



Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 4. С. 522–533.
Journal of Medical and Biological Research, 2024, vol. 12, no. 4, pp. 522–533.



Обзорная статья
УДК [577.17+ 616-003.96]:616-003.96
DOI: 10.37482/2687-1491-Z210

Специфика влияния уровней тиреоидных гормонов на адаптационные возможности организма (обзор)

Юлия Александровна Шатыр* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9279-5282>
Галина Алексеевна Срослова** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9118-7098>
Руслан Иванович Глушаков* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-5977>

*Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова
(Санкт-Петербург, Россия)

**Волгоградский государственный университет
(Волгоград, Россия)

Аннотация. Гормоны щитовидной железы принимают активное участие в регуляции множества реакций организма, включая адаптационные. **Целью** обзора явился анализ участия тиреоидных гормонов в адаптационном ответе организма на воздействие стрессовых факторов. **Материалы и методы.** Изучены данные статей, опубликованных в российских и зарубежных научных периодических изданиях с 2019 по 2023 год. Поиск осуществлялся в базах данных PubMed, Google Scholar, SpringerLink и eLIBRARY.RU. **Результаты.** Согласно данным исследования, тиреоидные гормоны вовлечены практически во все физиологические процессы, оказывая метаболическое действие на ряд тканей и систем, а также влияя на про- и антиоксидантные механизмы. В ответ на стрессовое воздействие в организме последовательно развивается комплекс реакций адаптационного ответа, связанных с деятельностью гормонов щитовидной железы. Стрессоры различной природы оказывают влияние на содержание тиреоидных гормонов в организме. Отмечено наличие связи между симптомами дисфункции щитовидной железы и снижением стрессоустойчивости организма, при этом развитие как гипо-, так и гипертиреоза отрицательно сказывается на функционировании ряда органов и систем. В статье охарактеризована взаимозависимость гипо-/гипертиреоза и адаптационных возможностей организма. Доказано влияние тиреоидных гормонов на адаптационные механизмы, реализуемые на метаболическом уровне. Установлено наличие данных, подтверждающих центральную роль тиреоидных гормонов в формировании исследовательского поведения и адаптационного ответа. Обозначены остающиеся в настоящее время до конца не изученными вопросы двусторонней взаимосвязи изменения уровней гормонов щитовидной железы и адаптивных иммунных реакций организма, а также особенности действия тиреоидных гормонов на функцию отдельных иммунных клеток. Среди продолжающихся научных изысканий отмечены исследования, посвященные определению закономерностей изменения уровней тиреоидных гормонов при адаптации к экстремальным стрессовым воздействиям, в т. ч. климатогеографическим факторам, и поиску подходов к негормональной регуляции их содержания в организме.

Ключевые слова: гормоны щитовидной железы, адаптация к экстремальным факторам среды, стрессоустойчивость организма, адаптационный ответ

© Шатыр Ю.А., Срослова Г.А., Глушаков Р.И., 2024

Ответственный за переписку: Юлия Александровна Шатыр, адрес: 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6, лит. В; e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Для цитирования: Шатыр, Ю. А. Специфика влияния уровней тиреоидных гормонов на адаптационные возможности организма (обзор) / Ю. А. Шатыр, Г. А. Срослова, Р. И. Глушаков // Журнал медико-биологических исследований. – 2024. – Т. 12, № 4. – С. 522-533. – DOI 10.37482/2687-1491-Z210.

Review article

Influence of Thyroid Hormones on the Body's Adaptive Capabilities (Review)

Yuliya A. Shatyr* ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9279-5282>
Galina A. Sroslova** ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9118-7098>
Ruslan I. Glushakov* ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0161-5977>

*Military Medical Academy named after S.M. Kirov
(St. Petersburg, Russia)
**Volgograd State University
(Volgograd, Russia)

Abstract. Thyroid hormones take an active part in the regulation of many body reactions, including adaptive responses. The **purpose** of this review was to analyse the role of thyroid hormones in the adaptive response of the body to stress factors. **Materials and methods.** The data presented in articles published in Russian and foreign scientific periodicals from 2019 to 2023 were studied. The following databases were searched: PubMed, Google Scholar, SpringerLink and eLIBRARY.RU. According to the results of this theoretical study, thyroid hormones are involved in almost all physiological processes, exerting a metabolic effect on a number of tissues and systems as well as influencing pro- and antioxidant mechanisms. In response to stress, the body consistently develops a number of adaptive reactions associated with the activity of thyroid hormones. Stressors of various nature affect the level of thyroid hormones in the body. A connection between the symptoms of thyroid dysfunction and a decrease in the body's stress resistance has been noted, while the development of both hypo- and hyperthyroidism negatively affects the functioning of a number of organs and systems. The paper describes an interdependence between hypo-/hyperthyroidism and the body's adaptive capabilities. The influence of thyroid hormones on the adaptive mechanisms realized at the metabolic level has been proven. There is data confirming the central role of thyroid hormones in the formation of exploratory behaviour and adaptive response. A more extensive investigation is required into the correlation between changes in the level of thyroid hormones and adaptive immune responses, as well as into the effect of thyroid hormones on the function of individual immune cells. Among the ongoing research, the article highlights studies aimed to determine patterns of changes in the level of thyroid hormones during adaptation to extreme stress, including climatic and geographical factors, as well as to find approaches to non-hormonal regulation of their concentrations in the body.

Keywords: *thyroid hormones, adaptation to extreme environmental factors, body's stress resistance, adaptive response*

For citation: Shatyr Yu.A., Sroslova G.A., Glushakov R.I. Influence of Thyroid Hormones on the Body's Adaptive Capabilities (Review). *Journal of Medical and Biological Research*, 2024, vol. 12, no. 4, pp. 522–533. DOI: 10.37482/2687-1491-Z210

Corresponding author: Yuliya Shatyr, *address:* ul. Akademika Lebedeva 6, lit. B, St. Petersburg, 194044, Russia; *e-mail:* yuliashatyr@gmail.com

Приспособление организма к изменяющимся условиям среды осуществляется при помощи нейроэндокринных механизмов, от которых зависит конечный эффект адаптации. Активность гормонов щитовидной железы оказывает модулирующее действие на реализацию многих физиологических реакций, участвующих в процессах адаптации (адаптивный термогенез, иммунный ответ, окислительный стресс, метаболическая адаптация и др.), что определяет их значимую роль в реализации адаптационных возможностей организма.

Паттерны секреции гормонов, их последующей транспортировки к тканям-мишеням и чувствительность тканей к гормонам могут изменяться в зависимости от условий окружающей среды [1, 2], что, с одной стороны, определяет успешность адаптации, а с другой – дает возможность управления адаптационными реакциями организма путем воздействия на гормональную систему. Выявление основных механизмов изменения уровней гормонов щитовидной железы и успешность данных механизмов позволят оптимизировать процесс адаптации человека к нестабильным условиям внешней среды.

Цель исследования – проанализировать участие тиреоидных гормонов в адаптационном ответе организма при действии стрессовых факторов различной природы.

Материалы и методы. В качестве материала выступили статьи, опубликованные в российских и зарубежных научных периодических изданиях с 2019 по 2023 год, представленные в базах данных поисковых систем PubMed и Google Scholar, веб-портала SpringerLink, электронной научной библиотеки eLIBRARY.RU. Предпочтение отдавалось проспективным и ретроспективным исследованиям, а также релевантным обзорам, соответствующим теме работы.

Результаты. Данные зарубежных авторов свидетельствуют о том, что гормоны щитовидной железы, или тиреоидные гормоны трийодтиронин (T_3) и тироксин (T_4), регулируют деятельность нервной, мышечной, сердечно-сосудистой, костно-суставной систем, модули-

руют процессы сна и бодрствования, движение, дыхание, прием пищи, обеспечивая тем самым поддержание процессов метаболизма на физиологическом уровне [3–6]. При необходимости активации исследовательского поведения как у животных, так и у людей уровни тиреоидных гормонов возрастают [7–9]. В работе D.R. Nochbaum et al. на мышах показано, что тиреоидные гормоны координируют исследовательское поведение, изменяя метаболическое состояние организма путем воздействия непосредственно на кору головного мозга. Центральная роль тиреоидных гормонов в активации исследовательского поведения реализуется через индукцию локальных программ транскрипции в передних областях коры головного мозга, что приводит к усилению возбуждающего импульса с сопутствующей сенсibilизацией рекрутируемого торможения [10].

При анализе влияния гипо- и гипертиреоза на организм отмечено наличие связи между симптомами данных состояний и снижением уровня стрессоустойчивости. При остром стрессовом воздействии увеличивается высвобождение тиреотропного гормона (ТТГ), повышается уровень тиреоглобулина, усиливается активность фермента дейодиназы 3-го типа и, как результат, T_4 переходит в неактивный rT_3 (реверсивный T_3) – возникает так называемый синдром низкого T_3 . В случае хронического стрессового воздействия усиливается секреция глюкокортикоидов, подавляется выработка тиреотропин-рилизинг гормона и ТТГ, снижаются уровень тиреоглобулина и активность дейодиназ 1-го и 2-го типа, которые контролируют системную и местную доступность гормона T_4 путем секреции из него активного T_3 , а также локальную доступность гормона T_3 для его внутриклеточных рецепторов, как следствие – уменьшаются уровни T_4 и T_3 [6, 11].

Исследована связь между уровнем тиреоидных гормонов и адаптационными возможностями организма. Так, под действием холодового стресса снижается концентрация свободного T_4 и увеличивается содержание свободного T_3 , что вызывает дисбаланс в гипофизарно-тирео-

идной системе; в случае иммобилизационного стресса отмечено снижение в плазме крови одновременно и T_3 , и T_4 , свидетельствующее о развитии гипотиреоидного состояния [12]. Гипотиреоз отмечен при депрессивных состояниях, голодании, а гипертиреоз – при простудных заболеваниях, психозах, ожирении [13–15]. Длительный, стойкий недостаток гормонов щитовидной железы признается значимым фактором риска возникновения депрессивных, затяжных астено-невротических состояний, также вызывающих расстройство адаптации [16, 17].

При гипертиреозе наблюдается тканеспецифичное изменение экспрессии генов, что приводит к накоплению время- и дозозависимых метаболических нарушений: происходит активация провоспалительных генов, а у клеток иммунной системы, наоборот, отмечаются дефицит хемотаксической активности и снижение цитотоксических свойств, вследствие чего развивается дисбаланс между производством и утилизацией активных форм кислорода [18, 19].

Также отмечено, что в адаптивных иммунных системах тиреоидные гормоны способны активировать Т-лимфоциты посредством сигнальных путей протеинкиназы С, β -адренергических рецепторов, транскрипционного фактора NF- κ B (индуктор экспрессии ряда провоспалительных генов) [20]. Исследуются возможные взаимосвязи между влиянием разных компонентов иммунной системы на центральную регуляцию уровней тиреоидных гормонов и, наоборот, возможности корректировки тиреоидными гормонами врожденных и адаптивных иммунных реакций [21, 22].

Механизм локального действия тиреоидных гормонов на функцию отдельных иммунных клеток в настоящее время изучен недостаточно полно. Так, имеющиеся данные о функциональных аспектах гормонов щитовидной железы противоречивы и демонстрируют как стимулирующие, так и ингибирующие эффекты тиреоидных гормонов на одну и ту же популяцию иммунных клеток (пред-

полагается, что тиреоидные гормоны, с одной стороны, активируют апоптоз Т-клеток, а с другой – усиливают противоопухолевый иммунитет) [21]. В исследовании S. Ucci et al. на мышцах обнаружено, что T_3 проявляет метаболическое влияние на скелетную мускулатуру главным образом в истощенных мышцах, предотвращая вызванный голоданием метаболический сдвиг и сохраняя тем самым массу скелетных мышц [23].

При изучении роли тиреоидных гормонов в приспособлении к условиям внешней среды проанализированы данные, касающиеся особенностей холодовой и тепловой адаптации. Физиологическая адаптация к холоду опосредована эффектами норадреналина и гормонов щитовидной железы [24, 25]. В условиях длительного стрессового воздействия низкой температуры как климатического фактора отмечается снижение адаптационных возможностей организма [26, 27]. Так, в исследовании И.Н. Горенко и соавт. показано увеличение активности щитовидной железы у жителей Азиатского Севера с высоким содержанием в крови свободного T_3 [28]. S. Tsibulnikov et al. определили, что длительное (на протяжении 4 недель) ежедневное (по 8 ч в день) воздействие низких температур (4 °C) на добровольцев вызвало адаптацию к холоду и увеличение уровня T_4 [29]. В аналогичном исследовании В.А. Попковой, заключавшемся в анализе функциональных и адаптационных возможностей организма человека в неблагоприятных климатических условиях Крайнего Севера в совокупности с действием неблагоприятных факторов производственной среды, отмечена активация тиреоидной системы за счет усиления периферической конверсии тиреоидных гормонов на фоне общего снижения концентраций самих гормонов щитовидной железы и их белка-переносчика [30].

Работы, посвященные изучению роли тиреоидных гормонов в тепловой адаптации, представлены значительно меньше, их результаты противоречивы. Так, R.D. McIntyre et al., основываясь на более ранних исследованиях

на крысах, подтверждающих снижение уровней циркулирующих тиреоидных гормонов при тепловой адаптации, что позволяет животным поддерживать более низкую относительно нормальных значений температуру тела в состоянии покоя и во время теплового стресса, проанализировали роль тиреоидных гормонов в тепловой адаптации людей-добровольцев. Согласно полученным данным, не было обнаружено достоверной связи между изменениями концентраций тиреоидных гормонов в плазме и изменениями показателей тепловой адаптации (акклиматизации) [31].

Ведется изучение возможностей регуляции и адаптации эндокринной системы, в частности путем изменения уровней гормонов щитовидной железы, в условиях экстремальной высотной нагрузки. Так, в статье D.M. Keenan et al. выявлены значимые адаптивные изменения в секреции ТТГ и уровне T_4 , отражающие нарушения в механизмах гипоталамо-гипофизарного контроля [32].

В последние годы активно исследуется возможность управления развитием адаптационного ответа организма на воздействие экстремальных условий среды посредством регулирования уровней тиреоидных гормонов. Одним из основных традиционных подходов к коррекции гипотиреоза является заместительная гормональная терапия, главным образом основанная на приеме синтетических аналогов тиреоидных гормонов [33, 34]. Вследствие анаболического действия гормонов T_3 и T_4 в виде активации миогенеза, регенерации и кровоснабжения мышц исследуются возможности их применения в качестве допинга в спорте [35]. В то же время отмечается, что активное использование аналогов тиреоидных гормонов ограничено рядом обстоятельств, определяющих риск возникновения нежелательных побочных эффектов при шаблонном назначении синтетических препаратов щитовидной железы, а именно относительно высоким удельным весом субклинических дисфункций щитовидной железы в совокупности с отсутствием референтных значений содержания тиреоидных гормонов для различных категорий пациентов (лица пожилого и старческого воз-

раста с субклиническим гипотиреозом, люди с онкозаболеваниями, пациенты с травмами или ожогами, беременные женщины и т. д.) и социально-профессиональных групп (военнослужащие, спортсмены и др.) [36–39]. Ведутся исследования по коррекции уровней тиреоидных гормонов как фактора, обеспечивающего адаптацию организма к экстремальным условиям среды, посредством изменения диеты и приема пищевых добавок (например, введение в рацион жителей Севера пищи, обогащенной препаратами йода) [40]. Изучается возможность использования цинка [41] и инозитола [42] в регуляции метаболизма гормонов щитовидной железы. Т.Ю. Демидова и соавт. по результатам собственных исследований предложили способ коррекции активности гормонов щитовидной железы посредством физических упражнений, активирующих адаптивно-восстановительные реакции организма при действии стрессовых факторов [43].

Обсуждение. Анализ научной литературы позволил заключить следующее. К настоящему времени доказано влияние гормонов щитовидной железы на комплекс реакций, способствующих адаптации организма к окружающей среде, в частности, обозначена роль тиреоидных гормонов в формировании исследовательского поведения. Данные гормоны стимулируют липолиз и метаболизм жирных кислот в печени, термогенез в жировой ткани, увеличивают расход энергии, активируют быструю сократимость мышечных волокон и гликолиз в скелетных мышцах, а также поступают в головной мозг (гипофиз), где через ось «гипоталамус–гипофиз–щитовидная железа» образуют классическую гомеостатическую петлю обратной связи, при помощи которой подавляют собственную выработку и стабилизируют уровни циркулирующих в крови T_3 и T_4 .

Система развития ответной реакции на стресс функционирует благодаря скоординированной активации оси «гипоталамус–гипофиз–надпочечники», голубого пятна и норадреналин-вегетативной нервной системы посредством секреции гормонов, нейротрансмиттеров, цитокинов и факторов роста. Про-

цессы, происходящие в организме при остром или хроническом стрессе, активируют множественные петли обратной связи управления указанной осью, вследствие этого уровни тиреоидных гормонов изменяются, что оказывает влияние на их метаболические функции.

Определена двунаправленная взаимосвязь между адаптационными возможностями организма и уровнями тиреоидных гормонов. Развитие астено-невротических и депрессивных состояний отмечено при гипотиреозе, рост простудных заболеваний, психозов, ожирения – в случае гипертиреоза.

Тиреоидные гормоны влияют на иммунную систему организма путем активации провоспалительных генов и Т-лимфоцитов и увеличения уровня активных форм кислорода. Совокупность данных изменений демонстрирует иммуномодулирующие свойства тиреоидных гормонов, что реализуется в условно компенсированной системной воспалительной реакции и выраженном окислительном стрессе.

Установлена особая роль тиреоидных гормонов в регуляции адаптации организма к холоду. Отмечено, что при длительном холодовом воздействии в крови в результате увеличения активности щитовидной железы присутствуют высокие уровни тиреоидных гормонов, что является следствием адаптации организма к экстремальным климатическим факторам среды. В свою очередь, данные о роли тиреоидных гормонов при тепловой адаптации в настоящее время достаточно противоречивы.

Коррекция уровней тиреоидных гормонов традиционно реализуется путем заместительной терапии. Однако при некоторых состояниях (субклинические дисфункции щитовидной железы, онкозаболевания, беременность, травмы, ожоги), а также у отдельных категорий населения (лица пожилого и старческого возраста, жители территорий с экстремальными климатогеографическими условиями, спортсмены, военнослужащие) прием синтетических гормонов щитовидной железы может вы-

звать нежелательные побочные реакции. Как следствие, изучаются возможности коррекции уровней гормонов щитовидной железы путем изменения диеты, введения пищевых добавок, активации адаптивно-восстановительных реакций организма при помощи физических упражнений.

Согласно современным данным, тиреоидные гормоны регулируют врожденные и приобретенные иммунные реакции. В настоящее время несомненной является взаимосвязь между уровнями гормонов щитовидной железы и адаптационными возможностями организма. Изучены физиологические механизмы выработки тиреоидных гормонов и их действия на процессы метаболизма путем моделирования дифференцировки, роста и развития клеток, а также за счет регулирования деятельности ряда систем организма, обеспечивающих поддержание процессов метаболизма на физиологическом уровне. Доказано влияние этих гормонов на адаптационные механизмы, реализуемые на метаболическом уровне. Имеются данные, подтверждающие центральную роль тиреоидных гормонов в формировании исследовательского поведения и адаптационного ответа. Проанализирована динамика изменения уровней исследуемых гормонов в ответ на стрессорное воздействие, определена зависимость между дисфункцией щитовидной железы и снижением стрессоустойчивости организма. Однако остаются не до конца изученными вопросы двусторонней взаимосвязи изменения уровней тиреоидных гормонов и адаптивных иммунных реакций организма, а также особенности действия данных гормонов на функцию отдельных иммунных клеток. Продолжаются исследования по определению закономерностей изменения уровней тиреоидных гормонов при адаптации к экстремальным стрессовым воздействиям, в т. ч. климатогеографическим факторам. Осуществляется поиск подходов к негормональной регуляции уровней гормонов щитовидной железы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Список литературы

1. Lema S.C. Hormones, Developmental Plasticity, and Adaptive Evolution: Endocrine Flexibility as a Catalyst for 'Plasticity-First' Phenotypic Divergence // *Mol. Cell. Endocrinol.* 2020. Vol. 502. Art. № 110678. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110678>
2. Красильников А.Н., Турбина Е.Г. Роль функциональных систем организма в процессе адаптации к физическим нагрузкам // *Изв. Самар. науч. центра Рос. акад. наук. Соц., гуманитар., мед.-биол. науки.* 2022. Т. 24, № 83. С. 42–46. <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2022-24-83-42-46>
3. Gelen V., Şengül E., Kükürt A. Thyroid Hormones (T₃ and T₄) and Their Effects on the Cardiovascular System // *Hyperthyroidism – Recent Updates* / ed. by V. Gelen, E. Şengül, A. Kükürt. London, 2023. P. 1–11. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109623>
4. Kazakou P., Nicolaidis N.C., Chrousos G.P. Basic Concepts and Hormonal Regulators of the Stress System // *Horm. Res. Paediatr.* 2023. Vol. 96, № 1. P. 8–16. <https://doi.org/10.1159/000523975>
5. Fazio E., Bionda A., Chiofalo V., Crepaldi P., Lopreato V., Medica P., Liotta L. Adaptive Responses of Thyroid Hormones, Insulin, and Glucose During Pregnancy and Lactation in Dairy Cows // *Animals (Basel)*. 2022. Vol. 12, № 11. Art. № 1395. <https://doi.org/10.3390/ani12111395>
6. Guerri G., Bressan S., Sartori M., Costantini A., Benedetti S., Agostini F., Tezzele S., Cecchin S., Scaramuzza A., Bertelli M. Hypothyroidism and Hyperthyroidism // *Acta Biomed.* 2019. Vol. 90, № 10-S. P. 83–86. <https://doi.org/10.23750/abm.v90i10-s.8765>
7. Mohr S.M., Dai Pra R., Platt M.P., Feketa V.V., Shanabrough M., Varela L., Kristant A., Cao H., Merriman D.K., Horvath T.L., Bagriantsev S.N., Gracheva E.O. Hypothalamic Hormone Deficiency Enables Physiological Anorexia in Ground Squirrels During Hibernation // *Nat. Commun.* 2024. Vol. 15, № 1. Art. № 5803. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49996-2>
8. Teixeira P.F.D.S., Dos Santos P.B., Pazos-Moura C.C. The Role of Thyroid Hormone in Metabolism and Metabolic Syndrome // *Ther. Adv. Endocrinol. Metab.* 2020. Vol. 11. Art. № 2042018820917869. <https://doi.org/10.1177/2042018820917869>
9. Zekri Y., Flamant F., Gauthier K. Central vs. Peripheral Action of Thyroid Hormone in Adaptive Thermogenesis: A Burning Topic // *Cells*. 2021. Vol. 10, № 6. Art. № 1327. <https://doi.org/10.3390/cells10061327>
10. Hochbaum D.R., Hulshof L., Urke A., Wang W., Dubinsky A.C., Farnsworth H.C., Hakim R., Lin S., Kleinberg G., Robertson K., Park C., Solberg A., Yang Y., Baynard C., Nadaf N.M., Beron C.C., Girasole A.E., Chantranupong L., Cortopassi M.D., Prouty S., Geistlinger L., Banks A.S., Scanlan T.S., Datta S.R., Greenberg M.E., Boulting G.L., Macosko E.Z., Sabatini B.L. Thyroid Hormone Remodels Cortex to Coordinate Body-Wide Metabolism and Exploration // *Cell*. 2024. Vol. 187, № 20. P. 5679–5697. Art. № e23. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.07.041>
11. Kyriacou A., Tziaferi V., Toumba M. Stress, Thyroid Dysregulation, and Thyroid Cancer in Children and Adolescents: Proposed Impending Mechanisms // *Horm. Res. Paediatr.* 2023. Vol. 96, № 1. P. 44–53. <https://doi.org/10.1159/000524477>
12. Маркевич Т.Н., Городецкая И.В. Влияние стресса на уровень йодсодержащих гормонов щитовидной железы // *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации.* Витебск: Витеб. гос. мед. ун-т, 2021. С. 282–284.
13. Зябшьева В.Н. Актуальность физиологических исследований в условиях Европейского Севера на примере изучения фотопериодической динамики показателей тиреоидного профиля // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2022. Т. 10, № 2. С. 180–183. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z100>
14. Di Munno C., Busiello R.A., Calonne J., Salzano A.M., Miles-Chan J., Scaloni A., Ceccarelli M., de Lange P., Lombardi A., Senese R., Cioffi F., Visser T.J., Peeters R.P., Dulloo A.G., Silvestri E. Adaptive Thermogenesis Driving Catch-Up Fat Is Associated With Increased Muscle Type 3 and Decreased Hepatic Type 1 Iodothyronine Deiodinase Activities: A Functional and Proteomic Study // *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2021. Vol. 12. Art. № 631176. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.631176>
15. Hong H., Lee J. Thyroid-Stimulating Hormone as a Biomarker for Stress After Thyroid Surgery: A Prospective Cohort Study // *Med. Sci. Monit.* 2022. Vol. 28. Art. № E937957. <http://dx.doi.org/10.12659/MSM.937957>
16. Никитина В.Б., Карауш И.С., Дашиева Б.А. Предиоры затяжного течения расстройства адаптации, коморбидного с патологией щитовидной железы // *Актуальные проблемы психиатрии и наркологии в*

современных условиях: материалы всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию Забайкал. краев. наркол. диспансера г. Чита. Чита: Ред.-изд. центр Читин. гос. мед. акад., 2020. С. 96–98.

17. Schiera G., Di Liegro C.M., Di Liegro I. Involvement of Thyroid Hormones in Brain Development and Cancer // *Cancers* (Basel). 2021. Vol. 13, № 11. Art. № 2693. <https://doi.org/10.3390/cancers13112693>

18. Venediktova N., Solomadin I., Starinets V., Mironova G. Structural and Dynamic Features of Liver Mitochondria and Mitophagy in Rats with Hyperthyroidism // *Int. J. Mol. Sci.* 2022. Vol. 23, № 22. Art. № 14327. <https://doi.org/10.3390/ijms232214327>

19. Wiersinga W.M., Poppe K.G., Effraimidis G. Hyperthyroidism: Aetiology, Pathogenesis, Diagnosis, Management, Complications, and Prognosis // *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2023. Vol. 11, № 4. P. 282–298. [https://doi.org/10.1016/S2213-8587\(23\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(23)00005-0)

20. Han Z., Chen L., Peng H., Zheng H., Lin Y., Peng F., Fan Y., Xie X., Yang S., Wang Z., Yuan L., Wei X., Chen H. The Role of Thyroid Hormone in the Renal Immune Microenvironment // *Int. Immunopharmacol.* 2023. Vol. 119. Art. № 110172. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110172>

21. Wenzek C., Boelen A., Westendorp A.M., Engel D.R., Moeller L.C., Führer D. The Interplay of Thyroid Hormones and the Immune System – Where We Stand and Why We Need to Know About It // *Eur. J. Endocrinol.* 2022. Vol. 186, № 5. P. R65–R77. <https://doi.org/10.1530/eje-21-1171>

22. Del Mar Montesinos M., Pellizas C.G. Thyroid Hormone Action on Innate Immunity // *Front. Endocrinol.* (Lausanne). 2019. Vol. 10. Art. № 350. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00350>

23. Ucci S., Renzini A., Russi V., Mangialardo C., Cammarata I., Cavioli G., Santaguida M.G., Virili C., Centanni M., Adamo S., Moresi V., Verga-Falzacappa C. Thyroid Hormone Protects from Fasting-Induced Skeletal Muscle Atrophy by Promoting Metabolic Adaptation // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, № 22. Art. № 5754. <https://doi.org/10.3390/ijms20225754>

24. Spinelli E., Werner Junior J. Human Adaptive Behavior to Antarctic Conditions: A Review of Physiological Aspects // *WIREs Mech. Dis.* 2022. Vol. 14, № 5. Art. № e1556. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1556>

25. Kovaničová Z., Kurdiová T., Baláž M., Štefanička P., Varga L., Kulterer O.C., Betz M.J., Haug A.R., Burger I.A., Kiefer F.W., Wolfrum C., Ukropcová B., Ukropec J. Cold Exposure Distinctively Modulates Parathyroid and Thyroid Hormones in Cold-Acclimatized and Non-Acclimatized Humans // *Endocrinology.* 2020. Vol. 161, № 7. Art. № bqaa051. <https://doi.org/10.1210/endo/bqaa051>

26. Дудко А.В. Особенности показателей физиологических систем спортсменов в природно-климатических условиях Севера // *Международ. журн. приклад. наук и технологий Integral.* 2021. № 3. Ст. № 2.

27. Овечкина Е.С., Овечкин Ф.Ю. Патофизиология человека в условиях Севера России // *Бюл. науки и практики.* 2021. Т. 7, № 8. С. 185–191. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/24>

28. Горенко И.Н., Типусова Е.В., Попкова В.А., Елфимова А.Э. Соотношение гормонов гипоталамо-тиреоидной системы, дофамина и цАМФ у жителей Европейского и Азиатского Севера // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2019. Т. 7, № 2. С. 140–150. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.140>

29. Tsubulnikov S., Maslov L., Voronkov N., Oeltgen P. Thyroid Hormones and the Mechanisms of Adaptation to Cold // *Hormones* (Athens). 2020. Vol. 19, № 3. P. 329–339. <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00200-2>

30. Попкова В.А. Кинетика тиреоидных гормонов у работников целлюлозно-бумажной промышленности и контрольной группы мужчин г. Архангельска в зависимости от года исследования // *Журн. мед.-биол. исследований.* 2020. Т. 8, № 3. С. 241–249. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z015>

31. McIntyre R.D., Zurawlew M.J., Mee J.A., Walsh N.P., Oliver S.J. A Comparison of Medium-Term Heat Acclimation by Post-Exercise Hot Water Immersion or Exercise in the Heat: Adaptations, Overreaching, and Thyroid Hormones // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2022. Vol. 323, № 5. P. R601–R615. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00315.2021>

32. Keenan D.M., Pichler Hefti J., Veldhuis J.D., Von Wolff M. Regulation and Adaptation of Endocrine Axes at High Altitude // *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2020. Vol. 318, № 2. P. E297–E309. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00243.2019>

33. Hepşen S., Akhanlı P., Sencar M.E., Düger H., Bostan H., Kizilgul M., Arslan I.E., Çakal E. Changes in Thyroid Hormones and Free Triiodothyronine-to-Free Thyroxine Ratio in Euthyroid Patients with Obesity in Terms of Different Glucose Metabolism Statuses // *Turk. J. Endocrinol. Metab.* 2021. Vol. 25. P. 279–287. <http://dx.doi.org/10.25179/tjem.2021-82919>

34. Hughes K., Eastman C. Thyroid Disease: Long-Term Management of Hyperthyroidism and Hypothyroidism // Aust. J. Gen. Pract. 2021. Vol. 50, № 1–2. P. 36–42. <https://doi.org/10.31128/ajgp-09-20-5653>
35. Galzka J. The Potential Usage of Thyroid Hormones as Sport Doping – a Mini-Review // Qual. Sport. 2022. Vol. 8, № 3. P. 61–65. <http://dx.doi.org/10.12775/QS.2022.08.03.007>
36. Mahashabde M., Murukoti S.R., Chaudhary G., Kanchi G., Patil R. Study of Thyroid Functions in Critically Ill Patients Admitted in Medical Intensive Care Unit and Its Correlation with Critical Care Scoring Acute Physiology and Chronic Health Evaluation III // J. Assoc. Physicians India. 2022. Vol. 70, № 7. P. 33–36.
37. Abbey E.J., McGready J., Ferrucci L., Simonsick E.M., Mammen J.S.R. Thyroid Hormone Supplementation and All-Cause Mortality in Community-Dwelling Older Adults: Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging // J. Am. Geriatr. Soc. 2021. Vol. 69, № 5. P. 1283–1290. <https://doi.org/10.1111/jgs.17015>
38. Bekkering G.E., Agoritsas T., Lytvyn L., Heen A.F., Feller M., Moutzouri E., Abdulazeem H., Aertgeerts B., Beecher D., Brito J.P., Farhoumand P.D., Singh Ospina N., Rodondi N., van Driel M., Wallace E., Snel M., Okwen P.M., Siemieniuk R., Vandvik P.O., Kuijpers T., Vermandere M. Thyroid Hormones Treatment for Subclinical Hypothyroidism: A Clinical Practice Guideline // BMJ. 2019. Vol. 365. Art. № 12006. <https://doi.org/10.1136/bmj.12006>
39. Ettlson M.D., Bianco A.C. Individualized Therapy for Hypothyroidism: Is T₄ Enough for Everyone? // J. Clin. Endocrinol. Metab. 2020. Vol. 105, № 9. P. e3090–3104. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa430>
40. Наумова А.Р., Платонова З.Н. Психологические факторы заболевания гипотиреозом у жителей Республики Саха (Якутия) // Вестн. Сев.-Вост. федер. ун-та им. М.К. Аммосова. Сер.: Педагогика. Психология. Философия. 2020. № 2(18). С. 36–43.
41. Severo J.S., Morais J.B.S., de Freitas T.E.C., Andrade A.L.P., Feitosa M.M., Fontenelle L.C., de Oliveira A.R.S., Cruz K.J.C., do Nascimento Marreiro D. The Role of Zinc in Thyroid Hormones Metabolism // Int. J. Vitam. Nutr. Res. 2019. Vol. 89, № 1–2. P. 80–88. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000262>
42. Benvenga S., Nordio M., Laganà A.S., Unfer V. The Role of Inositol in Thyroid Physiology and in Subclinical Hypothyroidism Management // Front. Endocrinol. (Lausanne). 2021. Vol. 12. Art. № 662582. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.662582>
43. Демидова Т.Ю., Скуридина Д.В., Кочина А.С. Влияние физической активности на пролактин и гормоны щитовидной железы // Акад. медицины и спорта. 2021. Т. 2, № 3. С. 25–29. <https://doi.org/10.15829/2712-7567-2021-34>

References

1. Lema S.C. Hormones, Developmental Plasticity, and Adaptive Evolution: Endocrine Flexibility as a Catalyst for ‘Plasticity-First’ Phenotypic Divergence. *Mol. Cell. Endocrinol.*, 2020, vol. 502. Art. no. 110678. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110678>
2. Krasil’nikov A.N., Turbina E.G. Rol’ funktsional’nykh sistem organizma v protsesse adaptatsii k fizicheskim nagruzkam [The Role of Functional Systems in the Process of Adaptation to Physical Exertion]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsial’nye, gumanitarnye, mediko-biologicheskie nauki*, 2022, vol. 24, no. 83, pp. 42–46. <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2022-24-83-42-46>
3. Gelen V., Şengül E., Kükürt A. Thyroid Hormones (T₃ and T₄) and Their Effects on the Cardiovascular System. Gelen V., Şengül E., Kükürt A. (eds.). *Hyperthyroidism – Recent Updates*. London, 2023, pp. 1–11. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.109623>
4. Kazakou P., Nicolaidis N.C., Chrousos G.P. Basic Concepts and Hormonal Regulators of the Stress System. *Horm. Res. Paediatr.*, 2023, vol. 96, no. 1, pp. 8–16. <https://doi.org/10.1159/000523975>
5. Fazio E., Bionda A., Chiofalo V., Crepaldi P., Lopreiato V., Medica P., Liotta L. Adaptive Responses of Thyroid Hormones, Insulin, and Glucose During Pregnancy and Lactation in Dairy Cows. *Animals (Basel)*, 2022, vol. 12, no. 11. Art. no. 1395. <https://doi.org/10.3390/ani12111395>
6. Guerri G., Bressan S., Sartori M., Costantini A., Benedetti S., Agostini F., Tezzele S., Cecchin S., Scaramuzza A., Bertelli M. Hypothyroidism and Hyperthyroidism. *Acta Biomed.*, 2019, vol. 90, no. 10-S, pp. 83–86. <https://doi.org/10.23750/abm.v90i10-s.8765>

7. Mohr S.M., Dai Pra R., Platt M.P., Feketa V.V., Shanabrough M., Varela L., Kristant A., Cao H., Merriman D.K., Horvath T.L., Bagriantsev S.N., Gracheva E.O. Hypothalamic Hormone Deficiency Enables Physiological Anorexia in Ground Squirrels During Hibernation. *Nat. Commun.*, 2024, vol. 15, no. 1. Art. no. 5803. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49996-2>
8. Teixeira P.F.D.S., Dos Santos P.B., Pazos-Moura C.C. The Role of Thyroid Hormone in Metabolism and Metabolic Syndrome. *Ther. Adv. Endocrinol. Metab.*, 2020, vol. 11. Art. no. 2042018820917869. <https://doi.org/10.1177/2042018820917869>
9. Zekri Y., Flamant F., Gauthier K. Central vs. Peripheral Action of Thyroid Hormone in Adaptive Thermogenesis: A Burning Topic. *Cells*, 2021, vol. 10, no. 6. Art. no. 1327. <https://doi.org/10.3390/cells10061327>
10. Hochbaum D.R., Hulshof L., Urke A., Wang W., Dubinsky A.C., Farnsworth H.C., Hakim R., Lin S., Kleinberg G., Robertson K., Park C., Solberg A., Yang Y., Baynard C., Nadaf N.M., Beron C.C., Girasole A.E., Chantranupong L., Cortopassi M.D., Prouty S., Geistlinger L., Banks A.S., Scanlan T.S., Datta S.R., Greenberg M.E., Boulting G.L., Macosko E.Z., Sabatini B.L. Thyroid Hormone Remodels Cortex to Coordinate Body-Wide Metabolism and Exploration. *Cell*, 2024, vol. 187, no. 20, pp. 5679–5697. Art. no. e23. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.07.041>
11. Kyriacou A., Tziaferi V., Toumba M. Stress, Thyroid Dysregulation, and Thyroid Cancer in Children and Adolescents: Proposed Impending Mechanisms. *Horm. Res. Paediatr.*, 2023, vol. 96, no. 1, pp. 44–53. <https://doi.org/10.1159/000524477>
12. Markevich T.N., Gorodetskaya I.V. Vliyanie stressa na uroven' yodsoderzhashchikh gormonov shchitovidnoy zhelezy [The Influence of Stress on the Level of Iodine-Containing Thyroid Hormones]. *Dostizheniya fundamental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii* [Achievements of Fundamental, Clinical Medicine and Pharmacy]. Vitebsk, 2021, pp. 282–284.
13. Zyabisheva V.N. Relevance of Physiological Research in the European North of Russia Exemplified by Studies on the Photoperiodic Dynamics of Thyroid Profile Parameters. *J. Med. Biol. Res.*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 180–183. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z100>
14. Di Munno C., Busiello R.A., Calonne J., Salzano A.M., Miles-Chan J., Scaloni A., Ceccarelli M., de Lange P., Lombardi A., Senese R., Cioffi F., Visser T.J., Peeters R.P., Dulloo A.G., Silvestri E. Adaptive Thermogenesis Driving Catch-Up Fat Is Associated with Increased Muscle Type 3 and Decreased Hepatic Type 1 Iodothyronine Deiodinase Activities: A Functional and Proteomic Study. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2021, vol. 12. Art. no. 631176. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.631176>
15. Hong H., Lee J. Thyroid-Stimulating Hormone as a Biomarker for Stress After Thyroid Surgery: A Prospective Cohort Study. *Med. Sci. Monit.*, 2022, vol. 28. Art. no. E937957. <http://dx.doi.org/10.12659/MSM.937957>
16. Nikitina V.B., Karaush I.S., Dashieva B.A. Prediktory zatyazhnogo techeniya rasstroystva adaptatsii, komorbidnogo s patologiej shchitovidnoy zhelezy [Predictors of a Protracted Course of Adaptation Disorder Comorbid with Thyroid Pathology]. *Aktual'nye problemy psikiatrii i narkologii v sovremennykh usloviyakh* [Current Problems of Psychiatry and Narcology]. Chita, 2020, pp. 96–98.
17. Schiera G., Di Liegro C.M., Di Liegro I. Involvement of Thyroid Hormones in Brain Development and Cancer. *Cancers (Basel)*, 2021, vol. 13, no. 11. Art. no. 2693. <https://doi.org/10.3390/cancers13112693>
18. Venediktova N., Solomadin I., Starinets V., Mironova G. Structural and Dynamic Features of Liver Mitochondria and Mitophagy in Rats with Hyperthyroidism. *Int. J. Mol. Sci.*, 2022, vol. 23, no. 22. Art. no. 14327. <https://doi.org/10.3390/ijms232214327>
19. Wiersinga W.M., Poppe K.G., Effraimidis G. Hyperthyroidism: Aetiology, Pathogenesis, Diagnosis, Management, Complications, and Prognosis. *Lancet Diabetes Endocrinol.*, 2023, vol. 11, no. 4, pp. 282–298. [https://doi.org/10.1016/s2213-8587\(23\)00005-0](https://doi.org/10.1016/s2213-8587(23)00005-0)
20. Han Z., Chen L., Peng H., Zheng H., Lin Y., Peng F., Fan Y., Xie X., Yang S., Wang Z., Yuan L., Wei X., Chen H. The Role of Thyroid Hormone in the Renal Immune Microenvironment. *Int. Immunopharmacol.*, 2023, vol. 119. Art. no. 110172. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2023.110172>
21. Wenzek C., Boelen A., Westendorf A.M., Engel D.R., Moeller L.C., Führer D. The Interplay of Thyroid Hormones and the Immune System – Where We Stand and Why We Need to Know About It. *Eur. J. Endocrinol.*, 2022, vol. 186, no. 5, pp. R65–R77. <https://doi.org/10.1530/eje-21-1171>

22. Montesinos M.D.M., Pellizas C.G. Thyroid Hormone Action on Innate Immunity. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2019, vol. 10. Art. no. 350. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00350>

23. Ucci S., Renzini A., Russi V., Mangialardo C., Cammarata I., Cavioli G., Santaguida M.G., Virili C., Centanni M., Adamo S., Moresi V., Verga-Falzacappa C. Thyroid Hormone Protects from Fasting-Induced Skeletal Muscle Atrophy by Promoting Metabolic Adaptation. *Int. J. Mol. Sci.*, 2019, vol. 20, no. 22. Art. no. 5754. <https://doi.org/10.3390/ijms20225754>

24. Spinelli E., Werner Junior J. Human Adaptative Behavior to Antarctic Conditions: A Review of Physiological Aspects. *WIREs Mech. Dis.*, 2022, vol. 14, no. 5. Art. no. e1556. <https://doi.org/10.1002/wsbm.1556>

25. Kovaničová Z., Kurdiová T., Baláž M., Štefanička P., Varga L., Kulterer O.C., Betz M.J., Haug A.R., Burger I.A., Kiefer F.W., Wolfrum C., Ukropcová B., Ukropec J. Cold Exposure Distinctively Modulates Parathyroid and Thyroid Hormones in Cold-Acclimatized and Non-Acclimatized Humans. *Endocrinology*, 2020, vol. 161, no. 7. Art. no. bqaa051. <https://doi.org/10.1210/endo/bqaa051>

26. Dudko A.V. Osobennosti pokazateley fiziologicheskikh sistem sportmenov v prirodno-klimaticheskikh usloviyakh Severa [Features of Indicators of Physiological Systems of Athletes in the Natural and Climatic Conditions of the North]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy Integral*, 2021, no. 3. Art. no. 2.

27. Ovechkin E., Ovechkin F. Human Pathophysiology in the Conditions of North Russia. *Bull. Sci. Pract.*, 2021, vol. 7, no. 8, pp. 185–191 (in Russ.). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/69/24>

28. Gorenko I.N., Tipisova E.V., Popkova V.A., Elfimova A.E. Ratios of the Hormones of the Pituitary–Thyroid Axis, Dopamine and cAMP in Residents of the European and Asian North of Russia. *J. Med. Biol. Res.*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 140–150. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.140>

29. Tsubulnikov S., Maslov L., Voronkov N., Oeltgen P. Thyroid Hormones and the Mechanisms of Adaptation to Cold. *Hormones (Athens)*, 2020, vol. 19, no. 3, pp. 329–339. <https://doi.org/10.1007/s42000-020-00200-2>

30. Popkova V.A. Kinetics of Thyroid Hormones in Pulp and Paper Workers and the Control Group of Arkhangelsk Residents Depending on the Year of Research. *J. Med. Biol. Res.*, 2020, vol. 8, no. 3, pp. 241–249. <https://doi.org/10.37482/2687-1491-Z015>

31. McIntyre R.D., Zurawlew M.J., Mee J.A., Walsh N.P., Oliver S.J. A Comparison of Medium-Term Heat Acclimation by Post-Exercise Hot Water Immersion or Exercise in the Heat: Adaptations, Overreaching, and Thyroid Hormones. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 2022, vol. 323, no. 5, pp. R601–R615. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00315.2021>

32. Keenan D.M., Pichler Hefti J., Veldhuis J.D., Von Wolff M. Regulation and Adaptation of Endocrine Axes at High Altitude. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 2020, vol. 318, no. 2, pp. E297–E309. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00243.2019>

33. Hepşen S., Akhanli P., Sencar M.E., Düger H., Bostan H., Kizilgul M., Arslan I.E., Çakal E. Changes in Thyroid Hormones and Free Triiodothyronine-to-Free Thyroxine Ratio in Euthyroid Patients with Obesity in Terms of Different Glucose Metabolism Statuses. *Turk. J. Endocrinol. Metab.*, 2021, vol. 25, pp. 279–287. <http://dx.doi.org/10.25179/tjem.2021-82919>

34. Hughes K., Eastman C. Thyroid Disease: Long-Term Management of Hyperthyroidism and Hypothyroidism. *Aust. J. Gen. Pract.*, 2021, vol. 50, no. 1–2, pp. 36–42. <https://doi.org/10.31128/ajgp-09-20-5653>

35. Gałazka J. The Potential Usage of Thyroid Hormones as Sport Doping – a Mini-Review. *Qual. Sport*, 2022, vol. 8, no. 3, pp. 61–65. <http://dx.doi.org/10.12775/QS.2022.08.03.007>

36. Mahashabde M., Murukoti S.R., Chaudhary G., Kanchi G., Patil R. Study of Thyroid Functions in Critically Ill Patients Admitted in Medical Intensive Care Unit and Its Correlation with Critical Care Scoring Acute Physiology and Chronic Health Evaluation III. *J. Assoc. Physicians India*, 2022, vol. 70, no. 7, pp. 33–36.

37. Abbey E.J., McGready J., Ferrucci L., Simonsick E.M., Mammen J.S.R. Thyroid Hormone Supplementation and All-Cause Mortality in Community-Dwelling Older Adults: Results from the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *J. Am. Geriatr. Soc.*, 2021, vol. 69, no. 5, pp. 1283–1290. <https://doi.org/10.1111/jgs.17015>

38. Bekkering G.E., Agoritsas T., Lytvyn L., Heen A.F., Feller M., Moutzouri E., Abdulazeem H., Aertgeerts B., Beecher D., Brito J.P., Farhoumand P.D., Singh Ospina N., Rodondi N., van Driel M., Wallace E., Snel M., Okwen P.M., Siemieniuk R., Vandvik P.O., Kuijpers T., Vermandere M. Thyroid Hormones Treatment for Subclinical Hypothyroidism: A Clinical Practice Guideline. *BMJ*, 2019, vol. 365. Art. no. l2006. <https://doi.org/10.1136/bmj.l2006>

39. Ettleson M.D., Bianco A.C. Individualized Therapy for Hypothyroidism: Is T₄ Enough for Everyone? *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 2020, vol. 105, no. 9, pp. e3090–e3104. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgaa430>

40. Naumova A.R., Platonova Z.N. Psikhologicheskie faktory zabolevaniya gipotireozom u zhiteley Respubliki Sakha (Yakutiya) [Psychological Factors of Hypothyroidism in Residents of the Sakha Republic (Yakutia)]. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. Ser.: Pedagogika. Psikhologiya. Filosofiya*, 2020, no. 2, pp. 36–43.

41. Severo J.S., Morais J.B.S., de Freitas T.E.C., Andrade A.L.P., Feitosa M.M., Fontenelle L.C., de Oliveira A.R.S., Cruz K.J.C., do Nascimento Marreiro D. The Role of Zinc in Thyroid Hormones Metabolism. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.*, 2019, vol. 89, no. 1–2, pp. 80–88. <https://doi.org/10.1024/0300-9831/a000262>

42. Benvenga S., Nordio M., Laganà A.S., Unfer V. The Role of Inositol in Thyroid Physiology and in Subclinical Hypothyroidism Management. *Front. Endocrinol. (Lausanne)*, 2021, vol. 12. Art. no. 662582. <https://doi.org/10.3389/fendo.2021.662582>

43. Demidova T.Yu., Skuridina D.V., Kochina A.S. Effects of Physical Activity on Prolactin and Thyroid Hormones. *Acad. Med. Sports*, 2021, vol. 2, no. 3, pp. 25–29 (in Russ.). <https://doi.org/10.15829/2712-7567-2021-34>

Поступила в редакцию 17.11.2023 / Одобрена после рецензирования 07.05.2024 / Принята к публикации 15.05.2024.
Submitted 17 November 2023 / Approved after reviewing 7 May 2024 / Accepted for publication 15 May 2024.