снижению процента людей с ожирением в контрольной группе (с 27 до 20%) и возрастание количества людей с данным отклонением в группе наблюдения (с 7 до 13%). Влияние омега-3 ПНЖК на массу и состав тела представляет особый интерес, так как показано, что аналогичные по составу добавки способствуют лечению и профилактике различных компонентов метаболического синдрома, опосредованных ожирением. Данные, полученные относительно положительного влияния омега-3 на массу тела, хоть и противоречивы, но находят подтверждение в некоторых работах [24].

Представленные в табл. 2 показатели, характеризующие деятельность сердечно-сосудистой системы, свидетельствуют о том, что средние величины артериального давления и гемодинамики на 2-м этапе исследований не имели значимых отличий в двух группах. При этом

Таблица 3. Степень отклонений анализируемых показателей от нормативных величин, %**Table 3.** Extent of deviations of the analyzed indicators from standard values (%)

Анализируемые системы и показатели Analyzed systems and indicators	Опытная группа An experimental group		Контрольная группа Control group	
	до эксперимента before the experiment	после эксперимента after the experiment	до эксперимента before the experiment	после эксперимента after the experiment
1. Показатели физического развития Indicators of physical development	65	61	50	53
2. Сердечно-сосудистая система The cardiovascular system	37	27 ↓	35	47 ↑
3. Функция внешнего дыхания The function of external respiration	32	28	28	36
4. Показатели обмена веществ Metabolic indicators	34	34	36	29
5. Микроциркуляция Microcirculation	52	62	66	157 ↑↑↑
6. Уровень напряжения функциональных систем Voltage level of functional systems	48	46	43	50 ↑
7. Уровень стресса (кортизол в крови) Stress level (cortisol in the blood)	86	56 ↓	94	93
8. Снижение репродуктивного потенциала (концентрация ДГЭА-С) Decreased reproductive potential (DHEA-C concentration)	30	13 ↓	22	33 ↑
9. Углеводный обмен Carbohydrate metabolism	30	22 ↓	22	30 ↑
10. Липидный обмен Lipid metabolism	62	43 ↓	57	53
11. Витамин D Vitamin D	66	71	58	60
12. Наличие воспаления (С-реактивный белок) The presence of inflammation (C-reactive protein)	38	0 ↓↓↓	29	35

Примечание. 1 — доля лиц (%) с индексом массы тела более 25 кг/м²; 2 — доля лиц (%) с высоким нормальным артериальным давлением и артериальной гипертензией в сумме по систолическому артериальному давлению и диастолическому артериальному давлению (мм рт. ст.); 3 — среднее значение проходимости мелких бронхов ниже должной величины (%); 4 — энерготраты в состоянии покоя в сутки (ккал/день) ниже должных величин; 5 — степень отклонения показателей микроциркуляторного русла (переходного отдела) относительно должных величин (%); 6 — доля лиц (%) с показателем стресс-индекса вариабельности сердечного ритма больше 150 усл. ед.; 7 — доля лиц (%) с показателем кортизола в крови более 320 нмоль/л; 8 — доля лиц (%) с ДГЭА в крови менее 200 мкг/д; 9 — доля лиц (%) с HOMA-IR более 2.53 усл. ед.; 10 — доля лиц (%) с коэффициентом атерогенности более 3 усл. ед.; 11 — доля лиц (%) с концентрацией витамина D ниже 75 нмоль/л; 12 — доля лиц (%) с показателем С-реактивного белка более 3 мг/л; ↓ — снижение процента отклонений; ↑ — возрастание процента отклонений.

Note. 1 — the proportion of people (%) with a body mass index of more than 25 kg/m²; 2 — the proportion of people (%) with high normal blood pressure and hypertension in total systolic blood pressure and diastolic blood pressure (mmHg); 3 — the average patency of small bronchi below the required value (%); 4 — resting energy consumption per day (kcal/day) is below the required values; 5 — the degree of deviation of the microcirculation (transitional department) relative to the required values (%); 6 — the proportion of persons (%) with a stress index of heart rate variability greater than 150 units; 7 — the proportion of persons (%) with a blood cortisol index greater than 320 nmol/l; 8 — the proportion of persons (%) with DHEA in the blood less than 200 mcg/d; 9 — the proportion persons (%) with HOMA-IR of more than 2.53 con. units; 10 — the proportion of persons (%) with an atherogenicity coefficient of more than 3 con. units; 11 — the proportion of persons (%) with a vitamin D concentration below 75 nmol/l; 12 — the proportion of persons (%) with a C-reactive protein index more than 3 mg/l; ↓ — decrease in the percentage of deviations; ↑ — increase in the percentage of deviations.

выявлена тенденция к снижению ДАД в опытной группе и тенденция к увеличению САД и ЧСС в группе сравнения. На 1-м этапе исследования в опытной группе артериальная гипертензия и высокое нормальное артериальное давление по САД выявляли в 20% случаев, а по ДАД — в 17%. После употребления добавки с ПНЖК данные величины составили 17 и 10% соответственно. В контрольной группе, напротив, отметили возрастание напряжения в работе

сердечно-сосудистой системы, что проявлялось увеличением доли лиц с САД более чем 130 мм рт. ст. с 14 до 27%, тогда как количество людей с ДАД выше 85 мм рт. ст. практически не изменилось: 1-й этап — 21%, 2-й этап — 20%. В целом стоит отметить возрастание напряжения в работе системы кровообращения в контрольной выборке, где суммарный коэффициент напряжения вырос с 35 до 47%, тогда как в опытной группе отмечены

оптимизационные перестройки, о чём свидетельствует снижение суммарного коэффициента напряжения в деятельности сердечно-сосудистой системы с 37 до 27% (см. табл. 3).

Анализ SI не выявил значимых отличий у представителей двух групп на 2-м этапе исследований по сравнению с 1-м этапом. При этом стоит указать, что на 1-м этапе доля лиц с SI более 150 усл. ед. (отражает вегетативную дисрегуляцию и наличие стрессовых проявлений в организме) в опытной группе составила 48%, а в контрольной — 43%. На 2-м этапе в опытной группе частота встречаемости лиц с высокими величинами SI осталась без изменений (46%) на фоне возрастания данной величины до 50% в группе мужчин, не принимавших БАД с омега-3 ПНЖК.

В целом наши данные, свидетельствующие о положительном влиянии БАД омега-3 ПНЖК, сопоставимы с результатами других исследователей [25, 26], что обусловлено плейотропным физиологическим эффектом данных добавок на функциональное состояние сердечно-сосудистой системы либо прямым воздействием, через включение в мембраны, либо через косвенные механизмы за счёт оптимизации липидного профиля, артериального давления [27].

Оценка микроциркуляции позволила выявить значимую динамику в работе микроциркуляторного русла кровеносной системы, которая в основном была характерна для лиц, принимавших омега-3. Для них было установлено снижение средней длины капилляра, что может говорить о сокращении времени доставки кислорода и питательных веществ из крови в межклеточное пространство (и далее, соответственно, в клетки). Также следует отметить снижение размера периваскулярной зоны с 142 до 117 мкм, которая отражает степень гидратации интерстициального пространства и в норме составляет менее 100 мкм [28], что может свидетельствовать об уменьшении риска развития периваскулярного отёка. Обращает на себя внимание значимое возрастание количества сладжей у лиц группы сравнения. Известно, что слипание между собой эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов вызывает локальный гемостаз, резко повышает вязкость крови и затрудняет её движение по микрососудам. Кроме того, необходимо отметить в этой группе значимое увеличение диаметра венозного отдела, что может косвенно говорить о риске развития микроциркуляторного венозного застоя. Также отметили кратный рост общей степени отклонения показателей микроциркуляторного русла у лиц из группы сравнения относительно референсных величин (с 66 до 157%).

Анализ показателей внешнего дыхания у лиц из опытной группы выявил отчётливую тенденцию к увеличению проходимости крупных и средних бронхов и приближению данных показателей к нормативным величинам. Несмотря на то что все вышеуказанные изменения не были значимы, а имели лишь тенденциозный характер, вероятно,

что долгосрочное применение омега-3 может оказывать выраженное влияние на работу бронхолёгочной системы. В целом можно говорить о снижении степени напряжения системы внешнего дыхания (по показателю проходимости мелких бронхиол) с 32 до 28%, в то время как в контрольной группе наблюдался рост — с 2 до 36%.

Метаболизм целого организма во многом определяется процессами и скоростью этих процессов, ассоциированных с мембранами [29]. Свойства мембран во многом определяются составом жирных кислот [30]. Мембраны, содержащие ПНЖК, более проницаемы для ионов Na^+ , K^+ , H^+ , что приводит к более быстрому обмену веществ [29]. В нашем исследовании прослеживается чёткая тенденция улучшения показателей суточного энергометаболизма у лиц, принимавших омега-3, и приближение его к нормативной величине — со 111 до 106%. Этот факт подтверждается значимым увеличением содержания углекислого газа в выдыхаемом воздухе обследованных лиц из опытной группы. В то же время у лиц из группы сравнения данный показатель, наоборот, отдалается от должного уровня, достигая 112% во время 2-го этапа эксперимента, что, возможно, связано с влиянием выраженного холодного фактора декабря, когда проводилось заключительное обследование. Выявленные изменения могут указывать на положительное влияние длинноцепочечных ПНЖК семейства омега-3 на состояние основного обмена веществ, так как известно, что ПНЖК признаны веществами высокой физиологической ценности для человека и обеспечивают нормальное функционирование метаболизма организма человека [31].

Биохимический анализ крови показал, что в опытной группе на 2-м этапе исследования наблюдается значимое изменение HbA_1 , средняя величина которого снижается на 0,3% без выявленной динамики относительно остальных проанализированных показателей. В группе сравнения на фоне отсутствия значимых отличий относительно показателя HbA_1 было зафиксировано возрастание концентрации базального инсулина натощак, средние величины которого вплотную приближаются к референсному допустимому пределу для выявления признаков гиперинсулинемии с одновременным возрастанием HOMA-IR, величины которого свидетельствуют о наличии в данной группе признаков инсулинорезистентности. При этом стоит отметить, что, если на 1-м этапе исследований у 30% представителей опытной группы и у 20% представителей контрольной группы были отмечены признаки инсулинорезистентности (HOMA-IR больше 2,53 усл. ед.), то на 2-м этапе эксперимента отметили снижение встречаемости данных проявлений в опытной группе до 22%, а в группе сравнения, напротив, — возрастание до 30%. В контрольной группе зафиксировали напряжение в работе углеводного обмена за счёт возрастания признаков гиперинсулинемии (повышение базального уровня инсулина натощак) и инсулинорезистентности.

Результаты эпидемиологических исследований на людях сопоставимы с нашими результатами, в которых указывается, что омега-3 ПНЖК снижают развитие резистентности к инсулину и формирование диабета, где механизмом выступает уменьшение воспаления, обусловленное приёмом добавок, а также указывается на возможный механизм снижения уровня циркулирующих ТГ и мелких плотных частиц ЛПНП, текучесть мембран, передачу сигнала и другие [32]. В целом полученные данные свидетельствуют о том, что в опытной группе после приёма БАД с ПНЖК отмечается оптимизация углеводного обмена за счёт снижения гликации белков (патологического склеивания белков углеводами), что улучшает все функции организма — гормональную, ферментативную (ускоряющую все реакции организма), транспортную и т.д.

Исследование липидного профиля в группе мужчин, принимавших БАД с ПНЖК, позволило отметить тенденции к его оптимизации, о чём свидетельствуют более низкие среднegrupповые величины общего холестерина, ЛПНП, а также коэффициента атерогенности. В группе сравнения, напротив, отмечены тенденции возрастания данных показателей. В целом стоит указать на значимое снижение липопротеинов очень низкой плотности в опытной группе на 2-м этапе исследования. Механизм данного изменения объясняется следующим образом: встраивание омега-3 ПНЖК в фосфолипиды клеточных мембран приводит к изменению физиологических и биофизических свойств последних, что обуславливает ряд эффектов — снижение вязкости и проницаемости клеточных мембран, изменение активности рецепторов транспортных и сигнальных систем и, как следствие, изменение функционально-структурных свойств ионных каналов. Этими эффектами в определённой мере можно объяснить гиполлипидемический эффект омега-3 ПНЖК, проявляющийся подавлением синтеза ТГ и аполипипотеина, снижение уровня холестерина, липопротеинов очень низкой плотности. В итоге это приводит к увеличению экскреции желчи, улучшению функциональной активности гепатоцитов и другим эффектам [33]. При поступлении в организм омега-3 ПНЖК происходит угнетение синтеза липопротеинов очень низкой плотности, что позволяет значительно снизить риск атерогенных эффектов, возросших в последнее десятилетие и имеющих черты явного омоложения [34].

Таким образом, в опытной группе после приёма добавки с ЭПК и ДГК отмечалась оптимизация липидного профиля, проявляющаяся снижением доли лиц с коэффициентом атерогенности больше 3 усл. ед. (с 62 до 43%), что в целом свидетельствует о снижении риска развития атеросклероза. Также для данной группы было характерно уменьшение концентрации подфракции липидного профиля — липопротеинов очень низкой плотности. В группе сравнения не выявлено значимой динамики ни по одному из анализируемых показателей липидного профиля.

Следует указать на разнонаправленный характер динамики маркера воспалительного фона — СРБ, средние величины которого в опытной группе значимо снижались, а в контрольной — возрастали. Наши данные сопоставимы с результатами других исследователей, которые также отмечали снижение СРБ в крови натошак после приёма ЭПК и ДГК [7]. Данный механизм обусловлен тем, что ПНЖК семейства омега-3 являются предшественниками синтеза специализированных медиаторов, способных бороться с воспалением, и продемонстрировано, что они снижают уровень провоспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-6 и фактор некроза опухоли- α , и ингибируют активацию нескольких других факторов транскрипции, которые ингибируют активные формы кислорода [35].

Полученные нами данные по концентрации гормона стресса (кортизола) в крови позволяют констатировать его значимое снижение после приёма омега-3. При этом следует отметить, что, если на 1-м этапе исследований у 86% обследуемых опытной выборки и у 94% из контрольной группы показатели концентрации кортизола в крови превышали верхний предел референсного порога (320 нмоль/л), то на 2-м этапе эксперимента в группе сравнения доля лиц с гиперкортизолемией не изменилась, а в опытной выборке отметили значительное снижение встречаемости высоких значений концентрации кортизола до 56%, что указывает на оптимизацию психического состояния и состояния здоровья в целом [36].

На рис. 1 представлены матрицы напряжения функциональных систем по анализируемым системам в двух группах. Стоит отметить, что проведённый комплексный анализ морфофункционального состояния и биохимического профиля показал, что группы мужчин (опытная и контрольная) на 1-м этапе исследования имеют сходные матрицы функционального напряжения. Для контрольной группы на 2-м этапе фиксируется возрастание степени напряжения анализируемых характеристик, что, по всей видимости, обусловлено критическим периодом года, в котором проведено исследование (осенне-зимний переход температурной кривой через ноль). Критичность данного периода подтверждается нашими более ранними исследованиями, в которых зафиксированы негативные сдвиги физиологических характеристик и снижение функционального состояния обследуемых в критические периоды года (зимне-весенний и осенне-зимний) [37]. И, напротив, представленные данные позволяют наглядно продемонстрировать положительные изменения, произошедшие в опытной группе (которая в течении 1,5 мес. получала добавку омега-3 ПНЖК к пище), несмотря на критический период года. Данные изменения выражаются достаточным снижением площади многогранника на 2-м этапе исследования относительно 1-го, что может свидетельствовать о снижении степени напряжения функциональных резервов организма и оптимизации ряда физиологических параметров вследствие приёма ЭПК и ДГК.

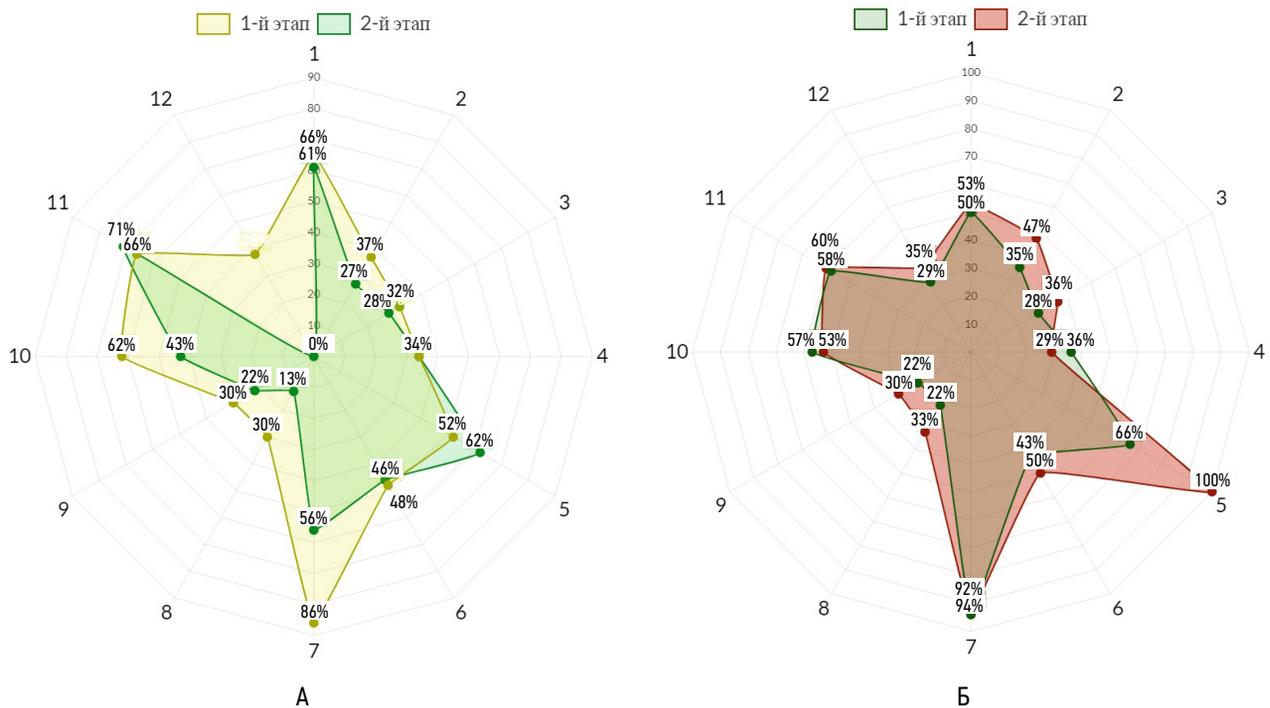


Рис. 1. Динамика паттернов матриц снижения функциональных резервов в опытной (А) и контрольной (Б) группах в ходе исследования; размерность осей от 0 до 100%. Условные обозначения см. в примечании к табл. 3.

Fig. 1. Comparison of patterns of matrix dynamics for reduction of functional reserves between the experimental group (A) and the control group (B) at the study; THE x-axis ranges from 0% to 100%. For symbols, see the note to Table 3.

Ограничения исследования

Настоящее исследование имеет ряд существенных ограничений, заключающихся в малом количестве обследуемых лиц и коротком сроке наблюдения. В дальнейшем проведение более крупных клинических исследований в этом направлении нам представляется весьма целесообразным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты исследования, а также матрицы напряжения функциональных резервов позволяют сделать заключение об оптимизирующем функционале БАД к пище с ПНЖК омега-3 относительно большинства анализируемых систем в опытной группе, тогда как в группе контроля наблюдаются дизадаптационные проявления в функциональном статусе организма. В данном аспекте следует указать, что исследования были проведены в осенне-зимний период года (1-й этап — октябрь 2023 г., 2-й этап — декабрь 2023 г.). Так, в наших более ранних работах было показано, что критическими периодами для функционального состояния обследуемых мужчин являются переходные весенне-летний и осенне-зимний периоды года, связанные с переходом температурной кривой через ноль, что приводит к негативным сдвигам физиологических характеристик и вызывает снижение функционального состояния испытуемых, что совпало с этапами данного исследования.

Можно предположить наличие нивелирующей функции и даже оптимизационной роли приёма БАД к пище с ПНЖК семейства омега-3 относительно сезонных перестроек морфофизиологических и биохимических показателей организма жителей-северян в самый критический период года с переходом температурной кривой через 0 °С.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. И.В. Аверьянова — разработка концепции и дизайна исследования, анализ и интерпретация данных, обзор литературных источников, написание текста и редактирование статьи; О.О. Алёшина — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста; И.Н. Безменова — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста; С.И. Вдовенко — получение, анализ и интерпретация данных, сбор и анализ литературных источников, написание текста. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Работа выполнена за счёт бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН в рамках темы «Изучение межсистемных и внутрисистемных механизмов реакций в формировании функциональных адаптивных резервов организма человека «северного типа» на разных этапах онтогенеза лиц, проживающих в дискомфортных и экстремальных

условиях с определением интегральных информативных индексов здоровья» (рег. номер АААА-А21-121010690002-2) и за счёт спонсорской помощи ООО «ОМЕГА-СИ».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на участие в исследовании. Все участники до включения в исследование добровольно подписали форму информированного согласия, утверждённую в составе протокола исследования этическим комитетом.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. I.V. Averyanova — development of the concept and design of the study, analysis and interpretation of data, review of literary sources, writing and editing the article; O.O. Alyoshina — obtaining, analysis and interpretation of data, collection and analysis of literary sources, writing the text; I.N. Bezmenova, — obtaining, analysis and interpretation of data, collection and analysis of literary sources, writing the text; S.I. Vdovenko — obtaining, analysis and interpretation of data,

collection and analysis of literary sources, writing the text. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The work has been fulfilled with Arktika Scientific Research Center Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, under the financial support of the Russian Federation budget within the framework of the project "Study of intersystem and intrasystem mechanisms involved in developing functional and adaptive reserves of the northern type man at different stages of ontogenesis under discomfort and extreme conditions of residence with the determination of health integral informative indices" (registration number, АААА-А21-121010690002-2) and due to the sponsorship of LLC "OMEGA-SI".

Competing interests. The authors confirm the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Patients' consent. Written consent was obtained from all the study participants before the study screening in according to the study protocol approved by the local ethic committee.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Stark KD, Van Elswyk ME, Higgins MR, et al. Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the blood stream of healthy adults. *Prog Lipid Res.* 2016;63:132–152. doi: 10.1016/j.plipres.2016.05.001
2. Karsli B. Comparative analysis of the fatty acid composition of commercially available fish oil supplements in Turkey: Public health risks and benefits. *Journal of Food Composition and Analysis.* 2021;103(1-20):104105. doi: 10.1016/j.jfca.2021.104105
3. Berge K, Musa-Veloso K, Harwood M, et al. Krill oil supplementation lowers serum triglycerides without increasing low-density lipoprotein cholesterol in adults with borderline high or high triglyceride levels. *Nutr Res.* 2014;34(2):126–133. doi: 10.1016/j.nutres.2013.12.003
4. Bernstein AM, Ding EL, Willett WC, Rimm EB. A meta-analysis shows that docosahexaenoic acid from algal oil reduces serum triglycerides and increases HDL-cholesterol and LDL-cholesterol in persons without coronary heart disease. *J Nutr.* 2012;142(1):99–104. doi: 10.3945/jn.111.148973
5. Ramel A, Martinez JA, Kiely M, et al. Moderate consumption of fatty fish reduces diastolic blood pressure in overweight and obese European young adults during energy restriction. *Nutrition.* 2010;26(2):168–174. doi: 10.1016/j.nut.2009.04.002
6. Minihane AM, Armah CK, Miles EA, et al. Consumption of fish oil providing amounts of eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid that can be obtained from the diet reduces blood pressure in adults with systolic hypertension: a retrospective analysis. *J Nutr.* 2016;146(3):516–523. doi: 10.3945/jn.115.220475
7. Li K, Huang T, Zheng J, et al. Effect of marine-derived n3 polyunsaturated fatty acids on C-reactive protein, interleukin 6 and tumor necrosis factor α : a meta-analysis. *PLoS One.* 2014;9(2):e88103. doi: 10.1371/journal.pone.0088103
8. Yu J, Liu L, Zhang Y, et al. Effects of omega-3 fatty acids on patients undergoing surgery for gastrointestinal malignancy: a systematic review and meta-analysis. *BMC Cancer.* 2017; 17(1):271. doi: 10.1186/s12885-017-3248-y
9. Kiecolt-Glaser JK, Belury MA, Andridge R, et al. Omega-3 supplementation lowers inflammation and anxiety in medical students: a randomized controlled trial. *Brain Behav Immun.* 2011;25(8):1725–1734. doi: 10.1016/j.bbi.2011.07.229
10. Bassett JK, Hodge AM, English DR, et al. Plasma phospholipids fatty acids, dietary fatty acids, and breast cancer risk. *Cancer Causes Control.* 2016;27(6):759–773. doi: 10.1007/s10552-016-0753-2
11. Yang H, Xun P, He K. Fish and fish oil intake in relation to risk of asthma: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2013;8(11):e80048. doi: 10.1371/journal.pone.0080048
12. Zhang Y, Chen J, Qiu J, et al. Intakes of fish and polyunsaturated fatty acids and mild-to-severe cognitive impairment risks: a dose-response meta-analysis of 21 cohort studies. *Am J Clin Nutr.* 2016;103(2):330–340. doi: 10.3945/ajcn.115.124081
13. Stene LC, Joner G, Norwegian Childhood Diabetes Study Group. Use of cod liver oil during the first year of life is associated with lower risk of childhood-onset type 1 diabetes: a large, population-based, case-control study. *Am J Clin Nutr.* 2003;78(6):1128–1134. doi: 10.1093/ajcn/78.6.1128
14. Hoare S, Lithander F, van der Mei I, et al. Higher intake of omega-3 polyunsaturated fatty acids is associated with a decreased risk of a first clinical diagnosis of central nervous system demyelination: results from the Ausimmune study. *Mult Scler.* 2016;22(7):884–892. doi: 10.1177/1352458515604380
15. Harris WS, Tintle NL, Etherton MR, Vasan RS. Erythrocyte long-chain omega-3 fatty acid levels are inversely associated with mortality and with incident cardiovascular disease: the Framingham Heart Study. *J Clin Lipidol.* 2018;12(3):718–727. doi: 10.1016/j.jacl.2018.02.010
16. Heydari B, Abdullah S, Pottala JV, et al. Effect of omega-3 acid ethyl esters on left ventricular remodeling after acute myocardial

- infarction: the OMEGA-REMODEL randomized clinical trial. *Circulation*. 2016;134(5):378–391. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.019949
17. Ramakrishnan U, Gonzalez-Casanova I, Schnaas L, et al. Prenatal supplementation with DHA improves attention at 5 y of age: a randomized controlled trial. *Am J Clin Nutr*. 2016;104(4):1075–1082. doi: 10.3945/ajcn.114.101071
 18. Matthews DR, Hosker JP, Rudenski AS, et al. Homeostasis model assessment: insulin resistance and β -cell function from fasting plasma glucose and insulin concentration in man. *Diabetologia*. 1985;28(7):412–419. doi: 10.1007/bf00280883
 19. Klimov AN, Nikul'cheva NG. Lipid and lipoprotein metabolism and its disorders: a guide for doctors. St. Petersburg: Peter Kom; 1999. (In Russ.)
 20. Ezhov MV, Kukharchuk VV, Sergienko IV, et al. Disorders of lipid metabolism. Clinical Guidelines 2023. *Russian Journal of Cardiology*. 2023;28(5):250–297. doi: 10.15829/1560-4071-2023-5471 EDN: YVZOWJ
 21. National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III). Third Report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*. 2002;106(25):3143–3421.
 22. Katsuki A, Sumida Y, Gabazza EC, et al. Homeostasis model assessment is a reliable indicator of insulin resistance during follow-up of patients with type 2 diabetes. *Diabetes Care*. 2001;24(2):362–365. doi: 10.2337/diacare.24.2.362
 23. Vitamin D deficiency: clinical recommendations of the Russian Association of Endocrinologists. [cited 2024 Nov 21]. Available from: https://rae-org.ru/system/files/documents/pdf/d_2021.pdf (In Russ.)
 24. Albracht-Schulte K, Kalupahana NS, Ramalingam L, et al. Omega-3 fatty acids in obesity and metabolic syndrome: a mechanistic update. *J Nutr Biochem*. 2018;58:1–16. doi: 10.1016/j.jnutbio.2018.02.012
 25. Krebs J, Browning L, McLean N, et al. Additive benefits of long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids and weight-loss in the management of cardiovascular disease risk in overweight hyperinsulinaemic women. *International Journal of Obesity*. 2006;30(10):1535–1544. doi: 10.1038/sj.ijo.0803309
 26. Sjoberg NJ, Milte CM, Buckley JD, et al. Dose-dependent increases in heart rate variability and arterial compliance in overweight and obese adults with DHA-rich fish oil supplementation. *British Journal of Nutrition*. 2010;103(2):243–248. doi: 10.1017/s000711450999153x
 27. McLennan PL. Cardiac physiology and clinical efficacy of dietary fish oil clarified through cellular mechanisms of omega-3 polyunsaturated fatty acids. *European Journal of Applied Physiology*. 2014;114(7):1333–1356. doi: 10.1007/s00421-014-2876-z
 28. Fedorovich AA. Non-invasive evaluation of vasomotor and metabolic functions of microvascular endothelium in human skin. *Microvascular Research*. 2012;84(1):86–93. doi: 10.1016/j.mvr.2012.03.011
 29. Hulbert AJ, Turner N, Storlien LH, Else PL. Dietary fats and membrane function: implications for metabolism and disease. *Biol Rev*. 2005;80(1):155–169. doi: 10.1017/s1464793104006578
 30. Mason RP, Jacob RF, Shrivastava S, et al. Eicosapentaenoic acid reduces membrane fluidity, inhibits cholesterol domain formation, and normalizes bilayer width in atherosclerotic-like model membranes. *Biochim Biophys Acta*. 2016;1858(12):3131–3140. doi: 10.1016/j.bbame.2016.10.002
 31. Makhutova ON, Gladyshev MI. Essential PUFA in physiology and metabolism of fish and human: functions, needs, sources. *Russian Journal of Physiology*. 2020;106(5):601–621. doi: 10.31857/S0869813920050040 EDN: PKYGZE
 32. Fedor D, Kelley DS. Prevention of insulin resistance by n-3 polyunsaturated fatty acids. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2009;12(2):138–146. doi: 10.1097/mco.0b013e3283218299
 33. Yakovleva OA, Marchenko KG, Kosovan AI. Omega-3 fatty acids: from physiological significance to evidence-based medicine. *Rational Pharmacotherapy*. 2008;2(2):42–46. (In Russ.)
 34. Kvashnina LV, Ignatova TB, Rodionov VP, Makovkina YuA. Approaches to the treatment of children with vegetative dysfunction occurring with lipid metabolism disorders and endothelial dysfunction. *Sovremennaya Pediatriya*. 2013;(8):102–109. EDN: TTLBVX
 35. De Caterina R, Massaro M. Omega-3 fatty acids and the regulation of expression of endothelial pro-atherogenic and pro-inflammatory genes. *J Membr Biol*. 2005;206(2):103–116. doi: 10.1007/s00232-005-0783-2
 36. Wolkowitz OM, Epel ES, Reus VI. Stress hormone-related psychopathology: pathophysiological and treatment implications. *World J Biol Psychiatry*. 2001;2(3):115–143. doi: 10.3109/15622970109026799
 37. Averyanova IV, Vdovenko SI. Peculiarities of morphological and functional characteristics of residents of the north-east of Russia, depending on background meteorological and heliomagnetic indices. *Cardiometry*. 2018;12:55–65. doi: 10.12710/cardiometry.2018.12.5565

ОБ АВТОРАХ

*Алёшина Ольга Олеговна;

адрес: Россия, 685000, Магадан, пр-кт Карла Маркса, д. 24;
ORCID: 0000-0002-5718-5398;
eLibrary SPIN: 9504-6020;
e-mail: oalesina597@gmail.com

AUTHORS' INFO

*Olga O. Alyoshina;

address: 24 Karl Marx ave, Magadan, Russia, 685000;
ORCID: 0000-0002-5718-5398;
eLibrary SPIN: 9504-6020;
e-mail: oalesina597@gmail.com

Аверьянова Инесса Владиславовна, д-р биол. наук,
профессор ДВО РАН;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Безменова Ирина Николаевна, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-3251-5159;
eLibrary SPIN: 9123-7361;
e-mail: lependina_bel@mail.ru

Вдовенко Сергей Игоревич, канд. биол. наук;
ORCID: 0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

Inessa V. Averyanova, Dr. Sci. (Biology),
Professor FEB RAS;
ORCID: 0000-0002-4511-6782;
eLibrary SPIN: 9402-0363;
e-mail: Inessa1382@mail.ru

Irina N. Bezmenova, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-3251-5159;
eLibrary SPIN: 9123-7361;
e-mail: lependina_bel@mail.ru

Sergei I. Vdovenko, Cand. Sci. (Biology);
ORCID: 0000-0003-4761-5144;
eLibrary SPIN: 5475-4644;
e-mail: vdovenko.sergei@yandex.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author