

Физиологическое обоснование расширения исследования спектра традиционных параметров липидного обмена у коренного мужского населения Арктического региона

В.А.Соловьёва¹, У.Г. Гусейнова¹, Н.В.Соловьёва¹, Ф.А. Бичкаева², А.Г.Соловьёв¹

¹Северный государственный медицинский университет

²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В ранних физиолого-биохимических исследованиях представлены данные об относительно благоприятных профилях липидного обмена в отношении протекции факторам риска развития патологии сердечно-сосудистой системы. Однако в последние десятилетия у части практически здоровых северян стали выявляться изменения липидного профиля крови атерогенной направленности. Расширенный спектр параметров липидного обмена включает изучение аполипопротеинов и свободных жирных кислот. Возникает необходимость углублённого изучения липидного обмена у лиц без клинических признаков его нарушений, проживающих в Арктической зоне, для ранней диагностики, коррекции и профилактики патологии сердечно-сосудистой системы.

Цель. Обоснование выделения совокупности маркеров изменения липидного обмена у практически здорового коренного мужского населения Арктического региона.

Материалы и методы. Проведено обследование 112 практически здоровых мужчин, постоянно проживающих в Архангельской области. В сыворотке крови определяли содержание общего холестерина, липопротеинов высокой, низкой и очень низкой плотности, триглицеридов, коэффициент атерогенности, концентрацию насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, соотношение аполипопротеинов А и В.

Результаты. Установлено, что при не выходящих за пределы референсных значений содержание общего холестерина, липопротеинов высокой, низкой и очень низкой плотности, триглицеридов, коэффициента атерогенности у практически здоровых жителей Арктического региона имеется высокое содержание липопротеинов очень низкой плотности (19,8% обследуемых), триглицеридов (17,2%), коэффициента атерогенности (52,1%); содержание аполипопротеинов А ниже референсных значений, но выше аполипопротеинов В (39,1%), соотношение аполипопротеинов А и В было высоким (51,2 %). Отмечается высокое содержание пальмитиновой (12,5%), стеариновой (10,7%) насыщенных жирных кислот. Напротив, значения ниже медианы отмечены в содержании ω -6 линолевой (21,4%), арахидоновой (51,5%), ω -3 линоленовой (51,8%), эйкозопентаеновой (40,8%), докозагексаеновой (48,3%) полиненасыщенных жирных кислот. Установлены взаимосвязи средней силы между триглицеридами и насыщенными жирными кислотами, но более слабые с полиненасыщенными жирными кислотами.

Заключение. Маркерами скрытых нарушений липидного обмена у жителей Арктического региона являются относительно низкое содержание аполипопротеинов А, но более высокое соотношение аполипопротеинов В и А, а также низкое содержание ω -3 линоленовой, эйкозопентаеновой, докозагексаеновой и ω -6 линолевой, арахидоновой полиненасыщенных жирных кислот.

Ключевые слова: липидный обмен; аполипопротеины; свободные жирные кислоты; Арктический регион России.

КАК ЦИТИРОВАТЬ:

Соловьёва В.А., Гусейнова У.Г., Соловьёва Н.В., Бичкаева Ф.А., Соловьёв А.Г. Физиологическое обоснование расширения исследования спектра традиционных параметров липидного обмена у коренного мужского населения Арктического региона // Экология человека. 2024. Т. 31, № 11. С. XX–XX. DOI: 10.17816/humeco643368 EDN: XAGPPL

Рукопись поступила: 24.12.2024

Рукопись одобрена: 14.04.2025

Опубликована online: 19.05.2025

Статья доступна по лицензии CC BY-NC-ND 4.0 International License
© Эко-Вектор, 2024

Physiological Explanation for Study Expansion of Traditional Lipid Metabolism Parameters Spectrum in the Indigenous Male Population of the Arctic Region

Veronica A. Solovyeva¹, Ulker G. Guseynova¹, Natalia V. Solovieva¹, Fatima A. Bichkaeva², Andrey G. Soloviev¹

¹ Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia;

² Federal Research Center for Integrated Arctic Studies named after Academician N.P. Laverov of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: In early physiological and biochemical studies, data on relatively favorable lipid metabolism profiles in relation to the protection of risk factors for the development of pathology of the cardiovascular system (CVS) are presented. However, in recent decades, changes in the lipid profile of atherogenic blood have begun to be detected in some practically healthy Northerners. The extended range of parameters of lipid metabolism includes the study of apolipoproteins and free fatty acids. There is a need for an in-depth study of lipid metabolism in people without clinical signs of its disorders living in the Arctic zone for early diagnosis, correction and prevention of CVD pathology.

AIM: Justification for the identification of markers' set for changes in lipid metabolism in the practically healthy indigenous the Arctic region male population.

MATERIALS AND METHODS: A total of 112 practically healthy (PP) men and residents of Arkhangelsk region were examined, during preventive examinations. The content of total cholesterol (TCH), high-density lipoproteins (HDL), very low-density lipoproteins (VLDL) low density (LDL), triglycerides (TG), coefficient of atherogenicity (KA), concentrations of apolipoproteins (Apo-A and Apo-B), values of the Apo-B/Apo-A coefficient, saturated (SFA) and monounsaturated (MUSFA) polyunsaturated (PUFA) fatty acids were determined in the blood serum.

RESULTS: It was found that with the average values of TCH, LDL, VLDL, HDL, TG, KA not differing from the reference values, there was a high content of VLDL in 19.8%, TG in 17.2%, KA in 52.1%, the content of Apo-A was lower than the reference values, but higher than Apo-B in 39.1% and the Apo/Apo-A-Y ratio is 51.2%. Residents of the Arctic region had a high content of palmitic acid (12.5%), stearic acid (10.7% saturated). On the contrary, values below the median were found to contain ω -6 linoleic acid in 21.4%, arachidonic acid in 51.5%; ω -3 linolenic acid - in 51.8%, eicosapentaenoic acid (EPA) - in 40.8%, docosahexaenoic acid (DHA) - in 48.3% of individuals. The interrelations of the average strength of TG with SFA, but weaker ones with PUFA, have been established.

CONCLUSION: Markers of latent lipid metabolism disorders in residents of the Arctic region are a relatively low content of Apo-A, but a higher ratio of Apo-B /ApoA, as well as a low content of ω -3 linolenic, EPA, DHA and PUFA ω -6 linoleic, arachidonic.

Keywords: lipid metabolism; apolipoproteins; free fatty acids; Arctic region of Russia.

TO CITE THIS ARTICLE:

Solovyeva VA, Guseynova UG, Solovieva NV, Bichkaeva FA, Soloviev AG. Physiological Explanation for Study Expansion of Traditional Lipid Metabolism Parameters Spectrum in the Indigenous Male Population of the Arctic Region. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(11):XX-XX. DOI: 10.17816/humeco643368 EDN: XAGPPL

Received: 24.12.2024

Accepted: 14.04.2025

Published online: 19.05.2025

The article can be used under the CC BY-NC-ND 4.0 International License

ОБОСНОВАНИЕ

В ранних физиолого-биохимических исследованиях представлены данные об особенностях метаболических процессов у жителей Арктического региона, определяющихся биологически сформированным адаптивным типом и связанных с приверженностью к традиционному образу жизни и питанию с преобладанием жиров и белков в рационе [1]. У коренных жителей на фоне северного варианта метаболизма выявлены более благоприятные профили липидного обмена в отношении протекции факторам риска развития патологии сердечно-сосудистой системы. Низкое содержание в сыворотке крови общего холестерина (ОХ), триглицеридов (ТГ), липопротеинов низкой (ЛПНП) и очень низкой (ЛПОНП) плотности на фоне высокого содержания липопротеинов высокой плотности (ЛПВП) по сравнению с пришлым населением [2]. Современный алгоритм исследования состояния сердечно-сосудистой системы включает выявление факторов риска и клинических симптомов атеросклероза, определение липидного спектра крови и оценку сердечно-сосудистого риска по шкале SCORE. Показателями липидного профиля для оценки сердечно-сосудистого риска являются ОХ, ЛПВП, ЛПНП, ТГ. Вместе с тем изучение этих параметров не всегда даёт возможность провести целенаправленный анализ имеющихся нарушений, тем более в настоящее время всё больше делается акцент на раннем выявлении биохимических отклонений обменных процессов, а не на констатации имеющихся клинических проявлений [3].

Состояния, связанные с нарушением обмена веществ, в последнее время всё чаще стали встречаться среди жителей Арктических территорий. Основными их причинами обозначены гиподинамия и нарушение пищевого поведения [4] с постепенным уменьшением потребления традиционных продуктов питания (мяса оленя, рыбы северных морей) и увеличением потребления углеводов и трансжиров [5].

Появляется всё больше исследований, направленных на изучение расширенного спектра параметров липидного обмена, включающего аполипопротеины и свободные жирные кислоты (СЖК). В настоящее время аполипопротеины В и А1 (Апо-В и Апо-А1) считаются лучшими маркерами нарушений липидного профиля крови. Апо-В (имеется в виду Апо-В-100) является структурным компонентом ЛПОНП, липопротеинов промежуточной плотности и ЛПНП, причём каждая частица липопротеинов содержит только одну молекулу апобелка. Именно поэтому уровень Апо-В отражает общее количество атерогенных частиц в крови. Напротив, Апо-А1 является структурным компонентом антиатерогенных ЛПВП. Таким образом, соотношение Апо-В и Апо-А1 характеризует баланс между атерогенными и антиатерогенными липопротеинами в крови и служит ранним потенциальным маркером риска развития заболеваний сердечно-сосудистой системы [6].

Аполипопротеины содержат лиганды, которые связываются с мембранными рецепторами, что обеспечивает проникновение липопротеинов в клетки и их дальнейший катаболизм, и являются кофакторами ферментов, активность которых необходима для реализации функций липопротеинов. При формировании липопротеинов в гепатоцитах аполипопротеины связывают разные ТГ в зависимости от того, какие из жирных кислот этерифицированы со спиртовыми группами глицерина, что влияет на плотность ТГ и содержащих их липопротеинов [7]. Большая часть жирных кислот находится в связанной форме в составе фосфолипидов, ТГ и эфиров ОХ; тип жирных кислот влияет на многие их свойства.

Немаловажную роль в определении состава ТГ играет соотношение употребляемых жирных кислот, а именно увеличение доли насыщенных жирных кислот (НЖК) и уменьшение полиненасыщенных (ПНЖК). Жирные кислоты могут действовать на белки липопротеинов, дестабилизируя их и тем самым влияя на функциональные возможности, то есть делают их дисфункциональными. Изменение состава протеома и/или липидома ЛПВП приводит к дисфункции ЛПВП и проявляется нарушением антиоксидантной и противовоспалительной функций [8]. Дисбаланс содержания жирных кислот, ТГ и липопротеинов может способствовать развитию воспаления, запуская синтез медиаторов воспаления. Для уточнения его механизмов наиболее значимым является оценка расширенного липидного профиля, включающего аполипопротеины и определение содержания жирных кислот.

В литературных источниках встречаются редкие клинические примеры изучения традиционных параметров липидного спектра в совокупности с содержанием аполипопротеинов, НЖК, ПНЖК и СЖК [9]. В то же время не рассматривались совместные их изменения у практически здоровых жителей в высоких широтах. Возникает необходимость углублённого изучения липидного обмена у лиц без клинических признаков его нарушений в Арктической зоне, в первую очередь для ранней диагностики, коррекции и профилактики патологии сердечно-сосудистой системы.

Цель. Обоснование выделения совокупности маркеров изменения липидного обмена у практически здорового коренного мужского населения Арктического региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В поперечное исследование включены 112 практически здоровых мужчин 2255 лет (средний возраст $43,57 \pm 1,43$ года), являющихся коренными жителями Архангельска. Все обследуемые заполнили анкеты с вопросами о возрасте, антропометрических параметрах, национальности их и родителей, сроках проживания на Севере, перенесённых заболеваниях, особенностях питания и др. Из обследования были исключены лица с анамнестическими и клиническими проявлениями алкогольной и табачной зависимости, наличием профессиональных вредностей, в том числе вахтовых смен, ночных дежурств.

Проведена оценка основных показателей липидного спектра крови. Забор крови проводили натощак (с 8 до 10 ч) из локтевой вены в вакутайнеры «BecktonDickinsonBP».

Содержание ОХ, ЛПВП, ЛПОНП, ЛПНП, ТГ определяли турбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе «ФУРУНО СА-270» (Япония) с использованием наборов ChronolabAG (Швейцария); ЛПОНП рассчитывали методом ТГ/5, коэффициент атерогенности (КА) по формуле А.Н. Климова [10]: $КА = ОХЛПВП/ЛПВП$; концентрации аполипопротеинов (Апо-А и Апо-В) — иммунотурбидиметрическим методом на биохимическом анализаторе «ФУРУНО СА-270» (Япония) с использованием наборов ChronolabAG (Швейцария); также рассчитывали значения коэффициента Апо-В/Апо-А.

Методом газожидкостной хроматографии с предварительной экстракцией липидов из сыворотки крови и последующим получением метиловых эфиров жирных кислот [11] определяли содержание НЖК, мононенасыщенных жирных кислот (МНЖК) и ПНЖК — ω -3 и ω -6. Анализ метиловых производных жирных кислот проводили на газовом хроматографе Agilent 7890A (пламенно-ионизационный детектор, капиллярные колонки «AgilentDB-23» $60 \times 0,25 \times 0,15$) в режиме программирования температуры и скорости газа носителя азота. Идентификацию жирных кислот осуществляли с использованием стандартов «Supelco 37 FAMES_{4-C₂₄}» (США) и GLS-569B (Nu-Chek-Prep., INC, США). Количественный расчет жирных кислот проводили методом внутреннего стандарта (нонадекановая кислота) в программе «AgilentChemStationB.03.01» (США).

Исследование проводили с письменного согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований [12], исследование одобрено этическим комитетом ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 12 от 15.02.2022).

Статистическую обработку полученных результатов, оценку распределения показателей, сравнительный анализ выборок проводили с помощью компьютерного пакета прикладных программ SPSS 15.0. Для оценки количественных переменных использовали медиану (MD), первый и третий квартили (Q25; Q75). Для оценки нормальности распределения в выборках применяли критерий Шапиро-Уилка, по результатам которого выявлено, что в большинстве выборок распределение отличается от нормального. В связи с этим для статистического анализа использовали непараметрические критерии. Корреляционный анализ проводили с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Связь между показателями оценивали как сильную при значении коэффициента $r > 0,70$, имеющую среднюю силу при r от 0,69 до 0,30, как слабую при $r < 0,29$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Значимых отличий традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых лиц в Арктическом регионе от референсных значений (указанных в инструкциях к используемым наборам) выявлено не было. Однако отмечено высокое содержание (выше референсных значений) ЛПОНП у 19,8% обследуемых, ТГ — у 17,2%, КА у 52,1% (табл. 1).

В ряде исследований показано, что содержание ОХ, ранее считавшегося главным фактором риска заболеваний сердечно-сосудистой системы, не является единственным и основным фактором [13]. Это даёт основание для более глубокого изучения липидного профиля крови для выявления скрытых изменений и обосновывает изучение содержания в сыворотке крови аполипопротеинов и СЖК.

В связи с этим провели целенаправленное изучение аполипопротеинов как потенциально важных маркеров нарушений липидного обмена. Оказалось, что среднее содержание Апо-А было ниже референсных значений, содержание Апо-В было высоким у 39,1%, соотношение Апо-В/Апо-А высоким у 51,2% (табл. 2).

Изучение содержания наиболее значимых НЖК, МНЖК показало, что содержание пальмитиновой (C16:0) и стеариновой (C18:0) жирных кислот у северян не выходило за пределы референсных значений, как и содержание олеиновой (C18:1 ω 9) кислоты. Однако содержание пальмитиновой жирной кислоты в 12,5% случаев и стеариновой в 10,7% превышало референсные значения (табл. 3).

Изучили содержание ПНЖК семейств ω -3 и ω -6 (табл. 4). При этом не выявлено низкого среднего содержания ω -6 линолевой (C18:2 ω 6) ПНЖК; однако её концентрация ниже медианы отмечена в 21,4% случаев. Имелось низкое содержание арахидоновой кислоты (C20:4 ω 6) ниже на 15,2% референсных значений; значения данного параметра ниже медианы определены у 51,5% обследуемых.

Содержание линоленовой (C18:3 ω 3) ω -3 ПНЖК также не выходило за пределы референсных значений, однако значения ниже медианы отмечены в 51,8% случаев. Содержание эйкозопентаеновой (C20:5 ω 3) и докозагексаеновой (C22:6 ω 3) ПНЖК статистически значимо не отличалось от референсных значений, но значения ниже медианы наблюдалось по эйкозопентаеновой (C20:5 ω 3) у 40,8% обследуемых, а докозагексаеновой (C22:6 ω 3) — у 48,3%.

Подтверждением значимости определения СЖК у практически здоровых лиц для выявления скрытых изменений липидного обмена является определение взаимосвязей СЖК с традиционными параметрами.

У обследованных в Арктическом регионе лиц установлены средней силы взаимосвязи ТГ с НЖК, МНЖК и менее сильные с ПНЖК, что указывает на включение жирных кислот в ТГ и ЛПНП. Так, имелись взаимосвязи ТГ с НЖК миристиновой (C14:0; $r=0,649$; $p < 0,0001$), пентадекановой (C15:0; $r=0,469$; $p < 0,001$), пальмитиновой (C16:0; $r=0,581$; $p < 0,001$), маргариновой (C17:0; $r=0,560$; $p < 0,001$), стеариновой (C18:0; $r=0,551$; $p < 0,001$); с МНЖК миристоолеиновой (C14:1; $r=0,448$; $p < 0,001$), пальмитоолеиновой (C16:1; $r=0,529$; $p < 0,001$), олеиновой (C18:1 ω 9; $r=0,647$; $p < 0,001$); с ПНЖК ω -6 линолевой (C18:2 ω 6; $r=0,425$; $p < 0,001$), гамма-линоленовой (C18:3 ω 6; $r=0,495$; $p < 0,001$), дигомо-гамма-линоленовой (C20:3 ω 6; $r=0,348$; $p=0,001$), арахидоновой (C20:4 ω 6; $r=0,208$; $p=0,042$), ω -3 линоленовой (C18:3 ω 3; $r=0,484$; $p < 0,001$), эйкозотриеновой (C20:3 ω 3; $r=0,352$; $p=0,005$), докозагексаеновой (C22:6 ω 3; $r=0,245$; $p=0,005$). Установлены взаимосвязи между ω -6 ПНЖК линолевой (C18:2 ω 6) с гамма-линоленовой (C18:3 ω 6; $r=0,724$; $p=0,001$); гамма-линоленовой (C18:3 ω 6) с дигомо-гамма-линоленовой (C20:3 ω 6; $r=0,470$; $p < 0,001$); дигомо-гамма-линоленовой (C20:3 ω 6) с арахидоновой (C20:4 ω 6; $r=0,726$; $p=0,001$).

Источниками длинноцепочечных ω -3 эйкозопентаеновой и докозагексаеновой ПНЖК являются жиры рыб, в особенности морских [14]. Частично, эйкозопентаеновая и докозагексаеновая ПНЖК образуются из линоленовой ω -3 ПНЖК; этот процесс представляется следующим образом: линоленовая кислота эйкозотриеновая эйкозопентаеновая докозагексаеновая.

Установлены взаимосвязи ω -3 ПНЖК линоленовой (C18:3 ω 3) с эйкозотриеновой (C20:3 ω 3; $r=0,435$; $p=0,01$); эйкозопентаеновой (C20:5 ω 3; $r=0,501$; $p < 0,001$) с докозагексаеновой (C22:6 ω 3; $r=0,496$; $p=0,001$). В этой цепи отсутствует промежуточное звено процесс превращения эйкозотриеновой кислоты (C20:3 ω 3) в эйкозопентаеновую (C20:5 ω 3; $r=0,501$; $p < 0,001$).

ОБСУЖДЕНИЕ

При оценке результатов традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых жителей Арктического региона мы не обнаружили значимых отличий от референсных значений. Однако у 52,1% обследованных выявлено высокое содержание атерогенных фракций ЛПОНП, ТГ и особенно КА. Изучение содержания аполипротеинов показало, что имеется низкое среднее содержание Апо-А, тогда как содержание Апо-В и соотношение Апо-В/Апо-А было высоким у 39-51% обследованных.

В исследованиях К.О. Пашинской и соавт. [15] установлено, что у значительной части обследованных практически здоровых жителей территории Крайнего Севера отмечено низкое содержание в сыворотке крови Апо-А. Отношение Апо-В/Апо-А1 представляет собой баланс между Апо-В-атерогенными и Апо-А1-антиатерогенными частицами, это соотношение считается одним из маркеров сердечно-сосудистого риска [16].

Известно, что от содержания в пище СЖК зависят уровни ТГ, ЛПНП и ЛПВП. Так, обогащение пищи ПНЖК приводит к снижению ЛПНП, но не влияет на уровень антиатерогенных ЛПВП. В ряде исследований показано, что употребление в пищу ПНЖК сопровождается более низкими значениями уровней ТГ, ОХ, фибриногена, ЛПОНП и более высокой концентрацией ЛПВП [17].

В ранних исследованиях Е.Р. Бойко и соавт. [18], А.Ю. Людиной и соавт. [19] установлено, что у коренного населения Севера, особенно у лиц с традиционным белково-липидным питанием, повышено содержание в организме ω -3 ПНЖК (эйкозапентаеновой и докозагексаеновой) при снижении уровней ω -6 ПНЖК. Высокие уровни ПНЖК выявлены у жителей арктических территорий по сравнению с лицами, проживающими в южных регионах [20].

При изучении содержания НЖК, МНЖК и ПНЖК обнаружено, что наиболее значимыми НЖК, входящими в состав ТГ и ЛПНП, являются пальмитиновая (C16:0), стеариновая (C18:0) кислоты и МНЖК олеиновая (C18:1 ω 9). СЖК основные поставщики энергии в организм. Известно, что их содержание связано с особенностями питания населения с учётом региона проживания. Так, НЖК содержатся в животных жирах. Вероятно, высокое содержание НЖК, с одной стороны, является необходимым для запаса энергии; с другой, их избыточное содержание может приводить к накоплению ТГ и ЛПНП, то есть иметь значение в развитии атеросклеротических изменений. О скрытых изменениях липидного обмена может говорить и то, что у части обследуемых северян выявлено высокое содержание НЖК. Это в определенной мере может быть связано с изменением питания употреблением в пищу большого количества трансжиров, фастфуда и т.д.

Нами изучено содержание семейств ω -3 и ω -6 ПНЖК: в 21,4% случаев выявлено низкое содержание ω -6 ПНЖК линолевой кислоты; при этом содержание ω -6 арахидоновой кислоты оказалось ниже медианы в 51,5% случаев. Отмечены низкие значения (ниже медианы) ω -3 ПНЖК линоленовой, эйкозапентаеновой, докозагексаеновой у 4050% обследованных.

Ω -6 линолевая (C18:2 ω 6c) и ω -3 α -линоленовая (C18:3 ω 3) кислоты являются незаменимыми. Некоторые авторы относят к ним и арахидоновую кислоту (C20:4 ω 6). Эти кислоты содержатся в растительных маслах, в небольшом количестве арахидоновая кислота имеется в свином жире и молочных продуктах.

К ω -3 относятся линоленовая (C18:3 ω 3), эйкозапентаеновая (C20:5 ω 3) и докозагексаеновая (C22:6 ω 3) кислоты, содержащиеся в основном в жире рыб северных морей. В клетках и тканях длинноцепочечные ПНЖК находятся не в свободном виде, а составляют структуру липидов различных классов: ТГ, фосфолипидов, эфиров холестерина. Около 60% сухого вещества головного мозга составляют жирные кислоты с наивысшей концентрацией в мембранах нейроцитов. В клетках серого вещества коры головного мозга здорового человека содержится до 13% докозагексаеновой кислоты и 9% арахидоновой; в сетчатке глаза около 60% ПНЖК представлено докозагексаеновой кислотой. Фосфолипиды клеточных мембран и их состав оказывают влияние на электрофизиологический ответ, что и определяет высокий уровень арахидоновой и докозагексаеновой кислот в органах с интенсивной электрофизиологической активностью: мозге, сетчатке глаза, синапсах [21].

Для уточнения значимости СЖК в липидном обмене у жителей Арктического региона проведён корреляционный анализ, который показал наличие взаимосвязей ТГ с НЖК, МНЖК и ПНЖК, что может свидетельствовать о включении жирных кислот в ТГ. Прослежены корреляции между ω -6 и ω -3 ПНЖК: установлены взаимосвязи линолевой кислоты с гамма-линоленовой, дигомо-гамма-линоленовой и арахидоновой. Это может свидетельствовать о том, что процесс превращения линоленовой кислоты в арахидоновую не нарушен. Человек получает арахидоновую кислоту в основном из пищи (животные жиры); вероятно, в большей степени низкое содержание арахидоновой кислоты связано с низким поступлением её с пищей, однако в небольшом количестве она может быть образована из ω -6 линолевой кислоты сначала через образование гамма-линоленовой, затем дигомо-гамма-линоленовой и арахидоновой.

Нами установлены взаимосвязи ω -3 ПНЖК линоленовой (C18:3 ω 3) с эйкозатриеновой (C20:3 ω 3), но не выявлено корреляций эйкозатриеновой (C20:3 ω 3) с эйкозапентаеновой (C20:5 ω 3). Имеют место только корреляции эйкозапентаеновой кислоты (C20:5 ω 3) с докозагексаеновой (C22:6 ω 3). Мы полагаем, что объяснением этому является нарушение процесса превращения эйкозатриеновой кислоты (C20:3 ω 3) в эйкозапентаеновую (C20:5 ω 3). Синтез ω -6 и ω -3 ПНЖК требует одних и тех же ферментов (элонгаз и десатураз), оба эти фермента конкурентно участвуют в синтезе как ω -6, так и ω -3 ПНЖК [22]. Вероятно, данные ферменты используются в большем количестве для синтеза ω -6 ПНЖК.

Несомненно, на метаболизм липидов могут влиять и генетические факторы, которые имеют особенности у представителей различных регионов. Тем не менее по этому поводу нет единого мнения. Так, например, Ф.А. Бичкаева и соавт. [23] сравнили липидный профиль крови у населения приполярных регионов Севера и юга Кавказа (Южная Осетия). Оказалось, что у жителей Севера фиксировалось более высокое содержание не только ЛПНП, ЛПОНП, но и ЛПВП и Апо-А, при этом у них, по сравнению с жителями юга Кавказа, отмечались более высокие концентрации Апо-В и

соотношение Апо-В/Апо-А, что свидетельствует о дисбалансе аполипопротеинов. З.Н.Кривошапкина и соавт. [24] не выявили значимых гендерных различий параметров липидного обмена у жителей Якутии. В работе А.Р. Шаймарданова и О.Г. Литовченко [25] при изучении биохимических показателей крови у коренных жителей Якутии отмечена высокая частота встречаемости атерогенных дислипидемий и ожирения. Целью нашей работы не предусматривалось участие в исследовании представителей малых народов арктических территорий, так как это требует целенаправленного углублённого рассмотрения. Результаты настоящего исследования необходимо интерпретировать с учётом этих ограничений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало, что у практически здоровых жителей Арктического региона имеются скрытые изменения липидного обмена, выражающиеся в высоком содержании у части из них ЛПОНП, ТГ, КА, Апо-В, соотношения Апо-В/Апо-А при низком содержании Апо-А. Низкое содержание ω -6 ПНЖК, особенно линолевой и арахидоновой, ω -3 ПНЖК (эйкозопентаеновой и докозагексаеновой) может быть связано с низким поступлением их с пищей, а также с конкурентным участием ферментов в этом процессе. Следовательно, для выявления скрытых изменений липидного обмена у практически здоровых лиц Арктического региона большее значение имеет исследование совокупности параметров, включающей не только традиционные показатели, но и дополнительные маркеры содержания липопротеинов Апо-А, Апо-В, соотношение АпоВ/АпоА, а также ПНЖК ω -3 (эйкозопентаеновой и докозагексаеновой) и ω -6 (особенно линолевой и арахидоновой).

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Н.В. Соловьёва — разработка концепции; В.А. Соловьёва, У.Г. Гусейнова — проведение исследования; В.А. Соловьёва, Ф.А. Бичкаева — сбор и обработка клинического материала, формирование базы данных; Соловьев А.Г. — анализ данных, редактирование текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведения исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (протокол № 12 от 15.02.2022).

Согласие на публикацию. Все участники исследования добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии отношений, деятельности и интересов за последние три года, связанных с третьими лицами (коммерческими и некоммерческими), интересы которых могут быть затронуты содержанием статьи.

Оригинальность. При создании настоящей работы авторы не использовали ранее опубликованные сведения (текст, иллюстрации, данные).

Доступ к данным. Редакционная политика в отношении совместного использования данных к настоящей работе не применима, новые данные не собирали и не создавали.

Генеративный искусственный интеллект. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

Рассмотрение и рецензирование. Настоящая работа подана в журнал в инициативном порядке и рассмотрена по обычной процедуре. В рецензировании участвовали два внешних рецензента, член редакционной коллегии и научный редактор издания.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. N.V. Solovieva — research conception; V.A. Solovyeva, U.G. Guseynova — conducting research; V.A. Solovyeva, F.A. Bichkaeva — collection and processing of clinical material, formation of database; A.G. Soloviev — text analysis, editing the article. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, conduct of the study, and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Ethical expertise. The study was approved by the local Ethics Committee of the Federal State Budgetary Institution FITSKIA Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Protocol No. 12 from 15.02.2022).

Consent for publication. All study participants voluntarily signed an informed consent form before being included in the study.

Funding sources. No funding.

Disclosure of interests. The authors have no relationships, activities or interests for the last three years related with for-profit or not-for-profit third parties whose interests may be affected by the content of the article.

Statement of originality. In creating this work, the authors did not use previously published information (text, illustrations, data).

Data availability statement. The editorial policy regarding data sharing does not apply to this work, and no new data was collected or created.

Generative AI. Generative AI technologies were not used for this article creation.

Provenance and peer-review. This paper was submitted to the journal on an unsolicited basis and reviewed according to the usual procedure. Two external reviewers, a member of the editorial board, and the scientific editor of the publication participated in the review.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Aghajanyan NA, Zhvavy NF, Ananyev VN. *Human adaptation to the conditions of the Far North. Ecological and physiological mechanisms*. Moscow: KRUK; 1998. 240 p. (In Russ.)
2. Panin LE. Fundamental problems of the circumpolar and the Arctic medicine. *The Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences* 2013;33(6):5–10. EDN: RSAUVD
3. Solovieva NV, Leuhter SN, Solovyeva VA Alcohol-associated lipid metabolism disorders *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2022;67(12):705–709. doi: 10.51620/0869-2084-2022-67-12-705-709 EDN: OTPMIY
4. Artemenkov AA. Plasma dyslipidemia: pathogenesis and diagnostic value. Literature review. *Perm Medical Journal* 2023;40(1):7893. doi: 10.17816/pmj40178-93 EDN: IYNHUI
5. Burakova LN, Nikolenko MV, Shkolnikova MN. Influence of the nutrition factor on the development of the metabolic syndrome. *Polzunovskiy Vestnik*. 2024;(3):8289. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.012 EDN: GBSFAU
6. Yakovlev-Malykh NN, Borisenko TD, Kamyshnikov VS. Evaluation of the prognostic significance of the ratio of APO-B/APO-A-I in the stratification of the risk of acute forms of coronary heart disease. *Cardiology in Belarus* 2022;14(2):187198. doi: 10.34883/PI.2022.14.2.004 EDN: VZJAPG
7. Tarasov AV, Kochetov AG, Galyautdinov D Met al. The balance of fatty acids in the blood and plaques in patients with carotid atherosclerosis. *Journal of Atherosclerosis and Dyslipidemias*. 2024;(1):5262. doi: 10.34687/2219-8202.JAD.2024.01.0007 EDN: EWMRRU
8. Zhurba OM, Merinov AV, Alekseenko AN, Kudaeva IV. Spectrum of esterified fatty acids of the Omega-3 and Omega-6 in the blood of persons with vibration pathology. *Hygiene and Sanitation*. 2021;100(12):14301435. doi: 10.47470/0016-9900-2021-100-12-1430-1435 EDN: ULEEGU
9. Gutsol LO, Egorova IE, Korshunova EY. Mechanisms of formation of high density lipoprotein dysfunction (message 1). *Transbaikalian Medical Bulletin*. 2019;(3):7281. doi: 10.52485/19986173_2019_3_72 EDN: NCUKFP
10. Klimov AN, Nikulicheva NG. *Lipid and lipoprotein metabolism and its violation: a guide for doctors*. St. Petersburg: Peter Com; 1999. 365 p. (In Russ.) ISBN: 5-88782-134-5
11. Patent RUS No 2758932 C1 / 03.11.2023. Bichkaeva FA, Baranova NF, Vlasova OS, et al. Method of measuring the mass concentration of methyl esters of fatty acids in biological media by gas-liquid chromatography. Available from: <https://patentimages.storage.googleapis.com/70/6f/5d/987f9d0c2ab522/RU2758932C1.pdf> EDN: SBAVXA
12. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*. 2013;310(20):2191–2194. doi: 10.1001/jama.2013.281053
13. Magruk MA, Mosikyan AA, Babenko AYu. Biomarkers associated with atherogenesis: current status and promising areas. *Russian Journal of Cardiology*. 2019;24(12):148–152. doi: 10.15829/1560-4071-2019-12-148-152 EDN: PBYHYJ
14. Shikh EV, Makhova AA. Long-chain ω -3 polyunsaturated fatty acids in the prevention of diseases in adults and children: a view of the clinical pharmacologist. *Problems of Nutrition*. 2019;88(2):91–100. doi: 10.24411/0042-8833-2019-10022 EDN: IMYVVZ

15. Pashinskaya KO, Samodova AV, Dobrodeeva LK. The effect of the content of APOA-I in peripheral blood on the state of immune homeostasis in people living in extreme climatic conditions of the Arctic. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2021;66(9):539545. doi: 10.51620/0869-2084-2021-66-9-539-545 EDN: IXNUPA
16. Kachkovsky MA, Vvedenskaya IP, Vvedensky VYu, et al. Apolipoprotein profiling as a variant of a personalized approach to the diagnosis and correction of dyslipidemia. *Bulletin of the medical Institute "Revision". Bulletin of the Medical Institute 'REAVIZ: Rehabilitation, Doctor, and Health'*. 2020;(4):88–104. doi: 10.20340/vmi-rvz.2020.4.11 EDN: KDOOWO
17. Van Dael P. Role of ω -3 long-chain polyunsaturated fatty acids in human nutrition and health: review of recent studies and recommendations. *Nutr Res Pract*. 2021;15(2):137–159. doi: 10.4162/nrp.2021.15.2.137
18. Boyko ER, Kaneva AM. Indices of lipid metabolism for the early diagnosis of cardiovascular disease in residents of the North. *Yakut Medical Journal*. 2019;(3):96101. doi: 10.25789/YMJ.2019.67.27 EDN: CFSVKY
19. Lyudinina AYU, Garnov IO, Boyko ER. Essential fatty acids in diet and their role in improving physical performance of ski racers *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2021;28(9):2733. doi: 10.33396/1728-0869-2021-9-27-33 EDN: WBZZTC
20. Galstyan DS, Bichkaeva FA, Baranova NF. Concentrations of polyunsaturated fatty acids by body mass index among Arctic residents. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2020;27(9): 410. doi: 10.33396/1728-0869-2020-9-4-10 EDN: REQEPA
21. Drapkina OM, Shepel RN. Omega-3 fatty acids and age-related diseases: realities and prospects. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology* 2015;11(3):309316. EDN: TYQOGF
22. Berezhnaya IV, Simakova MA, Simakova MA, Sgibneva AI. Polyunsaturated fatty acids: omega-3 and omega-6 and nonalcoholic fatty liver disease. *Pediatrics. Consilium Medicum*. 2021;(4):335–340. doi: 10.26442/26586630.2021.4.201348 EDN: TJCFBG
23. Bitchkayeva FA, Kokoyev TI, Djyoyeva TzG, et al. The content of apolipoproteins in blood M and parameters of lipid metabolism in population of north polar regions and southern regions of caucasus. *Clinical Laboratory Diagnostics*. 2013;(1):2527. EDN: PVFHMT
24. Krivoshapkina ZN, Mironova GE, Semyonova EI, Olesova LD. Biochemical spectrum of blood serum as indicator of Yakutia residents adaptedness to northern conditions. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2015;22(11):1924. EDN: UYFTNX
25. Shajmardanov AR, Litovchenko OG. Comparative analysis of the severity of oxidative stress in the indigenous and non-indigenous population of the Yamalo-Nenets autonomous okrug. *Modern Issues of Biomedicine* 2023;7(4):23. doi: 10.51871/2588-0500_2023_07_04_23 EDN: PHZZAM

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / AUTHORS' INFO

*Автор, ответственный за переписку	*Corresponding author
Соловьёва Вероника Андреевна* , ассистент; адрес: Россия, 163069, Архангельск, пр. Троицкий, д. 51; ORCID: 0000-0002-2954-8040; eLibrary SPIN: 4724-9603; e-mail: taurus221 @ yandex.ru	Veronica A. Solovyeva* , Assistant Lecturer; address: 51 Troitsky Ave., Arkhangelsk, Russia, 163069, ORCID: 0000-0002-2954-8040; eLibrary SPIN: 4724-9603; e-mail: taurus221 @ yandex.ru
Гусейнова Улькер Габил кызы , аспирант; ORCID: 0000-0002-6932-0446; eLibrary SPIN: 2469-9034; e-mail: ulkerguseynova97@mail.ru	Ulker G. Guseynova , Graduate Student; ORCID: 0000-0002-6932-0446; eLibrary SPIN: 2469-9034; e-mail: ulkerguseynova97@mail.ru
Соловьёва Наталия Владиславовна , д-р мед. наук, доцент; ORCID: 0000-0002-0664-4224; eLibrary SPIN: 2263-8904; e-mail: patophiz@yandex.ru	Natalia V. Solovieva , MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor; ORCID: 0000-0002-0664-4224; eLibrary SPIN: 2263-8904; e-mail: patophiz@yandex.ru
Бичкаева Фатима Артемовна , д-р биол. наук; ORCID: 0000-0001-8507-1489; eLibrary SPIN: 3562-3921;	Fatima F. Bichkaeva , Dr. Sci. (Biology); ORCID: 0000-0001-8507-1489; eLibrary SPIN: 3562-3921; e-mail: fatima@fciactic.ru

e-mail: fatima@fciactic.ru	
Соловьёв Андрей Горгоньевич , д-р мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0002-0350-1359; eLibrary SPIN: 2952-0619; e-mail: ASoloviev1@yandex.ru	Andrey G. Soloviev , MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0002-0350-1359; eLibrary SPIN: 2952-0619; e-mail: ASoloviev1@yandex.ru

ТАБЛИЦЫ

Таблица 1. Содержание традиционных параметров липидного обмена у практически здоровых жителей Арктического региона

Table 1. Level of traditional lipid metabolism parameters in healthy individuals in the Arctic region

Показатели Studyvariable	Референсные значения Referencevalues	Данные практически здоровых обследуемых, Me (Q25; Q75) Healthy individuals
Общий холестерин ммоль/л Total cholesterol, mmol/L	2,996,09	4,74 (4,22; 5,62)
Липопротеины очень низкой плотности, ммоль/л VLDL, mmol/L	0,160,46	0,28 (0,16; 0,46)
Липопротеины низкой плотности г/л LDL, mmol/L	37	4,24 (3,13; 5,95)
Липопротеины высокой плотности, ммоль/л HDL, mmol/L	0,851,94	1,19 (0,98; 1,36)
Коэффициент атерогенности Atherogenicindex	до 3,0	3,10 (2,07; 4,40)
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides, mmol/L	0,82,3	1,40 (0,82; 1,98)

Таблица 2. Содержание аполипопротеинов у практически здоровых жителей Арктического региона

Table 2. Level of apolipoproteins in healthy individuals in the Arctic region

Показатели Study variable	Референсные значения Reference values	Данные практически здоровых обследуемых, Me (Q25; Q75) Healthy individuals
Аполипопротеины А, мг/дл Apo-A, mg/dL	122161	84,90 (76,08; 97,12)
Аполипопротеины В, мг/дл Apo-B, mg/dL	69105	90,49 (72,85; 120,42)
Соотношение аполипопротеинов В и А Apo-B/Apo-A ratio	до 1,0	1,09 (0,93; 1,35)

Таблица 3. Содержание насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот у практически здоровых жителей Арктического региона, мкг/мл

Table 3. Level of SFA and MUSFA in healthy individuals in the Arctic region, µg/ml

Жирные кислоты Studyvariable	Референсные значения Reference values	Данные практически здоровых обследуемых, Me (Q25; Q75) Healthy individuals
C14:0 миристиновая myristic	5,7028,00	15,92 (10,14; 27,48)
C15:0 пентадекановая pentadecane	1,887,92	4,36 (3,27; 5,38)
C16:0 пальмитиновая palmitic	217,50570,34	352,66 (284,65; 111,53)
C17:0 маргариновая margarine	2,889,17	4,92 (3,75; 6,51)
C18:0 стеариновая stearic	83,44197,16	132,61 (112,66; 175,30)
C14:1 миристоолеиновая myristoolein	0,112,16	1,06 (0,82; 1,57)
C15:1 пентадеканоловая	0,101,15	0,65 (0,29; 1,05)

pentadecanol		
C16:1 пальмитоолеиновая palmitooleic	10,2065,50	21,41 (14, 09; 39,10)
C18:1ω9 олеиновая oleic	137,40660,50	246,92 (195,56; 395,96)

Таблица 4. Содержание полиненасыщенных жирных кислот у практически здоровых жителей Арктического региона, мкг/мл

Table 4. Level of PUFA in healthy individuals in the Arctic region, µg/ml

Показатели Study variable	Референсные значения Reference values	Данные практически здоровых обследуемых, Ме (Q25; Q75) Healthy individuals
C18:2ω6 линолевая linoleum	201,501500,25	581,53 (369,82; 716,41)
C18:3ω6 γ- линоленовая γ- linolenic acid	0,2325,50	4,13 (2,67; 5,65)
C20:3ω6 дигомо-γ-линоленовая digomo γ-linolenic acid	3,5333,86	13,47 (9,04; 20,26)
C20:4ω6 арахидоновая arachidonic	85,24160,97	73,70 (42,22; 107,12)
C18:3ω3 линоленовая linolene	0,2511,02	4,09 (2,11; 5,70)
C20:3ω3 эйкозотриеновая eicosotriene	0,254,50	0,60 (0, 30; 1,32)
C20:5ω3 эйкозопентеновая eicosopentene	2,2580,50	8,93 (3,81; 19,72)
C22:6ω3 докозагексаеновая docosahexaenoic	5,50110,20	33,00 (11,94; 60,55)