



Зайцева Н.В., Алексеев В.Б., Май И.В., Кирьянов Д.А., Землянова М.А.,
Хисматуллин Д.Р., Пескова Е.В.

Проблемно-поисковые подходы к оптимизации питания в целях увеличения потенциала ожидаемой продолжительности жизни с учётом биоинформационных сигналов регуляторной системы человека

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения»
Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 614045, Пермь, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Широкое распространение нарушений здоровья, обусловленных негативным воздействием алиментарного фактора, определяет актуальность совершенствования методологии анализа риска для здоровья при воздействии комплекса детерминант нерационального и небезопасного питания, определения задач оптимального управления такими рисками. Особую значимость приобретает изучение клеточно-молекулярных механизмов развития метаболических нарушений при дискоординации сигнальной трансдукции.

Цель работы — совершенствование методических подходов к оптимизации питания для увеличения потенциала ожидаемой продолжительности жизни с учётом биоинформационных сигналов регуляторной системы человека.

Материалы и методы. Разработана и реализована методология анализа риска для здоровья при воздействии алиментарного фактора на популяционном (всё население 85 субъектов Российской Федерации, 340 показателей, 2012–2023 гг.), индивидуальном (300 тыс. детей 7–14 лет, 85 регионов, 14 нозологий, 2019–2023 гг.), органном и клеточно-молекулярном уровнях (2430 детей из 5 регионов, 1550 показателей; 300 крыс линии Wistar). Использованы методы гигиенического анализа, медико-социологического анкетирования, биохимических, химико-аналитических, клинко-функциональных исследований; протеомного, биоинформационного, множественного регрессионного, пространственно-динамического анализа; оценки риска для здоровья; каскадного, нейросетевого, эволюционного моделирования; расчёта ожидаемой продолжительности жизни (ОПЖ).

Результаты. В Российской Федерации популяционные потери ОПЖ при риске развития патологий, ассоциированных с потреблением небезопасных пищевых продуктов, составляют в среднем 1,08 года, с несбалансированным рационом питания — 2 года. Индивидуальные потери ОПЖ на примере детей 7–14 лет при наихудших сценариях питания прогнозируются до 4,7 года. При дисрегуляции сигнальной трансдукции в условиях химической контаминации биосред на примере экспрессии всего двух белков (аполипопротеина А1 и транстиретина) прогнозируется сокращение срока ОПЖ на 1,8 мес. Полученные параметры определяют управленческие меры, сочетающие скоординированные федеральные и региональные механизмы государственного регулирования и формирование ответственного отношения граждан к здоровому питанию.

Заключение. Разработанная методология анализа риска для здоровья, объединяющая популяционный, индивидуальный, клеточно-субклеточный уровни, позволяет решать ряд практических задач для обоснования мер оптимизации питания различных категорий населения. Прогнозируемая результативность внедрения комплекса управленческих решений по показателю прироста ОПЖ в среднем может составить 3 года.

Ключевые слова: алиментарно-зависимые болезни; риск для здоровья; популяция; индивид; клеточно-молекулярные механизмы; пищевой рацион; прогноз; ожидаемая продолжительность жизни; оптимизация питания; государственное регулирование

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора (протокол заседания № 2 от 11.02.2021 г.), проведено согласно общепринятым научным принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.). Все участники и их законные представители дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Зайцева Н.В., Алексеев В.Б., Май И.В., Кирьянов Д.А., Землянова М.А., Хисматуллин Д.Р., Пескова Е.В. Проблемно-поисковые подходы к оптимизации питания в целях увеличения потенциала ожидаемой продолжительности жизни с учётом биоинформационных сигналов регуляторной системы человека. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(12): 1494–1503. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1494-1503> <https://elibrary.ru/dmgnfz>

Для корреспонденции: Землянова Марина Александровна, e-mail: zem@fcrisk.ru

Участие авторов: Зайцева Н.В. — концепция, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи; Алексеев В.Б., Май И.В., Хисматуллин Д.Р., Пескова Е.В. — дизайн исследования, сбор и обработка данных; Кирьянов Д.А. — дизайн исследования, сбор, обработка данных, написание и редактирование текста; Землянова М.А. — написание и редактирование текста. Все соавторы — ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование выполнено за счёт средств федерального бюджета.

Поступила: 15.10.2024 / Поступила после доработки: 01.11.2024 / Принята к печати: 03.12.2024 / Опубликовано: 28.12.2024

Nina V. Zaitseva, Vadim B. Alekseev, Irina V. May, Dmitriy A. Kiryanov,
Marina A. Zemlyanova, Dmitriy R. Khismatullin, Ekaterina V. Peskova

Problem Searching approaches to nutrition optimization to increase the potential of life expectancy taking into account bioinformatic signals of the human regulatory system

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 61 4045, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. High prevalence of alimentary diseases remains an acute healthcare issue. This calls for improvement of the methodology for health risk assessment under exposure to a set of determinants associated with unhealthy and unsafe diets to achieve optimal management for such risk. Investigation of cellular-molecular pathways of the development of metabolic disorder in case the signal transduction is non-coordinated is becoming especially important.

The aim of this study is to improve methodological approaches to optimizing nutrition to increase potential of life expectancy, taking into account bioinformatic signals of the human regulatory system.

Materials and methods. We have developed and implemented the methodology for health risk analysis for alimentary exposures at the population (the total population of eighty five RF regions, 340 indices, 2012–2023), individual (300,000 children aged 7–14 years in 85 regions, 14 diseases, 2019–2023), organ and cellular-molecular levels (2430 children from 5 regions, 1550 indices; 300 Wistar rats). The methods employed in this study include hygienic analysis, medical-social questioning; biochemical, chemical-analytical tests, clinical-functional examinations; proteomic, bioinformation, multiple regression and spatial-dynamic analysis; health risk assessment; cascade, neural network and evolutionary modelling; calculation of life expectancy at birth (LEB).

Results. In the Russian Federation, population losses in LEB associated with risks of alimentary diseases caused by consumption of unsafe food products on average amount to 1.08 years; those caused by unhealthy diets, 2 years. Individual losses in LEB exemplified by schoolchildren are expected to reach 4.7 years under the worst-case diet scenarios. A reduction in LEB equal to 1.8 months is predicted in case of deregulated signal transduction under chemical contamination in biological media as exemplified by expression of only two proteins (apolipoprotein A1 and transthyretin). The parameters obtained in the study determine management interventions that combine coordinated federal and regional mechanisms of state regulation and the formation of a responsible attitude of citizens concerning healthy diets.

Conclusion. We have developed the health risk assessment methodology that combines population, individual, cellular, and sub-cellular levels. It allows solving several practical tasks aimed at substantiating relevant measures for optimization of diets consumed by various population groups. Expected effectiveness of implementing a set of relevant managerial decisions can reach 3 years of LEB growth.

Keywords: alimentary diseases; health risk; population; individual; cellular-molecular pathways; food ration; prediction; life expectancy at birth; diet optimization; state regulation

Compliance with ethical standards. The study was approved by the local ethical committee of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing (Rosпотребнадзор) (meeting protocol No. 2 dated 11.02.2021), and the Helsinki Declaration of the World Medical Association (as amended 2013) was carried out. All participants and their legal representatives gave informed voluntary written consent to participate in the study.

For citation: Zaitseva N.V., Alekseev V.B., May V.B., Kiryanov D.A., Zemlyanova M.A., Khismatullin D.R., Peskova D.R. Problem Searching approaches to nutrition optimization to increase the potential of life expectancy taking into account bioinformatic signals of the human regulatory system. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(12): 1494–1503. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-12-1494-1503> <https://elibrary.ru/dmgnfz> (In Russ.)

For correspondence: Marina A. Zemlyanova, e-mail: zem@fcrisk.ru

Contributions: Zaitseva N.V. – the study concept, editing, approval of the final version; Alekseev V.B., May V.B., Khismatullin D.R., Peskova D.R. – the study design, the collection and processing of the material; Kiryanov D.A. – the study design, the collection and processing of the material, writing and editing the text; Zemlyanova M.A. – writing and editing the text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: October 15, 2024 / Revised: November 1, 2024 / Accepted: December 3, 2024 / Published: December 28, 2024

Введение

Широкое распространение алиментарно-зависимых патологий, обусловленных неполноценным и небезопасным питанием, является угрозой национального и мирового масштаба для здоровья и активного долголетия населения. Особую тревогу вызывают уровень и динамика нарушений здоровья в виде избыточной массы тела и ожирения у людей различных возрастных категорий. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что в 2022 г. в мире избыточную массу тела имели 43% взрослых 18 лет и старше (43% мужчин и 44% женщин). Для сравнения в 1990 г. этот показатель составлял 25% взрослых. Ожирением страдали 16% взрослого населения, что более чем в два раза превысило показатель 1990 г. Распространённость ожирения среди детей и подростков 5–18 лет в 2022 г. выросла в четыре раза относительно 1990 г. и составила 8% [1]. В масштабных исследованиях (ВОЗ MONICA 1985–1995 гг.; НАPIEE 2003–2005 гг.; RLMS-HSE 1993 г.; Федеральный мониторинг АГ 2003 г.; ЭССЕ-РФ 2013 – настоящее время)

показано, что в возрасте 5–17 лет избыточная масса тела наблюдается более чем у 20% мальчиков и девочек, а ожирение – у 5–7%. Среди мужчин распространённость повышенной массы тела возросла с 10,8% в 1993 г. до 27,9% в 2017 г., среди женщин – с 26,4 до 31,8% соответственно [2]. По данным Росстата, распространённость ожирения в 2023 г. составила 1655,4 сл./100 тыс. всего населения, при этом ежегодно регистрируется более 100 тыс. новых случаев (295,9 сл./100 тыс.). Наибольший рост данной патологии отмечается в возрастной категории 15–17 лет (3683 сл./100 тыс. соответствующего населения). Экономический ущерб от ассоциированных с ожирением состояний в России составляет 4% ВВП страны в год [3].

К настоящему времени достаточно изучены управляемые факторы риска развития алиментарно-зависимых патологий. К ним относятся несбалансированность суточного рациона питания в виде избыточной калорийности (в 2018 г. у мужчин в среднем 3031 ккал, у женщин – 2225,5 ккал, у детей 3–13 лет – 2231,3 ккал) и преобладания отдельных макронутриентов. Суммарно доля жиров и углеводов (моно-

и дисахаров) в структуре рациона питания рассматриваемых контингентов достигает 85,82–87,1% [4]. В связи с дефицитом микронутриентов (витамины D, A, E, группы B, кальций, йод и ряд микроэлементов) [5] пищевые продукты не в полной мере обеспечивают качество и безопасность рациона. По данным ФИФ СГМ, несмотря на тенденцию снижения за период 2014–2023 гг., в 2023 г. исследованная пищевая продукция не соответствовала требованиям гигиенических нормативов по санитарно-химическим показателям (превышены нормативы для токсичных элементов, пестицидов, нитратов и др.) в 0,41% случаев, по микробиологическим показателям – в 3,25% случаев, особенно в таких группах продуктов, как рыба, яйца, птица, грибы и продукция из них¹.

Характер питания и пищевой дисбаланс рациона взрослого населения являются детерминантами риска хронических неинфекционных болезней, таких как артериальная гипертензия, ожирение, нарушения обмена (липидного, углеводного и пуринового), снижение минеральной плотности костной ткани, системные воспаления, новообразования (лёгких, желудка, пищевода, глотки и др.), у детей и подростков – риска раннего развития сахарного диабета 2-го типа и гипертонической болезни, когнитивных нарушений [6]. Реализация рисков влияет на структуру заболеваемости, инвалидности, смертности, продолжительность и качество здоровых лет жизни. В масштабных и длительных исследованиях (195 стран за период 1990–2017 гг.) показано [7], что у взрослого населения 11 млн смертей и 255 млн лет жизни, скорректированных по преждевременной смертности и нетрудоспособности (DALY), в 2017 г. были связаны с нарушением характера питания. По данным департамента мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения Минздрава России, вклад ожирения в сокращение ОПЖ составляет 2,5 года, чтократно превышает вклад в ОПЖ от туберкулёза, ВИЧ и гепатитов [3].

В связи с этим при обеспечении национальных приоритетов актуальным и критически важным является научно обоснованное совершенствование системы государственного регулирования в сфере минимизации рисков для здоровья, связанных с воздействием алиментарно-зависимого фактора. Особое значение приобретает оптимизация питания, повышающая протективные свойства ежедневных рационов, для сохранения и коррекции индивидуального здоровья. Это определяет необходимость уточнения пищевого статуса, этиопатогенетических механизмов дисрегуляторных нарушений сигналинга при несбалансированном и небезопасном рационе, численного прогноза ожидаемых медико-демографических потерь. Решение обозначенных задач на платформе новых молекулярных и информационных технологий, машинного обучения, сетевой контекстуализации обеспечивает эффективность мер по минимизации риска для здоровья, направленных на оптимизацию питания как основы здоровьесбережения нации.

Цель исследования – совершенствование методических подходов к оптимизации питания для увеличения потенциала ожидаемой продолжительности жизни с учётом биоинформационных сигналов регуляторной системы человека.

Материалы и методы

Разработана методология анализа риска нарушений здоровья при воздействии алиментарного фактора, реализованная с применением трёх уровней оценок. На популяционном уровне (всё население 85 субъектов Российской Федерации) для каждого региона как единого объекта наблюдений выполнен пространственно-динамический анализ системы причинно-следственных связей потребления основных пищевых продуктов, уровней их контаминации, содержания макро-, микронутриентов с первичной заболеваемостью

и смертностью населения. Расчёт дополнительных случаев, ассоциированных с небезопасной пищевой продукцией и нерациональной структурой суточного рациона, осуществляли в соответствии с методическими рекомендациями МР 5.1.0095–14². Оценивали 340 показателей по данным региональных государственных форм статистического наблюдения за период 2012–2023 гг.: безопасность (212 показателей) и потребление (20 показателей) продуктов питания, состояние здоровья населения с учётом половозрастного состава (108 показателей, в том числе заболеваемость, смертность). Моделирование зависимостей реализовано построением множественных регрессионных моделей. Адекватность и достоверность биологически правдоподобных моделей оценивали по критериям статистической значимости [8]. Вероятное снижение ОПЖ прогнозировали на основе количественной оценки риска развития дополнительных случаев алиментарно-зависимых патологий [9].

Индивидуальный уровень оценок реализован на примере выборочных медико-социологических исследований питания школьников (300 тыс. человек 7–14 лет из 85 регионов) в рамках реализации национального проекта «Демография» в период 2019–2023 гг. ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора совместно с ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»³. Прогнозирование риска развития алиментарно-зависимых нарушений здоровья (по 14 нозологиям), ассоциированных с воздействием различного сочетания факторов (школьное питание, физическая нагрузка, социально-экономический статус, генетическая предрасположенность и др.) [10], выполнено на основе анализа системы причинно-следственных связей. Для построения моделей применены искусственные нейронные сети (ИНС) как частный метод машинного обучения. Для полученных и качественно оценённых с помощью ROC-анализа нейросетевых моделей использовали симуляционную матрицу объёмом 300 тыс. сценариев, построенных с применением метода случайного поиска (метод Монте-Карло). Расчёт сокращения ОПЖ⁴, связанного с дополнительной вероятностью накопления риска алиментарно-зависимых болезней в течение жизни, выполнен на основе метода эволюционного моделирования [9].

На клеточно-молекулярном и органном уровнях оценок детализация механизмов нарушения дисрегуляции выполнена на примере повышенного потребления жиров и углеводов и в условиях контаминации биосред. Проведены углублённые медицинские обследования детей 4–7 лет и взрослых 21–48 лет из пяти регионов, включающие протеомно-метаболомные исследования плазмы крови (2430 человек, в том числе 300 протеомных карт, 6000 белковых пятен, 30 биохимических показателей, 79 200 определений), исследования крови, мочи на содержание 18 веществ (алюминий, медь, марганец, никель, хром, ванадий, кобальт, молибден, мышьяк, ртуть, фтор-ион, бенз(а)пирен, фенол, бензол, толуол, ксилол, этилбензол, акролеин, 5200 определений)⁵, клинико-функциональные исследования (1500 диагнозов в соответствии с МКБ-10). Обследование детей выполнено с со-

² МР 5.1.0095–14 «Расчёт фактических и предотвращённых в результате контрольно-надзорной деятельности экономических потерь от смертности, заболеваемости и инвалидизации населения, ассоциированных с негативным воздействием факторов среды обитания», утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом РФ 23 октября 2014 г.

³ Доктор мед. наук А.К. Батулин, руководитель научного направления «Оптимальное питание», канд. мед. наук Е.Ю. Сорокина, вед. науч. сотр. лаб. демографии и эпидемиологии питания, канд. мед. наук Е.А. Кузьмина, зам. гл. врача ФБУЗ ФЦГиЭ Роспотребнадзора.

⁴ Приказ Росстата от 05.07.2013 г. № 261 (ред. от 30.12.2019 г.) «Об утверждении методик расчёта показателей для оперативной оценки эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации» (вместе с «Методикой расчёта показателя «Ожидаемая продолжительность жизни при рождении (лет)»).

⁵ Исследование содержания химических веществ в биосредах выполнено химико-аналитическими методами, включёнными в реестр Росаккредитации.

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году: Государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2024. 364 с.

блюдением этических принципов Хельсинкской декларации (2013 г.). Исследования одобрены Комитетом по биомедицинской этике ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН» (протокол № 1 от 04.02.2021 г.). Квантифицированные белки, экспрессия которых доказанно связана с контаминацией биосред, верифицированы результатами экспериментальных исследований на крысах линии Вистар (300 особей) при изолированной и комбинированной экспозиции, эквивалентной реальной. Исследования проведены с соблюдением требований Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных или в иных научных целях (ETS № 123).

Прогноз болезней, вероятностно связанных с воздействием факторов химической экспозиции, выполнен с помощью ресурсов UniProt, Tissue expression DB, DisGeNET, построено 25 биоинформационных 16–18-уровневых матриц. Прогноз потерь ОПЖ осуществлён на основе оценки дополнительного риска развития алиментарно-зависимых болезней в результате итерационного каскадного моделирования причинно-следственных связей «экспозиция – биомаркёр экспозиции – экспрессированный белок – биомаркёр негативного эффекта – негативный исход (фактическая патология)», оценки эволюции риска [11]. При выборе биологически активных веществ и пищевых продуктов для коррекции пищевого статуса использован ресурс FoodDB⁶. Связи моделировали методом регрессионного анализа с построением множественных логистических моделей. Оценка достоверности и адекватности моделей осуществлена по *F*-критерию Фишера, коэффициенту детерминации (R^2) и *t*-критерию Стьюдента ($p \leq 0,05$). Статистический анализ проведён с помощью программного комплекса Statistika 6.0 и самостоятельно разработанного программного обеспечения.

Результаты

Анализ первичной заболеваемости населения в региональном разрезе за период 2012–2023 гг. по данным Минздрава России⁷ позволил установить общую тенденцию роста болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушений обмена веществ. Прирост заболеваемости всего населения Российской Федерации по классу болезней в целом составил в среднем 32,02%. Значительный прирост первичной заболеваемости населения по классу болезней эндокринной системы, установленный за последние 12 лет, является объективным фактом, отражённым в системе государственного статистического наблюдения и характерным для большинства развитых стран. Распространённость ожирения в 2023 г. зарегистрирована у детей на уровне 435 сл./100 тыс. соответствующего населения, у взрослых – 242,8 сл./100 тыс. Оценка влияния качества пищевых продуктов основных групп на состояние здоровья всего населения России показала, что в среднем число дополнительных случаев болезней, ассоциированных с химическим и микробиологическим загрязнением, вероятностно составило в 2023 г. 958,4 сл./100 тыс. (1,08% от общей первичной заболеваемости). За период с 2013 г., несмотря на периодические отклонения, в целом отмечена положительная динамика показателя в виде снижения на 37,9%. Число дополнительных случаев отдельных инфекционных и паразитарных болезней при нарушении обязательных требований санитарного законодательства к безопасности пищевой продукции по микробиологическим показателям составило 264,44 сл./100 тыс. всего населения. Обоснование оптимального объёма требуемых исследований (испытаний) продукции на объектах высокого риска в рамках риск-ориентированного надзора за качеством и безопасностью пищевой продукции, обращаемой

на рынке, который может обеспечить частоту нарушений на среднероссийском уровне, показало, что достаточным является отбор 96–100 проб продукции на 10 тыс. потребителей.

Оценка суточного потребления населением макронутриентов, входящих в состав пищевых продуктов, подтвердила неравномерность сбалансированности рациона питания по регионам Российской Федерации. Например, анализ региональной динамики потребления жиров свидетельствует об устойчивой тенденции к увеличению показателя, прирост которого за двенадцатилетний период в среднем по России составил 4,7%. При этом избыточное относительно существующих нормативов потребление животных жиров характерно для населения таких регионов, как Ямало-Ненецкий АО, Забайкальский край, Республика Мордовия, Кабардино-Балкарская Республика, Курганская и Калининградская области (≈ 30 регионов). Суточное потребление углеводов в среднем имеет устойчивую тенденцию к снижению, белков – тенденцию к росту, но в отдельных регионах (10 и 5 соответственно) наблюдается обратный характер динамики показателей.

Число дополнительных случаев болезней, ассоциированных с нерациональной структурой суточного рациона по содержанию макронутриентов, за период 2014–2023 гг. снизилось на 21,7% и вероятностно составило в 2023 г. 2277,2 случая на 100 тыс. всего населения (или 2,7% от первичной заболеваемости в целом). Приоритетными в структуре дополнительной заболеваемости являются болезни органов пищеварения, кожи, костно-мышечной и мочеполовой систем. Болезни эндокринной системы, нарушения обмена веществ и расстройства питания в структуре ассоциированной заболеваемости всего населения составили в 2023 г. 5,8% от первичной заболеваемости по данному классу. Прогнозируемые потери ОПЖ при несоответствии рационов питания принципам правильного питания вероятностно составляют в среднем 2 года (рис. 1).

В результате нейросетевого моделирования на индивидуальном уровне оценок (дети 7–14 лет) получено 12 моделей вероятностного развития патологий из 14 исследуемых нозологических форм. Модель, описывающая ожирение, обеспечивает наилучшее качество прогнозирования (ошибка менее 5%). Прогнозирование на основе НСМ показало, что вероятность развития ожирения у школьников при ежедневном потреблении картофеля, майонеза, яиц увеличивается на 3,5–4%. Оценка накопления риска для здоровья среднестатистического школьника при реализации наихудшего сценария питания позволила установить, что вероятностные потери ОПЖ в целом составляют 4,7 года (рис. 2).

В структуре причин потери ОПЖ при наихудшем сценарии приоритетное место занимают болезни сердечно-сосудистой системы (вероятностно 1,23 года), дефицит массы тела (1 год), болезни щитовидной железы (0,62 года). Исследование показало, что наиболее значимым алиментарным фактором у школьников, определяющим вероятностные потери ОПЖ, является употребление высококалорийных пищевых продуктов (зефир, пастила, мармелад), приобретаемые в том числе в школьном буфете и вейдинговом аппарате. При эволюционном моделировании накопления риска развития болезней, ассоциированных с воздействием несбалансированного суточного рациона по содержанию основных макронутриентов (преобладание сложных углеводов), показано, что риск нарушения функций эндокринной системы у детей школьного возраста может привести к потерям от 1 до 1,5 года предстоящей жизни.

На основе полученных результатов разработаны карты на индивидуальном и групповом уровне для оптимизации питания мальчиков и девочек школьного возраста младшей, средней и старшей ступеней образования. Карты отражают показатели, характеризующие домашнее (4) и школьное (7) питание, общую частоту употребления конкретных пищевых продуктов (24), социально-экономический статус семьи (5). Для каждого значения показателя определена и разделена на три диапазона (оптимальный, средний, худший) величина

⁶ FoodDB. Доступно по: <https://fooddb.ca/>

⁷ Статистические материалы с 2012 по 2023 г. «Заболеваемость всего населения России с диагнозом, установленным впервые в жизни». М.: Издательство ФГБУ «ЦНИИОИЗ» Минздрава России, 2013–2024.

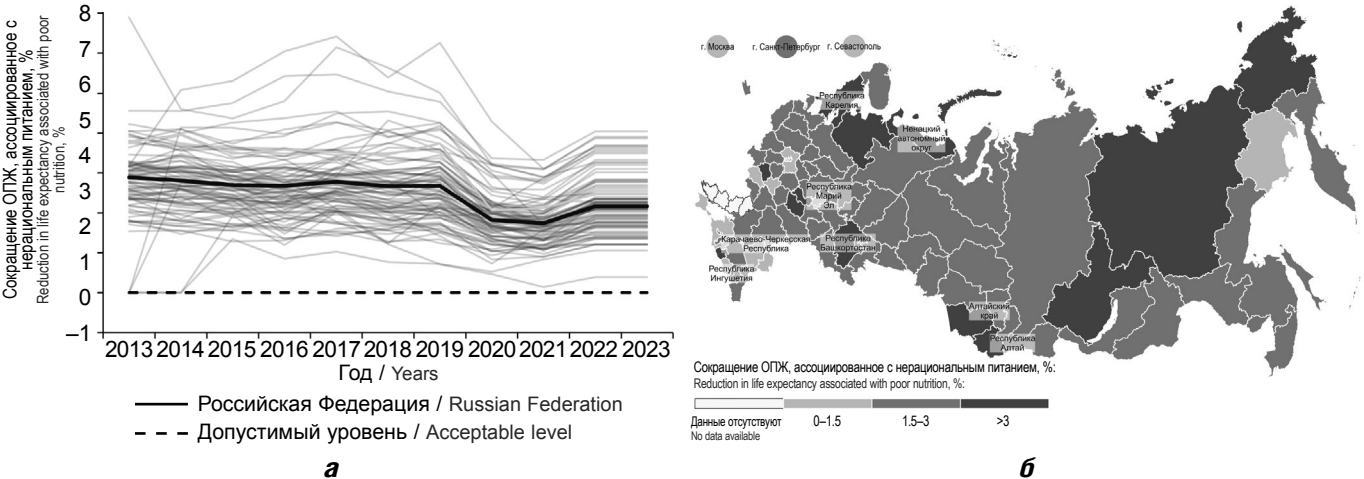


Рис. 1. Прогнозируемые потери лет ОПЖ, вероятно обусловленные нерациональным питанием населения Российской Федерации: а – динамика; б – пространственное распределение.

Fig. 1. Projected loss of years of life expectancy, probabilistically caused by poor nutrition in the population of the Russian Federation: а – trend; б – spatial distribution.

увеличения либо снижения дополнительной вероятности развития конкретной алиментарно-обусловленной патологии. Это позволяет для каждого индивидуального сочетания исследованных факторов (всего 40) выполнить расчёт изменения ОПЖ и определить вектор планирования или коррекции питания, максимально приближая его к оптимальному. Так, например, для мальчика восьми лет при наихудшем сценарии организации питания потери ОПЖ, обусловленные риском ожирения, составляют 39 дней, а при оптимальном сценарии потенциал роста ОПЖ определяется на уровне 43 дней.

Детализация закономерностей и механизмов возникновения нарушений жирового обмена на уровне клеток печени в условиях комбинированной экспозиции высокотоксичными веществами (на примере модели натурной экспозиции в дозе 0,1 RfD оксидом алюминия (Al_2O_3) и гидрофторидом (HF), 2,2 RfD бенз(а)пиреном (B[a]P)) показала, что пусковым звеном является стимуляция экспрессии белков – аполипопротеина A1 (ApoA1) и транстиретина (TTR) (рис. 3) [11]. В результате лиганд-рецепторного взаимодействия осуществляется патогенетически специфическое расщепление ApoA1, обусловленное активацией окисления токсикантами и протеолитическими свойствами TTR.

Нарушается восприятие сигнала к синтезу липопротеинов высокой плотности. Замедляется лизосомальный эндоцитоз липопротеидов низкой плотности. Усиливается секреция липопротеина (а). Повышается синтез билирубина как антиоксиданта в ответ на повышение окислительной активности.

Прогнозируемые потери ОПЖ при повышении экспрессии всего двух белков (ApoA1 и TTR) и связанных с этим метаболических нарушений могут составить 1,8 мес. Интегральные потери здоровья являются этиопатогенетически значимыми и представлены в виде гипертонической болезни, ожирения, жирового гепатоза.

Получены количественные оценки процессов накопления метаболических нарушений при дисрегуляции сигнальных путей, обусловленной избыточным содержанием в пищевом рационе жиров и углеводов. Моделирование процессов метаболизма глюкозы с образованием жирных кислот и триглицеридов при участии молекул ацетил-КоА показало, что нарушения, вызванные избыточным потреблением углеводов и повышенным уровнем синтеза инсулина, обуславливают дисрегуляцию в цепи сигнальной трансдукции. Эффекторным звеном путей передачи в сигнальных событиях является ацетил-КоА, синтез которого снижается.

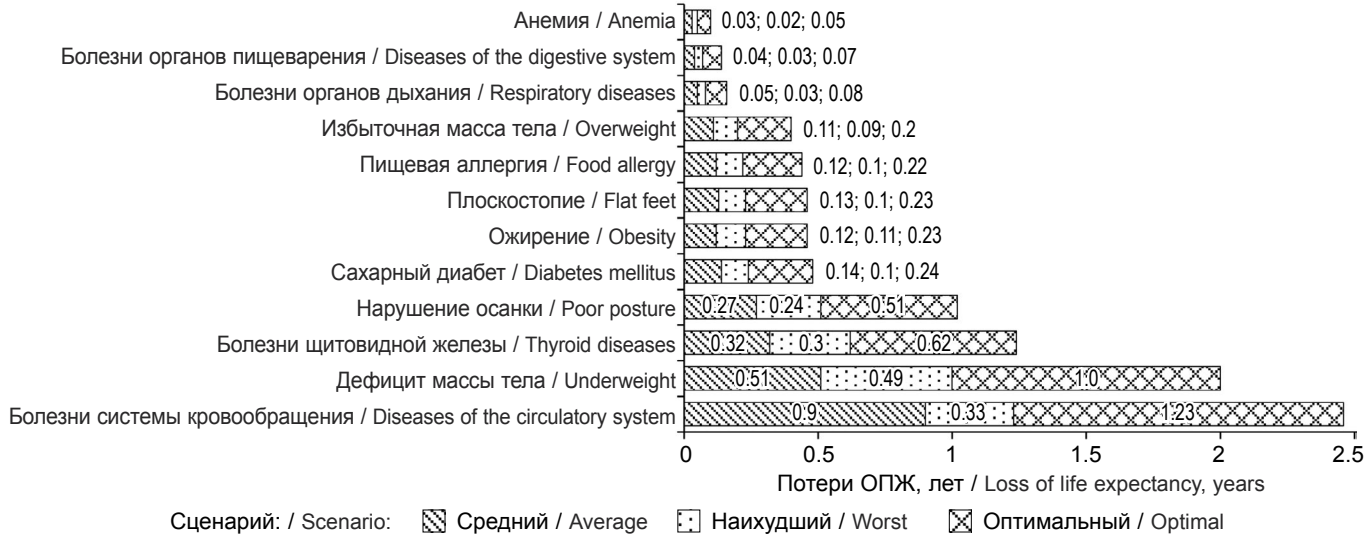


Рис. 2. Вероятностное снижение ОПЖ при возникновении алиментарно-обусловленных болезней у среднестатистического школьника.

Fig. 2. The probability decrease in life expectancy in the event of nutrition-related diseases in the average schoolchild.

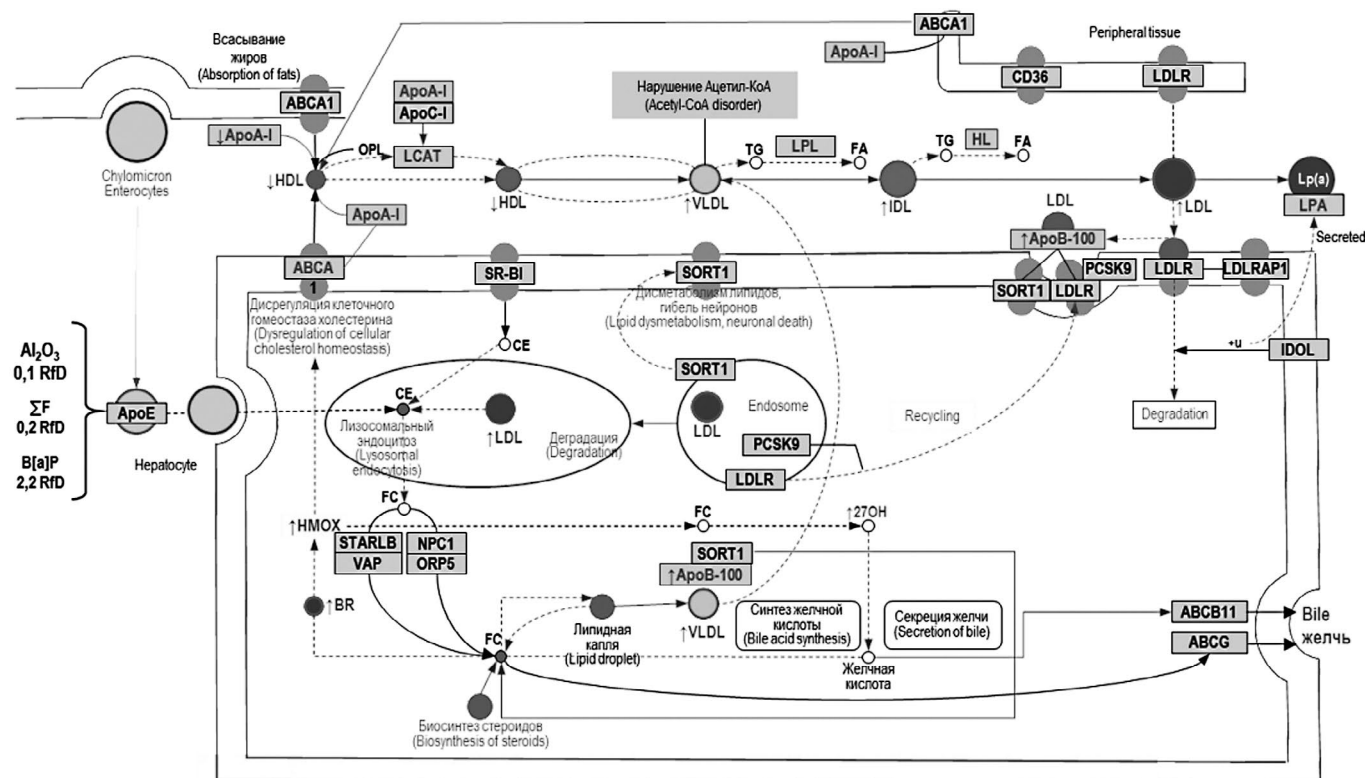


Рис. 3. Схема основных путей сигнальной трансдукции молекулярных событий при повышенной экспрессии аполипопротеина А1, обусловленной воздействием Al_2O_3 , HF, B[a]P (тоном выделены пути дисрегуляции клеточной коммуникации).

Fig. 3. Scheme of the main pathways of signal transduction of molecular events under increased expression of apolipoprotein A1 caused by exposure to Al_2O_3 , HF, B[a]P (the paths of dysregulation of cellular communication are highlighted in shade).

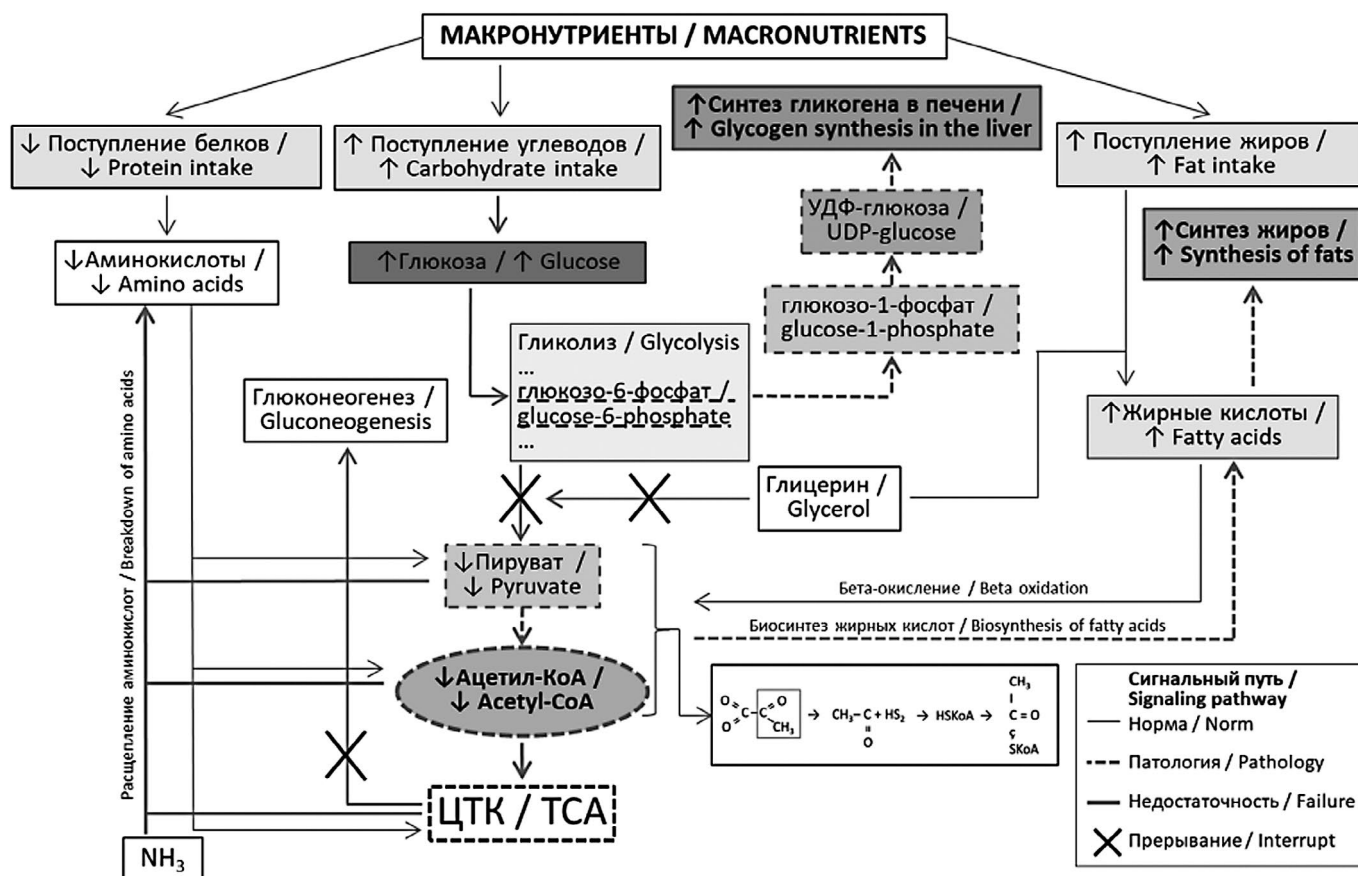


Рис. 4. Упрощённая схема дисрегуляции молекулярных событий при избыточном поступлении углеводов и жиров.

Fig. 4. A simplified diagram of dysregulation of molecular events during excess intake of carbohydrates and fats.

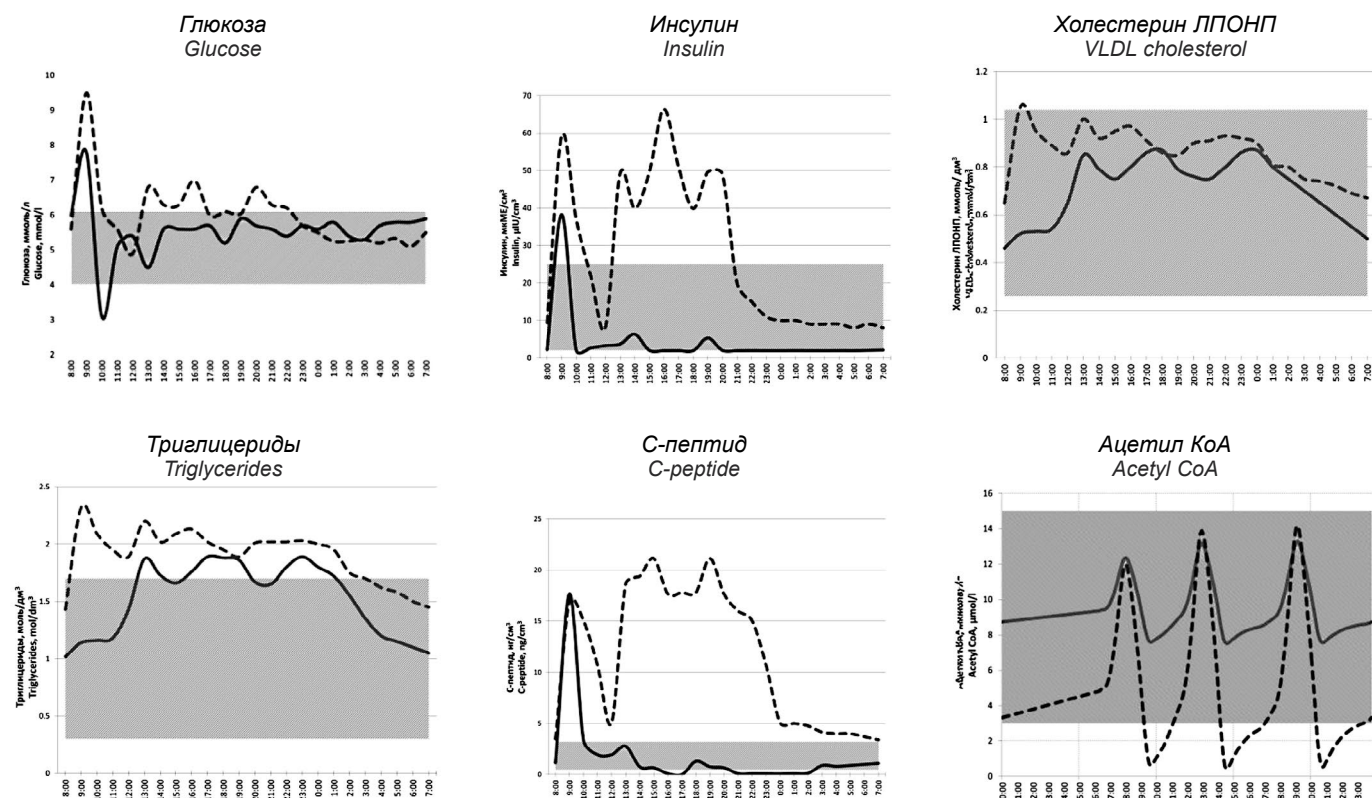


Рис. 5. Суточная динамика биомаркёров метаболизма глюкозы и холестерина при нарушении (пунктирная линия) и без нарушения (сплошная линия) углеводно-жирового обмена относительно физиологической нормы (заштриховано тоном).

Fig. 5. Daily trend in biomarkers of glucose and cholesterol metabolism with normal dashed line) and increased consumption of (solid line) carbohydrate-fat metabolism disorders relative to the physiological norm (shaded).

Это вызывает дисбаланс процессов ресинтеза глицеринов, триглицерида и жирных кислот и глюконеогенеза и, как следствие, снижение образования аденозинтрифосфорной кислоты как донатора клеточного энергообмена в цепи переноса электронов (рис. 4).

Нарушение сигнально-транспортёрных путей, регулирующих обмен глюкозы и жирных кислот, приводит к развитию негативных эффектов, подтверждением которых является установленное отклонение от физиологической нормы их основных биомаркёров (глюкозы, инсулина, триглицеридов, липопротеинов низкой плотности и др.) (рис. 5). Накопление в клетках гликогена и жиров может инициировать формирование избыточной массы тела и ожирения.

На основе исследованных патогенетических механизмов и установленных эффекторных звеньев дисрегуляции сигнально-транспортёрных путей предложены отдельные элементы коррекции пищевого статуса, ориентированные на устранение молекулярно-клеточных изменений за счёт включения в пищевые рационы биологически активных веществ. Так, при ожирении, характеризующемся нарушением эффекторного звена (повышение активности аполипопротеина A1 и транзитина при избыточной экзогенной контаминации биосред), одним из вариантов коррекции может выступать комплекс биологически активных веществ, включающий аминокислоты (лейцин, аргинин), калий, кальций, жирные кислоты, содержащиеся в коровьем молоке, арахисе, соевых бобах. При снижении кофермента A и ацетил-кофермента A корректирующими добавками могут стать аминокислоты (лейцин, изолейцин, валин), витамины B₁, B₂, B₃, B₅, липоевая кислота, содержащиеся в винограде, коровьем молоке, томатах, кресс-салате, авокадо, орехах и красном болгарском перце.

Комплекс мер носит модульный характер и предусматривает коррекцию с помощью включения в рационы питания целевых биологически активных веществ.

Обсуждение

Достижение целей национального проекта «Демография» в части увеличения ожидаемой продолжительности здоровой жизни, снижения смертности населения старшего трудоспособного возраста и увеличения доли граждан, ведущих здоровый образ жизни, возможно при оптимизации структуры питания детей и взрослых, обеспечивающей ликвидацию микронутриентной недостаточности, снижение потребления критически значимых для здоровья населения пищевых веществ (пищевая соль, сахара, жиры, в том числе с насыщенными жирными кислотами и их трансизомерами), увеличение потребления овощей и фруктов. Систематические масштабные исследования фактического питания населения субъектов Российской Федерации, оценка риска для здоровья, обусловленного несбалансированным и небезопасным рационом, обеспечивают детализацию факторов риска по степени их управляемости. Для оптимизации питания интенсивно развиваются механизмы интеграции инновационных технологий и разрабатываются программные решения на базе искусственного интеллекта, внедряются в практику информационные технологии при разработке новых пищевых продуктов, формируется общероссийская система образования в области здорового питания [12–15]. Особую значимость приобретают наукоёмкие исследования закономерностей и механизмов формирования алиментарно-обусловленных нарушений здоровья. Проблема оптимизации питания рассматривается с позиции биоинформационного взаимодействия между отдельными элементами глобальной системы регулирующих сигналов на уровне клеток, индивидов, групп и популяций. Уделяется большое внимание изучению влияния на состояние здоровья человека отдельных макро-, микронутриентов и общих моделей питания [16, 17]. Получены убедительные доказательства связи здорового

питания с более низким риском метаболического синдрома, сердечно-сосудистых патологий, диабета и некоторых новообразований [18–22].

В рамках представленных подходов к совершенствованию стратегии государственного регулирования питания населения целесообразна оценка факторов и условий формирования неправильного питания по критериям предотвращённых потерь ожидаемой продолжительности жизни [8]. Оценка популяционной и индивидуальной распространённости болезней населения, ассоциированных с воздействием алиментарного фактора, подтвердила её региональную дифференциацию, особо значимую для класса болезней эндокринной системы, расстройств питания и нарушений обмена веществ, особенно ожирения. Причинами территориальных различий могут быть климатогеографические и гигиенические условия проживания, национальные особенности и культура питания, пищевые привычки, практики пищевого поведения и иные факторы, что согласуется с данными других авторов [12, 23]. Полученные оценки необходимого и достаточного объёма исследований безопасности пищевой продукции в рамках надзорной деятельности сопоставимы с показателями развитых стран (например, в Германии, Италии — 50–60 проб на 10 тыс. населения) [24].

Результаты анализа влияния высококалорийной пищи на развитие эндокринных болезней коррелируют с данными некоторых исследователей, показавших, что ежедневное употребление высокоуглеводных продуктов (например, картофеля) может увеличить вероятность развития ожирения до 10,7% [25]. Результаты подчёркивают мнение других авторов о необходимости совершенствования методов изучения индивидуального ежедневного пищевого рациона, позволяющих повысить объективность оценок для разных групп населения [26]. Раскрытие клеточно-молекулярных механизмов нарушения метаболизма холестерина при воздействии химических контаминантов (Al_2O_3 , HF, B[a]P) на основе биоинформационного протеомного анализа впервые позволило выделить эффекторное звено нарушения сигнально-транспортных путей (ApoA1 и TTR). Ключевыми звеньями патогенетических механизмов модифицирующего воздействия на показатели обмена жиров являются трансформация протеомной сигнатуры, дисрегуляция внутриклеточных сигнальных путей, прямая и опосредованная цитотоксичность, окислительная активность. Следствием становится снижение активности обратного переноса стеролов, в том числе холестерина, что может повышать риск развития раннего атеросклероза, патологий периферических сосудов, ИБС.

Исследование клеточной дискоммуникации, инициированной избыточным поступлением углеводов и жиров, с позиций нарушения сигналинга от ацетил-КоА позволило детализировать патологические сигнальные пути, ведущие к повышенному синтезу жирных кислот, триглицеридов и снижению энергообеспечения клетки. Это способствовало

объективизации прогнозных оценок негативных исходов (повышения массы тела, ожирения, раннего атеросклероза, ИБС) и потерь ОПЖ.

Совокупность научно-методических подходов, объединяющих популяционный, индивидуальный, клеточный и субклеточный уровни, к анализу риска для здоровья в целях снижения потерь ОПЖ позволяет решать ряд практических задач, направленных на обоснование групповых и индивидуальных оптимальных рационов питания различных категорий населения.

Заключение

Реализация разработанной методологии позволила количественно оценить тенденции и дать характеристику особенностей влияния небезопасного и несбалансированного рациона питания на популяционное и индивидуальное здоровье, в том числе с учётом биоинформационных сигналов регуляторной системы человека. При решении задач управления риском на популяционном уровне оптимизация питания достигается прежде всего за счёт мер государственного регулирования доступности, обеспеченности, контроля и надзора за качеством и безопасностью продовольственных продуктов, информированности и грамотности населения в области здорового питания (например, проект Роспотребнадзора «Здоровое питание» — <https://здоровое-питание.рф>). Ожидаемая результативность внедрения административных мер может обеспечить потенциал роста ОПЖ в среднем на три года. Оптимизация питания с учётом индивидуальных особенностей, сложившихся условий воздействия алиментарного фактора должна быть ориентирована на персонализированную коррекцию рационов питания модульного типа (например, использование разработанных на основе искусственного интеллекта карт оптимального питания школьников). При этом ожидаемые предотвращённые потери продолжительности жизни по прогнозным оценкам эволюции риска развития только от эндокринных нарушений (повышенная масса тела, ожирение, сахарный диабет II типа, дефицит массы тела) могут составить от 1 до 1,5 года. Моделирование клеточно-молекулярных механизмов сигнальной трансдукции с выделением эффекторных звеньев патогенеза развития метаболических нарушений позволило объективизировать и уточнить прогнозную оценку риска для здоровья и обеспечить основы модульности и вариативности мер профилактики алиментарно-обусловленных состояний. Построенная каскадная модель с учётом белок-белковых взаимодействий на примере ApoA1 и TTR определила потенциал увеличения продолжительности жизни на 1,8 мес. Коррекцию регуляторных функций для поддержания гомеостаза и снижения рисков нарушения пищевого статуса на персональном уровне целесообразно осуществлять за счёт включения в рационы питания целевых биологически активных веществ, содержащихся в конкретных пищевых продуктах.

Литература

(п.п. 7, 18–21, 25 см. References)

- ВОЗ. Ожирение и избыточная масса тела; 2024. Доступно: <https://who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Алфёрова В.И., Мустафина С.В. Распространённость ожирения во взрослой популяции Российской Федерации (обзор литературы). *Ожирение и метаболизм*. 2022; 19(1): 96–105. <https://doi.org/10.14341/omet12809> <https://elibrary.ru/ecocvf>
- Уралинформбюро. Ущерб экономике России из-за ожирения сопоставим с 4% ВВП; 2024. Доступно: <https://uralinform.ru/news/society/372245-usherb-ekonomike-rossii-iz-za-ozhireniya-sopostavim-s-4-vvp/>
- Росстат изучил рацион россиян. Федеральная служба государственной статистики; 2019. Доступно: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/70761>
- Коденцова В.М., Вржесинская О.А., Рискис Д.В., Никитюк Д.Б., Тутельян В.А. Обеспеченность населения России микронутриентами и возможности ее коррекции. Состояние проблемы. *Вопросы питания*. 2017; 86(4): 113–24. <https://elibrary.ru/zftklk>
- Драпкина О.М., Карамнова Н.С., Концевая А.В., Горный Б.Э., Дадаева В.А., Дроздова Л.Ю. и др. Российское общество профилактики неинфекционных заболеваний (РОПНИЗ). Алиментарно-зависимые факторы риска хронических неинфекционных заболеваний и привычки питания: диетологическая коррекция в рамках профилактического консультирования. Методические рекомендации. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2021; 20(5): 273–334. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952>
- Онищенко Г.Г., Зайцева Н.В., Попова А.Ю., Май И.В., Устинова О.Ю., Труссов П.В. и др. *Анализ риска здоровью в стратегии государственного социально-экономического развития*. М.—Пермь; 2024. <https://elibrary.ru/udtylr>
- Зайцева Н.В., Кирьянов Д.А., Цинкер М.Ю., Костарев В.Г. Методические подходы к исследованию результативности и резервов управления в системе Роспотребнадзора по критериям предотвращённых потерь здоровья населения Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2019; 9(2): 125–34. <https://elibrary.ru/yznaqx>

10. Кирьянов Д.А., Чигвинцев В.М., Хисматуллин Д.Р., Бабина С.В., Цинкер М.Ю., Камалтдинов М.Р. и др. Персонализированный анализ влияния пищевого поведения и образа жизни на развитие нозологий. Свидетельство БД № 2024621002; 2024 г.
11. Зайцева Н.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В. Научно-методические основы итерационного прогноза риска и вреда здоровью человека при воздействии химических факторов среды обитания: от белковых мишеней до системных метаболических нарушений. *Анализ риска здоровью*. 2024; (2): 18–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.2.02> <https://elibrary.ru/cerxjr>
12. Покида А.Н., Зыбуновская Н.В. Культура питания российского населения (по результатам социологического исследования). *Здоровье населения и среда обитания – ЗНУСО*. 2022; 30(2): 13–22. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-13-22> <https://elibrary.ru/qcusxx>
13. Тутельян В.А., Тармаева И.Ю., Каде М.А., Никитюк Д.Б. Медицина будущего: роль искусственного интеллекта в оптимизации питания для здоровьесбережения населения России. *Вопросы питания*. 2024; 93(4): 6–13. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-4-6-13> <https://elibrary.ru/kantys>
14. Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. Международные и российские механизмы интеграции инноваций и опыта для оптимизации питания населения. *Вопросы питания*. 2023; 92(3): 5–14. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-3-5-14>
15. Кузьмин С.В., Русаков В.Н., Сетко А.Г. Оценка состояния фактического питания населения Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2024; 103(1): 58–66. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-58-66> <https://elibrary.ru/kjseuh>
16. Гмошинский И.В., Шипелин В.А., Апрытин С.А., Трусов Н.В., Ригер Н.А., Шумакова А.А. *Эффекторные звенья метаболизма. Биологически активные вещества пищи в лечении ожирения: от теории к практике*. М.: Эксмо; 2022.
17. Гавриков М.Б., Кислицын А.А., Орлов Ю.Н., Камбаров А.О., Королев А.А., Каде М.А. и др. Математические модели в задачах персонализированной цифровой нутрициологии. *Тенденции развития науки и образования (Самара)*. 2023; 100(4): 24–31. <https://doi.org/10.18411/trnio-08-2023-162>
22. Шарманов Т.Ш., Салханова А.Б., Датхабаева Г.К. Сравнительная характеристика фактического питания детей в возрасте 9–10 лет. *Вопросы питания*. 2018; 87(6): 28–41. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10064> <https://elibrary.ru/yrgwxf>
23. Самодурова Н.Ю., Мамчик Н.П., Истомин А.В., Клепиков О.В., Соколенко Г.Г. Определение территорий риска по уровню алиментарно-зависимых заболеваний с учетом региональных особенностей структуры питания населения. *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2018; (5): 42–7. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2018.056> <https://elibrary.ru/ytnqzv>
24. ФАО, МФСР, ЮНИСЕФ, ВПП и ВОЗ. *Краткий обзор. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире – 2024. Финансирование деятельности по ликвидации голода, отсутствия продовольственной безопасности и неполноценного питания во всех его формах*. Рим; 2024.
26. Макарова И.О. Гигиеническая оценка суточного рациона питания студентов медицинского вуза. *Российский вестник гигиены*. 2023; (4): 41–6. <https://doi.org/10.24075/rbh.2023.084>

References

1. WHO. Obesity and overweight; 2024. Available at: <https://who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
2. Alferova V.I., Mustafina S.V. The prevalence of obesity in the adult population of the Russian Federation (literature review). *Ozhirenie i metabolism*. 2022; 19(1): 96–105. <https://doi.org/10.14341/omet12809> <https://elibrary.ru/ecocvf> (in Russian)
3. Uralinformburo. Damage to the Russian economy due to obesity is comparable to 4% of GDP; 2024. Available at: <https://kommersant.ru/doc/6864713> (in Russian)
4. Rosstat studied the diet of Russians. Federal State Statistics Service; 2019. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/70761> (in Russian)
5. Kodentsova V.M., Vrzhesinskaya O.A., Risnik D.V., Nikityuk D.B., Tutelyan V.A. Micronutrient status of population of the Russian federation and possibility of its correction. State of the problem. *Voprosy pitaniya*. 2017; 86(4): 113–24. <https://elibrary.ru/zftklr> (in Russian)
6. Drapkina O.M., Karamnova N.S., Kontsevaya A.V., Gorny B.E., Dadaeva V.A., Drozdova L.Yu., et al. Russian Society for the Prevention of Noncommunicable Diseases (ROPNIZ). Alimentary-dependent risk factors for chronic non-communicable diseases and eating habits: dietary correction within the framework of preventive counseling. Methodological Guidelines. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika*. 2021; 20(5): 273–334. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2021-2952> (in Russian)
7. GBD 2019 Risk Factors Collaborators. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020; 396(10258): 1223–49. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30752-2)
8. Onishchenko G.G., Zaitseva N.V., Popova A.Yu., Mai I.V., Ustinova O.Yu., Trusov P.V., et al. Health risk analysis in the strategy of state socio-economic development [Analiz riska zdorov'yu v strategii gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya]. Moscow–Perm'; 2024. <https://elibrary.ru/udtylr> (in Russian)
9. Zaitseva N.V., Kiryanov D.A., Tsinker M.Yu., Kostarev V.G. Methodical approach to the investigation of reserves in the performance and management in the system of federal service for surveillance over consumer rights protection and human well-being (Rospotrebnadzor) as according to prevented health losses in the population of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 9(2): 125–34. <https://elibrary.ru/yznaqx> (in Russian)
10. Kiryanov D.A., Chigvinsev V.M., Khismatullin D.R., Babina S.V., Tsinker M.Yu., Kamaltdinov M.R., et al. Personalized analysis of the influence of eating behavior and lifestyle on the development of nosologies. Certificate BD No. 2024621002; 2024. (in Russian)
11. Zaitseva N.V., Zemlyanova M.A., Koldibekova Yu.V., Peskova E.V. Scientific and methodological grounds for iterative prediction of risk and harm to human health under chemical environmental exposures: from protein targets to systemic metabolic disorders. *Analiz riska zdorov'yu*. 2024; (2): 18–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2024.2.02> <https://elibrary.ru/cerxjr> (in Russian)
12. Pokida A.N., Zybunovskaya N.V. Food culture of the Russian population: results of a sociological survey. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2022; 30(2): 13–22. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2022-30-2-13-22> <https://elibrary.ru/qcusxx> (in Russian)
13. Tutelyan V.A., Tarmaeva I.Yu., Kade M.A., Nikityuk D.B. Medicine of the future: the role of artificial intelligence in optimizing nutrition for the health of the Russian population. *Voprosy pitaniya*. 2024; 93(4): 6–13. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2024-93-4-6-13> <https://elibrary.ru/kantys> (in Russian)
14. Tutelyan V.A., Nikityuk D.B. International and Russian mechanisms for integrating innovations and experience to optimize the nutrition of the population. *Voprosy pitaniya*. 2023; 92(3): 5–14. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-3-5-14> (in Russian)
15. Kuzmin S.V., Rusakov V.N., Setko A.G. Assessment of the state of actual nutrition in the population of the Russian federation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2024; 103(1): 58–66. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-58-66> <https://elibrary.ru/kjseuh> (in Russian)
16. Gmoshinskii I.V., Shipelin V.A., Apryatin S.A., Trusov N.V., Riger N.A., Shumakova A.A. Effector Links of Metabolism. Biologically Active Substances of Food in the Treatment of Obesity: from Theory to Practice [Effektornye zven'ya metabolizma. Biologicheski aktivnye veshchestva pishchi v lechenii ozhireniya: ot teorii k praktike]. Moscow: Eksmo; 2022. (in Russian)
17. Gavrikov M.B., Kislytsyn A.A., Orlov Yu.N., Kambarov A.O., Korolev A.A., Kade M.A., et al. Mathematical models in problems of personalized digital nutrition. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya (Samara)*. 2023; 100(4): 24–31. <https://doi.org/10.18411/trnio-08-2023-162> (in Russian)
18. Azadbakht L., Mirmiran P., Esmailzadeh A., Azizi F., Beneficial effects of a Dietary Approaches to Stop Hypertension eating plan on features of the metabolic syndrome. *Diabetes Care*. 2005; 28(12): 2823–31. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.12.2823>
19. Fung T.T., McCullough M.L., Newby P.K., Manson J.E., Meigs J.B., Rifai N., et al. Diet-quality scores and plasma concentrations of markers of inflammation and endothelial dysfunction. *Am. J. Clin. Nutr.* 2005; 82(1): 163–73. <https://doi.org/10.1093/ajcn.82.1.163>
20. Jannasch F., Kröger J., Schulze M.B. Dietary patterns and type 2 diabetes: a systematic literature review and meta-analysis of prospective studies. *J. Nutr.* 2017; 147(6): 1174–82. <https://doi.org/10.3945/jn.116.242552>
21. Grosso G., Bella F., Godos J., Sciacca S., Del Rio D., Ray S., et al. Possible role of diet in cancer: systematic review and multiple meta-analyses of dietary patterns, lifestyle factors, and cancer risk. *Nutr. Rev.* 2017; 75(6): 405–19. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux012>
22. Sharmanov T.Sh., Salkhanova A.B., Datkhbayeva G.K. A comparative analysis of actual nutrition of children aged 9–10 years. *Voprosy pitaniya*. 2018; 87(6): 28–41. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10064> <https://elibrary.ru/yrgwxf> (in Russian)
23. Samodurova N.Yu., Mamchik N.P., Istomin A.V., Klepikov O.V., Sokolenco G.G. Identification of districts at risk of nutrient-related diseases based on the local diet. *Vestnik Rossijskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2018; (5): 35–9. <https://doi.org/10.24075/brsmu.2018.056> <https://elibrary.ru/yxnlrz>
24. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. *In Brief to The State of Food Security and malnutrition in all its forms*. Rome; 2024. (in Russian)
25. Locke A., Schneiderhan J., Zick S.M. Diets for Health: Goals and Guidelines. *Am. Fam. Physician*. 2018; 97(11): 721–8.
26. Makarova I.O. Hygienic assessment of daily dietary intake of medical students. *Rossiiskii vestnik gigieny*. 2023; (4): 41–6. <https://doi.org/10.24075/rbh.2023.084> (in Russian)

Сведения об авторах

Зайцева Нина Владимировна, доктор мед. наук, профессор, академик РАН, научный руководитель ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: znv@fcrisk.ru

Алексеев Вадим Борисович, доктор мед. наук, директор ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: root@fcrisk.ru

Май Ирина Владиславовна, доктор биол. наук, профессор, гл. науч. сотр. — советник директора ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: may@fcrisk.ru

Кирьянов Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, зав. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: kda@fcrisk.ru

Землянова Марина Александровна, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. — зав. отд. биохимических и цитогенетических методов диагностики ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: zem@fcrisk.ru

Хисматуллин Дмитрий Расулович, аспирант, мл. науч. сотр. отд. математического моделирования систем и процессов ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: hisdr@fcrisk.ru

Пескова Екатерина Владимировна, аспирант, мл. науч. сотр. отд. биохимических и цитогенетических методов диагностики ФБУН «ФНЦ МПТ УРЗН», 614045, Пермь, Россия. E-mail: peskova@fcrisk.ru

Information about the authors

Nina V. Zaitseva, DSc (Medicine), professor, Academician of the RAS, Scientific Head of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-2356-1145> E-mail: znv@fcrisk.ru

Vadim B. Alekseev, DSc (Medicine), director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-5850-7232> E-mail: root@fcrisk.ru

Irina V. May, DSc (Medicine), Prof, Chief Researcher—advisor to the director of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016> E-mail: may@fcrisk.ru

Dmitriy A. Kiryanov, PhD (Engineering), Head of Department of Systems and Processes Mathematical Modeling of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-5406-4961> E-mail: kda@fcrisk.ru

Marina A. Zemlianova, DSc (Medicine), Prof., Head of Department of Biochemical and Cytogenetic Diagnostics of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8013-9613> E-mail: zem@fcrisk.ru

Dmitriy R. Khismatullin, postgraduate student, junior researcher, Department of Systems and Processes Mathematical Modeling of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7615-6816> E-mail: hisdr@fcrisk.ru

Ekaterina V. Peskova, postgraduate student, junior researcher, Department of biochemical and cytogenetic diagnostic methods of the Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies, Perm, 614045, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-8050-3059> E-mail: peskova@fcrisk.ru