

Роль тиреоидных гормонов в реализации адаптационных реакций организма

Ю.А. Шатыр¹, Н.О. Назаров², Р.И. Глушаков¹

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова Минобороны России
194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6

² Центр внедрения изменений Министерства здравоохранения Московской области
143408, г. Красногорск, ул. Карбышева, 4

Резюме

Активность гормонов щитовидной железы является одним из ключевых элементов регуляции адаптационных реакций организма. В работе представлен анализ механизма действия тиреоидных гормонов как ответной реакции организма на стрессовые воздействия со стороны окружающей среды. Цель исследования – конкретизация роли йодтиронинов в формировании адаптационных реакций организма. **Материал и методы.** Анализ литературы выполнялся с использованием баз данных PubMed, SpringerLink, eLibrary, GoogleScholar по релевантным публикациям за период 2015–2023 гг. **Результаты и их обсуждение.** Развитие как гипо-, так и гипертиреоза отрицательно сказывается на функционировании ряда органов и систем организма. Охарактеризованы последствия изменения уровня тиреоидных гормонов в виде гипо- и гипертиреоза для адаптационных возможностей организма, проанализированы возможности коррекции адаптационных реакций посредством регулирования их содержания. **Заключение.** К настоящему времени доказано, что тиреоидные гормоны принимают активное участие в экспрессии более 100 генов, поддержании редокс-баланса, а также во множестве метаболических реакций, что оказывает влияние на адаптационный потенциал организма. При этом развитие как гипо-, так и гипертиреоза отрицательно сказывается на функционировании ряда органов и систем организма. Следовательно, для успешности адаптации человека к стрессовым факторам среды целесообразна коррекция содержания в организме йодтиронинов. Активно используемое гормональное сопровождение, несмотря на доказанную эффективность, имеет, тем не менее, ряд ограничений в силу потенциального вреда такой терапии, вследствие чего в настоящее время анализируются подходы к коррекции содержания йодтиронинов, в частности, путем алиментарного приема ряда витаминов и микроэлементов, а также посредством дозированной физической нагрузки.

Ключевые слова: гормоны щитовидной железы, йодтиронины, адаптация, средовое воздействие, стрессоустойчивость.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Автор для переписки: Шатыр Ю.А., e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Для цитирования: Шатыр Ю.А., Назаров Н.О., Глушаков Р.И. Роль тиреоидных гормонов в реализации адаптационных реакций организма. *Сибирский научный медицинский журнал.* 2024;44(3):58–67. doi: 10.18699/SSMJ20240306

Role of thyroid hormones in the implementation of adaptive reactions of the organism

Yu.A. Shatyr¹, N.O. Nazarov², R.I. Glushakov¹

¹ S.M. Kirov Military Medical Academy
194044, Saint-Petersburg, Akademika Lebedeva st., 6

² Center for Implementation of Changes of the Ministry of Health of the Moscow Region
143408, Krasnogorsk, Karbysheva st., 4

Abstract

The activity of thyroid hormones is one of the key elements in the regulation of the organism's adaptive reactions. The article presents an analysis of thyroid hormones's action mechanism as the organism's response to environmental stress. The purpose of the study is to specify the role of iodothyronines in the formation of the organism adaptive reactions. **Material and methods.** The literature analysis was performed using the PubMed, SpringerLink, eLibrary, GoogleScholar databases for relevant publications for the period 2015–2023. **Results and discussion.** The development of both hypo- and hyperthyroidism negatively affects the functioning of a number of organs and systems of the organism. The consequences of changes in the level of thyroid hormones in the form of hypo- and hyperthyroidism for the adaptive capabilities of the organism are characterized, and the possibilities of correcting adaptive reactions by regulating their level are analyzed. **Conclusions.** To date, it has been proven that thyroid hormones are actively involved in the expression of more than 100 genes, maintaining redox balance, as well as in many metabolic reactions, which affects the adaptive potential of the organism. At the same time, the development of both hypo- and hyperthyroidism negatively affects the functioning of a number of organs and systems of the organism. Therefore, for a person to successfully adapt to stressful environmental factors, it is advisable to correct the content of iodothyronines in the organism. Actively used hormonal support, despite proven effectiveness, has nevertheless a number of limitations regarding the potential harm of such therapy, as a result of which approaches to correcting the content of iodothyronines are currently being analyzed, in particular, through the nutritional intake of a number of vitamins and microelements, as well as through dosed physical activity.

Key words: thyroid hormones, iodothyronines, adaptation, environmental exposure, stress resistance.

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

Correspondence author: Shatyr Yu. A., e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Citation: Shatyr Yu.A., Nazarov N.O., Glushakov R.I. Role of thyroid hormones in the implementation of adaptive reactions of the organism. *Sibirskij nauchnyj medicinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal*. 2024;44(3):58–67. [In Russian]. doi: 10.18699/SSMJ20240306

Введение

На протяжении всей жизни на организм человека оказывают влияние как внешние, так и внутренние факторы, дестабилизирующие его гомеостаз. В ходе эволюционного развития для адекватного противостояния негативному воздействию среды с целью сохранения динамического равновесия организма и успешной адаптации сформирована сложная нейроэндокринная система, позволяющая организму успешно адаптироваться к воздействующим на него средовым факторам. Именно физиологическому уровню адаптации принадлежит ведущая роль в формировании адапционного ответа, как немедленного (срочная адаптация), так и отсроченного (долговременная адаптация) [1, 2]. При этом одним из ключевых элементов регуляции адапционных реакций организма является активность гормонов щитовидной железы, регулирующих многие физиологические функции, такие как термогенез, репродуктивная функция, метаболические процессы в организме и др. [3]. В частности, гормон щитовидной железы трийодтиронин способствует созреванию и функционированию дендритных клеток, вызывая воспалительные и цитотоксические адаптивные реакции [4]. В целом тиреоидные гормоны (ТГ) играют важную роль в поддержании функциональной активности организма,

а их эффекты подразделяются на две основные категории взаимосвязанных физиологических реакций: влияние на клеточную дифференцировку, рост и развитие, в том числе нервной системы, и на процессы метаболизма белков, углеводов и липидов [5, 6]. ТГ регулируют деятельность сердечно-сосудистой, нервной, костно-суставной и мышечной системы, процессы сна и бодрствования, дыхание, движение, прием пищи, поддерживая тем самым нормальный метаболизм [7–9]. В ряде исследований показана роль ТГ щитовидной железы в формировании исследовательского поведения [10], в модуляции ряда нейротрансмиттерных систем мозга [11, 12], в формировании устойчивости организма к стрессорному воздействию [13–16]. Настоящее исследование выполнено с целью конкретизации роли йодтиронинов в формировании адапционных реакций организма.

Материал и методы

Анализ литературы выполнялся с использованием баз данных PubMed, SpringerLink, eLibrary, GoogleScholar по следующим ключевым словам: «гормоны щитовидной железы», «тиреоидные гормоны», «адаптация», «средовое воздействие», «стрессоустойчивость». Поиск осуществлялся по публикациям за период 2016–2023 гг.

Результаты и их обсуждение

Регуляция функционирования нервных процессов в неблагоприятных условиях жизнедеятельности рассматривается в ряде исследований с точки зрения возможностей сохранения функций щитовидной железы. ТГ щитовидной железы, или йодтиронины, участвуют практически во всех процессах, происходящих в живом организме, оказывая метаболическое действие на ряд тканей и систем организма, а также влияя на редокс-баланс [17, 18].

Механизм действия тиреоидных гормонов

ТГ и специфические агонисты различных изоформ рецепторов ТГ в дозозависимой манере способны индуцировать проангиогенный, промитотический, антиоксидантный и противовирусный эффекты посредством четырех основных механизмов: изменение экспрессии тиреоид-зависимых генов; повышение активности митохондриальных АТФ-чувствительных калиевых каналов; повышение активности и экспрессии антиоксидантных ферментов и цитокинов; увеличение чувствительности клеток к действию цитокинов [19].

Действие ТГ на уровне клетки-мишени реализуется посредством геномных (ядерных) и негеномных механизмов, совокупно опосредуя их окончательные эффекты в тканях-мишенях. Регулируя экспрессию генов в разных тканях, йодтиронины могут влиять на критические события как в развивающемся, так и во взрослом организме. Через геномные механизмы йодтиронины воздействуют на развитие, дифференцировку и гомеостаз тканей-мишеней. Негеномные (внеядерные) механизмы отличаются быстротой действия (от секунд до минут), не зависящего от ингибиторов генетической транскрипции [20–24], и могут как реализовываться независимо от генома, так и дополнять, усиливать или угнетать эффекты связывания ТГ с транскрипционно активными ядерными рецепторами при реализации их геномного действия. Последнее дополняющее влияние реализуется в том случае, если негеномные эффекты качественно схожи с геномными и при этом предшествуют им. Усиление геномного действия негеномным опосредуется увеличением количества или активности ядерных рецепторов ТГ в клетке, угнетение же обусловлено конкуренцией за гормон между транскрипционно активными и неактивными изоформами ядерных рецепторов. Дополняющее действие геномного и негеномного влияния ТГ определяет эффективность тиреоидной регуляции клеточных процессов [25].

Гормоны щитовидной железы играют важную роль для антиоксидантной системы организма:

нарушение регуляции ТГ влияет на редокс-баланс и способствует образованию активных форм кислорода. Трийодтиронин (T_3) способствует развитию в организме противовоспалительных реакций, а также бактерицидной и фагоцитарной активности макрофагов посредством связывания с ядерными рецепторами йодтиронинов (TR). В ответ на образование комплекса T_3 -TR происходит подавление воспалительных процессов посредством угнетения TLR4, NF- κ B, NLRP3, про-ИЛ-1 β и про-ИЛ-18. Но затем в состоянии гипотиреоза тироксин (T_4) связывается с интегринным $\alpha\beta_3$ плазматической мембраны и активируют сигнальный каскад PI3K-AKT, что вызывает устойчивую выработку активных форм кислорода и запуск высвобождения воспалительных и провоспалительных цитокинов [26].

Концентрация тиреотропного гормона (ТТГ), являющегося регулятором гомеостаза, в оптимальном состоянии организма должна находиться на постоянном уровне [26]. В то же время в сыворотке крови она колеблется в зависимости от циркадианного и цирканнуального ритма, под действием кортизола, цитокинов. Любое нарушение продукции ТГ, регулируемое действием ТТГ, как гипо-, так и гипертиреоз, обуславливает развитие окислительного стресса, отличающегося в зависимости от дефицита или избытка ТГ патогенетическим механизмом. В целом состояние гипертиреоза вызывает активацию, а состояние гипотиреоза – угнетение иммунной системы. Так, в первом случае увеличение уровня ТГ модифицирует состав мембранных фосфолипидов, вызывая их окислительное повреждение, в первую очередь митохондриальное, во втором снижается продукция свободных радикалов за счет подавления метаболизма [27].

На содержание ТГ в организме влияют стрессоры различной природы. Так, отмечено наличие связи между симптомами дисфункции щитовидной железы (гипо- и гипертиреоз) и снижением стрессоустойчивости организма [28, 29]. В исследовании Т.Н. Маркевич и соавт. в экспериментах на животных (крысы) обнаружено, что под действием холодного стресса уменьшается концентрация свободного T_4 и увеличивается содержание свободного T_3 , что вызывает дисбаланс в гипофизарно-тиреоидной системе; в случае иммобилизационного стресса отмечено снижение содержания в плазме крови одновременно T_3 и T_4 , что свидетельствует о развитии гипотиреоидного состояния [30].

В ряде работ отмечается, что уровень ТТГ и свободного T_4 у здоровых людей при нормальном функционировании щитовидной железы снижается при голодании и депрессии и увеличивается при простудных заболеваниях, психозах, ожирении. Развивающиеся при гипертиреозе невроло-

гические симптомы включают периферическую нейропатию вследствие демиелинизации нервных волокон, хорею, тремор, цефалгический синдром, эпилептические припадки, тиреотоксический периодический паралич, а также раздражительность, тревожно-фобические состояния и целый спектр психических расстройств. Выявлено, что повышение концентрации ТТГ при депрессии затрудняет ее лечение [31–33]. Состояние длительного гипотиреоза (снижение содержания циркулирующих в крови гормонов T_3 и T_4 , наряду с повышением уровня ТТГ в передней доле гипофиза) ассоциировано с развитием гиперхолестеринемии, диастолической гипертензии, а также с эндотелиальной дисфункцией и повышением риска прогрессирования сердечно-сосудистых заболеваний [34–36]. Гипотиреоз признается значимым фактором риска возникновения депрессивных, затяжных астеноневротических состояний, что также вызывает расстройство адаптации [37].

При гипертиреозе наблюдается тканеспецифичное изменение экспрессии генов, что приводит к накоплению время- и дозозависимых метаболических нарушений. Одним из значимых системных эффектов йодтиронинов является активация экспрессии регуляторов ангиогенеза и тканеспецифичных провоспалительных генов, при этом в клетках иммунной системы под действием ТГ, наоборот, развивается дефицит хемотаксической активности, дисбаланс между производством и утилизацией активных форм кислорода [38–43]. Совокупность данных изменений демонстрирует иммуномодулирующие свойства ТГ, что реализуется в условно компенсированной системной воспалительной реакции и выраженном окислительном стрессе. Наличие провоспалительной активности ТГ предполагает возможность возникновения хронической неактивной воспалительной реакции в клетках организма [23].

Тиреоидные гормоны и адаптация

В исследовании И.В. Городецкой и соавт. доказана способность ТГ модулировать активность центрального отдела стресс-лимитирующей системы, детерминируя таким образом адапционно-компенсаторный потенциал организма. Так, при гипофункции щитовидной железы отмечено снижение уровня тормозных медиаторов (серотонина, дофамина, гамма-аминомасляной кислоты, глицина, опиоидных пептидов), а при гиперфункции – увеличение, вследствие чего предполагается возможность управления стрессреактивностью организма посредством влияния на его тиреоидный статус [44].

В ответ на стрессовое воздействие в организме последовательно развивается каскад реакций

в виде адаптационного ответа, связанных с деятельностью йодтиронинов. В исследовании на лабораторных животных продемонстрировано, что под действием хронического стресса в крови на первом этапе действия стрессового раздражителя наблюдается снижение концентрации общего T_3 , общего T_4 и их свободных фракций. Затем по мере увеличения продолжительности стресса отмечена стабилизация в крови уровня T_3 , в то время как содержание T_4 (общего и свободного) уменьшается, что свидетельствует о смещении баланса йодтиронинов при длительном стрессе в сторону T_3 , обладающего большей физиологической активностью, и может рассматриваться в качестве приспособительной реакции к стрессовому воздействию со стороны гипофизарно-тиреоидной системы [45]. При этом угнетение тиреоидной функции в организме сопровождается регуляторно-обусловленным компенсаторным увеличением сывороточной концентрации ТТГ вследствие наличия отрицательной обратной связи в системе «гипофиз – щитовидная железа» [46]. Таким образом, йодтиронины при формировании адаптационных реакций организма оказывают влияние на их качественные характеристики посредством потенцирования скорости и интенсивности этих реакций.

Особая роль ТГ отводится в регуляции холодовой адаптации. Выявлено снижение продукции ТГ в условиях длительного стрессового воздействия низкой температуры в качестве климатического фактора, что сопровождается снижением адаптационных возможностей организма [47, 48]. Отмечается, что время и успешность адаптации к неблагоприятным условиям среды, в частности к холоду, определяются функционированием щитовидной железы совместно с деятельностью симпатoadренальной системы. Так, в исследовании И.Н. Горенко и соавт. отмечено увеличение активности щитовидной железы у жителей Азиатского Севера, проявляющееся повышением содержания в крови свободного T_3 , как следствие адаптации организма к экстремальным климатическим факторам среды [49]. 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 йодтиронинов на фоне общего снижения концентрации ТГ и их белка-переносчика [50].

Возможности коррекции адаптационных реакций организма посредством регулирования уровня тиреоидных гормонов

В настоящее время активно анализируются возможности управления развитием адаптационных реакций организма в экстремальных условиях среды посредством регулирования содержания йодтиронинов. Изучаются факторы, определяющие возможность поддержания оптимального уровня T_3 и T_4 . В ряде работ рассматривается алиментарный фактор, влияющий на содержание йодтиронинов в организме. Так, отмечено, что недостаток йода в пище, наряду с повышенной активностью щитовидной железы, дополнительно усиливает выраженность дизадаптации в неблагоприятных климатических условиях Севера [51, 52]. В исследовании Д.Б. Демина, посвященном изучению возможностей сохранения функциональных возможностей стабильности щитовидной железы у людей, проживающих в неблагоприятных климатических условиях Севера России, выявлено наличие дефицита йода, являющегося составной частью T_3 и T_4 , что, в свою очередь, отражается на нормальном развитии ЦНС (ТГ принимают участие во всех процессах постнатального нейрогенеза) [53].

В современной медицине для лечения гипотиреоза применяют заместительную гормональную терапию, в основном синтетическими аналогами гормонов щитовидной железы, при этом несмотря на высокую функциональность T_3 и комбинированных препаратов на основе различного соотношения $T_3:T_4$ с учетом особенностей однократного суточного приема препаратом выбора является T_4 [54, 55]. Однако отмечается высокий удельный вес субклинических дисфункций щитовидной железы, что наряду с отсутствием установленных референтных значений содержания ТГ для различных когорт пациентов (онкологические, беременные, пострадавшие от травмы или ожогов и т.д.) и социально-профессиональных групп (спортсмены, военнослужащие, длительно находящиеся в экстремальных климатических условиях и т.д.) приводит к шаблонному назначению синтетических йодтиронинов. R.V. Teixeira et al. определили, что прием ТГ позволяет улучшить выполнение теста с максимальной физической нагрузкой у крыс после перенесенного им инфаркта миокарда [56]. В исследовании G. Luo et al. обоснована возможность снижения выраженности параметров избыточной массы тела и ожирения у пациентов с тревогой и большим депрессивным расстройством посредством введения ТГ [57]. На лабораторных животных (крысах) было продемонстрировано протекторное действие ТГ в отношении повреждения слизи-

стой оболочки желудка при стрессе посредством уменьшения активности процессов перекисного окисления липидов и протеолиза, а также за счет стимуляции экспрессии в миокарде генов раннего ответа (c-fos и c-jun) [58–60]. Исследуются возможности применения T_3 и T_4 в качестве допинга в спорте, вследствие их анаболического действия в виде активации миогенеза, регенерации и кровоснабжения мышц [61]. В то же время ряд исследователей относится с остороженностью к применению гормональной терапии в отношении лекарственной коррекции гипотиреоза вследствие неопределенности в отношении потенциального вреда от лечения гормонами щитовидной железы, особенно у пожилых людей с субклиническим гипотиреозом [62–65].

Анализируются возможности коррекции диеты, направленной на восстановление функции щитовидной железы. В исследовании E. Rabbani et al. изучено влияние добавок цинка, витамина А и магния на восстановление функции щитовидной железы и окислительный стресс у пациентов с гипотиреозом. Показано, что снижение уровня биомаркеров хронического воспаления в сыворотке крови достигается при значительном увеличении содержания в сыворотке общего тироксина [36]. Исследуются возможные взаимосвязи между выработкой гормонов щитовидной железы и потреблением бета-каротина как антиоксиданта [62]. G. Napolitano et al. оценили возможности коррекции негативных последствий гипертиреоза, связанных с окислительными повреждениями, возникающими в результате повышения продукции митохондриальных активных форм кислорода, посредством алиментарного введения витамина Е. Согласно результатам выполненного исследования, назначение крысам витамина Е при моделировании гипертиреоза способствует уменьшению окислительного повреждения как в печени, так и в митохондриях мышц, причем протекторное действие витамина Е усиливалось воздействием холода, предположительно повышающего уровень α -токоферола в митохондриях печени за счет мобилизации резерва эндогенного токоферола и/или интенсификации его ассимиляции из печени [66]. Исследуется использование молекулярных синергистов йода в профилактике и терапии йод-дефицитных заболеваний [67]. Показано, что диета с ограничением метионина способствует предотвращению дисфункции щитовидной железы [68].

В работе Т.Ю. Демидовой и соавт. исследованы возможности коррекции активности йодтиронинов, играющих существенную роль в энергетическом метаболизме организма, посредством физических упражнений [69]. R.A. Marschner et al. оценили влияние кратковременных физиче-

ских упражнений на функционирование сердечно-сосудистой системы, активность дейодиназы 3 типа и маркеры окислительного стресса у крыс со спонтанной гипертензией после экспериментального инфаркта миокарда. Согласно результатам выполненного исследования, физическая нагрузка помимо уменьшения массы левого желудочка и восстановления сердечного выброса привела к снижению активности дейодиназы 3 типа, что свидетельствовало об увеличении концентрации T_3 в кардиомиоцитах и усилении их антиоксидантной защиты. Авторы пришли к выводу, что улучшение функции сердца под действием физической активности в виде регулярных тренировок обусловлено благоприятными изменениями окислительно-восстановительного баланса и снижением активности дейодиназы 3 в сердечной ткани [70].

Заключение

Согласно результатам современных исследований, йодсодержащие гормоны щитовидной железы за счет совокупности геномных и негеномных механизмов принимают активное участие в экспрессии более 100 генов, поддержании редокс-баланса, а также во множестве метаболических реакций, что оказывает влияние на адаптационный потенциал организма. При этом развитие как гипо-, так и гипертиреоза отрицательно сказывается на функционировании ряда органов и систем организма. Следовательно, для успешности адаптации человека к стрессовым факторам среды целесообразна коррекция содержания в организме йодтиронинов. Активно используемое гормональное сопровождение несмотря на доказанную эффективность имеет ряд ограничений в силу потенциального вреда такой терапии, вследствие чего в настоящее время анализируются подходы к коррекции содержания йодтиронинов, в частности, путем алиментарного приема ряда витаминов и микроэлементов, а также посредством дозированной физической нагрузки.

Список литературы / References

1. Красильников А.Н., Турбина Е.Г. Роль функциональных систем организма к физическим нагрузкам. *Изв. Самар. науч. центра РАН. Соц., гум., мед.-биол. науки.* 2022;(24):42–46. doi: 10.37313/2413-9645-2022-24-83-42-46

Krasilnikov A.N., Turbina E.G. The role of the body's functional systems to physical activity. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. Sotsial'nyye, gumanitarnyye, mediko-biologicheskiye nauki = Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Social, humanities, medical and biological sciences.*

2022;(24):42–46. [In Russian]. doi: 10.37313/2413-9645-2022-24-83-42-46

2. Оппедизано М.Д.Л., Артюх Л.Ю. Адаптация человека к экстремальным условиям деятельности. Физиологические механизмы (структурный след адаптации). *Forcipe.* 2021;4(4):18–25.

Oppedizano M.D.L., Artyukh L.Yu. Human adaptation to extreme conditions of activity. Physiological mechanisms (structural trace of adaptation). *Forcipe.* 2021;4(4):18–25. [In Russian].

3. Al-Suhaimi E.A., Khan F.A. Thyroid glands: physiology and structure. In: *Emerging Concepts in Endocrine Structure and Functions.* Singapore: Springer, 2022. P. 133–160. doi: 10.1007/978-981-16-9016-7_5

4. Schiera G., di Liegro C.M., di Liegro I. Involvement of thyroid hormones in brain development and cancer. *Cancers (Basel).* 2021;13(11):2693. doi: 10.3390/cancers13112693

5. Litwack G. Thyroid hormones. In: *Hormones (Fourth Ed.).* Pennsylvania: Academic Press, 2022. P. 101–121. doi: 10.1016/B978-0-323-90262-5.00028-7

6. Ma Z., Song P., Ji D., Zheng M., Qiu G., Liu Z., Wang B. Thyroid hormones as biomarkers of lung cancer: a retrospective study. *Ann. Med.* 2023;55(1):2196088. doi: 10.1080/07853890.2023.2196088

7. Gelen V., Sengul E., Kükürt A. Thyroid hormones (T3 and T4) and their effects on the cardiovascular system. In: *Hyperthyroidism.* EBOOK (PDF). doi:10.5772/intechopen.100994

8. Grasseli E., Voci A., Demori I., Vecchione G., Compalati A.D., Gallo G., Goglia F., de Matteis R., Silvestri E., Vergani L. Triglyceride mobilization from lipid droplets sustains the anti-steatotic action of iodothyronines in cultured rat hepatocytes. *Front. Physiol.* 2015;6:418. doi: 10.3389/fphys.2015.00418

9. Kazakou P., Nicolaides N.C., Chrousos G.P. Basic concepts and hormonal regulators of the stress system. *Horm. Res. Pediatr.* 2023;96(1):8–16. doi: 10.1159/000523975

10. Давтян А.Р., Памаев С.В., Давудов И.Т. Исследовательская активность у самок мышей линии СЗН-А на фоне измененного тиреоидного статуса. *Смолен. мед. альманах.* 2019;(1):87–89.

Davtyan A.R., Pamaev S.V., Davudov I.T. The influence of experimentally changed thyroid status on cognitivity of female of inbred mice СЗН-А. *Smolenskiy meditsinskiy al'manakh = Smolensk Medical Almanac.* 2019;(1):87–89. [In Russian].

11. Молодовская И.Н. Дофаминергическая система и ее взаимосвязь с гипоталамо-гипофизарно-гонадной и гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системами (обзор литературы). *Сиб. науч. мед. ж.* 2020;40(6):34–43. doi: 10.15372/SSMJ20200604

Molodovskaya I.N. The dopaminergic system and its relationship with the hypothalamic-pituitary-gonadal and hypothalamic-pituitary-thyroid systems (literature review). *Sibirskiy nauchnyy medicinskiy zhurnal = Siberian Scientific Medical Journal.* 2020;40(6):34–43. [In Russian]. doi: 10.15372/SSMJ20200604

12. Yavuz S., del Prado S.N., Celi F.S. Thyroid hormone action and energy expenditure. *J. Endocr. Soc.* 2019;3(7):1345–1356. doi: 10.1210/js.2018-00423
13. Раджаббадиев Р.М., Выборная К.В., Лавриненко С.В., Васильев А.В. Тиреоидный статус спортсменов различных дисциплин. *Человек. Спорт. Мед.* 2020;20(S1):5–12. doi: 10.14529/hsm20s101
- Radzhabkadiyev R.M., Vybornaya K.V., Lavrinenko S.V., Vasiliev A.V. Thyroid status of athletes of various disciplines. *Chelovek. Sport. Meditsina = Human. Sport. Medicine.* 2020;20(S1):5–12. [In Russian]. doi: 10.14529/hsm20s101
14. Садыкова Г.С. Физиологические механизмы функциональных взаимоотношений гормонов щитовидной железы и катехоламинов в условиях высокогорья (3600 м). *Известия НАН КР.* 2022;(6):145–149.
- Sadykova G.S. Physiological mechanisms of functional relationships between thyroid hormones and catecholamines in high altitude conditions (3600 m). *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Kyrgyzskoy respubliky = News of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic.* 2022;(6):145–149. [In Russian].
15. Салтыкова М.М. Основные физиологические механизмы адаптации человека к холоду. *Рос. физиол. ж.* 2017;103(2):138–151. [In Russian].
- Saltykova M.M. Basic physiological mechanisms of human adaptation to cold. *Rossiyskiy fiziologicheskij zhurnal imeni Ivana Mikhaylovicha Sechenova = Russian Journal of Physiology.* 2017;103(2):138–151.
16. Tsubulnikov S., Maslov L., Voronkov N., Oeltgen P. Thyroid hormones and the mechanisms of adaptation to cold. *Hormones (Athens).* 2020;19(3):329–339. doi: 10.1007/s42000-020-00200-2
17. Machado M., Bachini F., Itaborahy A. Thyroid hormones and skeletal muscle beyond thermogenesis. *J. Sci. Sport Exercise.* 2023. doi: 10.1007/s42978-023-00235-y
18. McDermott M.T. Hypothyroidism. *Ann. Intern. Med.* 2020;173(1):ITC1–ITC16. doi: 10.7326/AITC202007070
19. Goharbari M.H., Shadboorestan A., Abdollahi M. Inhibitory effects of thyroid hormones on mitochondrial oxidative stress: a systematic review. *Int. J. Pharm.* 2016;12(3):249–261. doi: 10.3923/ijp.2016.249.261
20. Cioffi F., Giacco A., Goglia F., Silvestri E. Bioenergetic aspects of mitochondrial actions of thyroid hormones. *Cells.* 2022;11(6):997. doi: 10.3390/cells11060997
21. Giammanco M., di Liegro C.M., Schiera G., di Liegro I. Genomic and non-genomic mechanisms of action of thyroid hormones and their catabolite 3,5-Diiodo-L-Thyronine in mammals. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21(11):4140. doi: 10.3390/ijms21114140
22. Incerpi S., Gionfra F., de Luca R., Candelotti E., de Vito P., Percario Z.A., Leone S., Gnocchi D., Rossi M., Caruso F., ... Pedersen J.Z. Extranuclear effects of thyroid hormones and analogs during development: An old mechanism with emerging roles. *Front. Endocrinol. (Lausanne).* 2022;13:961744. doi: 10.3389/fendo.2022.961744
23. Глушаков Р.И., Власьева О.В., Соболев И.В., Прошин С.Н., Тапильская Н.И. Тиреоидный статус как прогностический маркер в онкологии. *Злокачеств. опухоли.* 2015;(2):13–20. doi: 10.18027/2224-5057-2015-2-13-20
- Glushakov R.I., Vlaseva O.V., Sobolev I.V., Proshin S.N., Tapilskaya N.I. Thyroid hormonal status as a prognostic risk factors in cancer patients. *Zlokachestvennyye opukholi = Malignant Tumors.* 2015;(2):13–20. [In Russian]. doi: 10.18027/2224-5057-2015-2-13-20
24. Schiera G., di Liegro C.M., di Liegro I. Involvement of thyroid hormones in brain development and cancer. *Cancers (Basel).* 2021;13(11):2693. doi: 10.3390/cancers13112693
25. Селиванова Е.К., Тарасова О.С. Негеномное действие тиреоидных гормонов: роль в регуляции сосудистой системы. *Вестн. МГУ. Сер. 16: Биология.* 2020;75(4):226–236.
- Selivanova E.K., Tarasova O.S. Non-genomic action of thyroid hormones: role in the regulation of the vascular system. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya = The Moscow University Bulletin: Series 16: Biology.* 2020;75(4):226–236. [In Russian].
26. Lasa M., Contreras-Jurado C. Thyroid hormones act as modulators of inflammation through their nuclear receptors. *Front. Endocrinol. (Lausanne).* 2022;13:937099. doi: 10.3389/fendo.2022.937099
27. Рыбакова А.А., Платонова Н.М., Трошина Е.А. Оксидативный стресс и его роль в развитии аутоиммунных заболеваний щитовидной железы. *Пробл. эндокринолог.* 2019;65(6):451–457. doi: 10.14341/probl11827
- Rybakova A.A., Platonova N.M., Troshina E.A. Oxidative stress and its role in the development of autoimmune thyroid diseases. *Problemy endocrinologii = Problems of Endocrinology.* 2019;65(6):451–457. [In Russian]. doi: 10.14341/probl11827
28. 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;90(10-S):83–86. doi:10.23750/abm.v90i10-S.8765
29. Almojali A.I., Almalki S.A., Allothman A.S., Masuadi E.M., Alaqeel M.K. The prevalence and association of stress with sleep quality among medical students. *J. Epidemiol. Glob. Health.* 2017;7(3):169–174. doi: 10.1016/j.jegh.2017.04.005
30. Маркевич Т.Н., Городецкая И.В. Влияние стресса на уровень йодсодержащих гормонов щитовидной железы. *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации:* сб. тр. 76 науч. сессии ВГМУ; Витебск, 28–29 января 2021 г. Витебск, 2021. С. 282–284.
- Markevich T.N., Gorodetskaya I.V. The effect of stress on the level of iodine-containing thyroid hor-

mones. *Achievements of fundamental, clinical medicine and pharmacy*: proc. 76th scientific session of VSMU; Vitebsk, January 28–29, 2021. Vitebsk, 2021. P. 282–284. [In Russian].

31. Зябишева В.Н. Актуальность физиологических исследований в условиях Европейского Севера на примере изучения фотопериодической динамики показателей тиреоидного профиля. *Ж. мед.-биол. исслед.* 2022;10(2):180–183. [In Russian]. doi: 10.37482/2687-1491-Z100

Zyabisheva V.N. The relevance of physiological research in the conditions of the European North using the example of studying the photoperiodic dynamics of thyroid profile indicators. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2022;10(2):180–183. [In Russian]. doi: 10.37482/2687-1491-Z100

32. 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., ... 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;12:31176. doi: 10.3389/fendo.2021.631176

33. Hong H., Lee J. Thyroid-stimulating hormone as a biomarker for stress after thyroid surgery: a prospective cohort study. *Med. Sci. Monit.* 2022;28:E937957. doi: 10.12659/MSM.937957

34. Mancini A., Segni C., Raimondo S., Olivieri G., Silvestrini A., Meucci E., Currò D. Thyroid hormones, oxidative stress, and inflammation. *Mediators Inflamm.* 2016;2016:6757154. doi: 10.1155/2016/6757154

35. Naseem Z., Iqbal M.A., Ahmad S., Roohi N. Inflammatory markers as prognosticators of cardiovascular dysfunction in hypothyroid patients. *J. Biol. Regul. Homeost. Agents*. 2019;33(6):1891–1895. doi: 10.23812/19-334-L

36. Rabbani E., Golgiri F., Janani L., Moradi N., Fallah S., Abiri B., Vafa M. Randomized study of the effects of zinc, vitamin a, and magnesium co-supplementation on thyroid function, oxidative stress, and hs-CRP in patients with hypothyroidism. *Biol. Trace Elem. Res.* 2021;199(11):4074–4083. doi: 10.1007/s12011-020-02548-3

37. Cheung Y.M., Wang W., McGregor B., Hamnvik O.R. Associations between immune-related thyroid dysfunction and efficacy of immune checkpoint inhibitors: a systematic review and meta-analysis. *Cancer Immunol. Immunother.* 2022;71(8):1795–1812. doi: 10.1007/s00262-021-03128-7

38. Chang X.R., Yao Y.L., Wang D., Ma H.T., Gou P.H., Li C.Y., Wang J.L. Influence of hypothyroidism on testicular mitochondrial oxidative stress by activating the p38 mitogen-activated protein kinase and c-Jun NH2-terminal kinase signaling pathways in rats. *Hum. Exp. Toxicol.* 2019;38(1):95–105. doi: 10.1177/0960327118781927

39. Davis P. J., Leonard J. L., Lin H. Y., Leinung M., Mousa S.A. Molecular basis of nongenomic actions of thyroid hormone. *Vitam. Horm.* 2018;106:67–96. doi: 10.1016/bs.vh.2017.06.001

40. Gachkar S., Nock S., Geissler C., Oelkrug R., Johann K., Resch J., Rahman A., Arner A., Kirchner H., Mittag J. Aortic effects of thyroid hormone in male mice. *J. Mol. Endocrinol.* 2019;62(3):91–99. doi: 10.1530/JME-18-0217

41. 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;23(22):14327. doi: 10.3390/ijms232214327

42. Venditti P., Napolitano G., Fasciolo G., di Meo S. Thyroid state affects H2O2 removal by rat heart mitochondria. *Arch. Biochem. Biophys.* 2019;662:61–67. doi: 10.1016/j.abb.2018.11.025

43. Wiersinga W.M., Poppe K.G., Effraimidis G. Hyperthyroidism: aetiology, pathogenesis, diagnosis, management, complications, and prognosis. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2023;11(4):282–298. doi: 10.1016/S2213-8587(23)00005-0

44. Городецкая И.В., Гусакова Е.А. Влияние йодсодержащих гормонов щитовидной железы на центральный отдел стресс-лимитирующей системы. *Вестн. ВГМУ.* 2018;17(3):7–15. doi: 10.22263/2312-4156.2018.3.7

Gorodetskaya I.V., Gusakova E.A. The influence of iodine-containing thyroid hormones on the central part of the stress-limiting system. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2018;17(3):7–15. [In Russian]. doi: 10.22263/2312-4156.2018.3.7

45. Кореневская Н.А., Гусакова Е.А., Городецкая И.В., Евдокимова О.В. Динамика ответной реакции гипофизарно-тиреоидной системы при хроническом стрессовом воздействии у крыс с интактным и измененным тиреоидным статусом. *Вестн. ВГМУ.* 2011;10(4):21–29.

Korenevskaya N.A., Gusakova E.A., Gorodetskaya I.V., Evdokimova O.V. Dynamics of the response of the pituitary-thyroid system under chronic stress in rats with intact and altered thyroid status. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2011;10(4):21–29. [In Russian].

46. Масюк Н.Ю., Городецкая И.В. Характеристика тиреоидного статуса при изолированном и комбинированном с карциногенной диетой крайдинг-стрессе. *Вестн. ВГМУ.* 2018;17(4):48–54. doi: 10.22263/2312-4156.2018.4.48

Masyuk N.Yu., Gorodetskaya I.V. Characteristics of thyroid status under isolated and combined with a cariogenic diet crowding stress. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2018;17(4):48–54. [In Russian]. doi: 10.22263/2312-4156.2018.4.48

47. Дудко А.В. Особенности показателей физиологических систем спортсменов в природно-климатических условиях Севера. *Международный журнал прикладных наук и технологий Integral*. 2021;3(2). doi:10.24412/2658-3569-2021-10053

Dudko A.V. Features of indicators of physiological systems of athletes in the natural and climatic conditions of the North. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologii Integral = International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral*. 2021;3(2). [In Russian]. doi:10.24412/2658-3569-2021-10053

48. Овечкина Е.С., Овечкин Ф.Ю. Патология физиология человека в условиях Севера России. *Бюл. науки и практи.* 2021;7(8):185–191. doi: 10.33619/2414-2948/69/24

Ovechkina E.S., Ovechkin F.Yu. Human pathophysiology in the conditions of the Russian North. *Byulleten' nauki i praktiki = Bulletin of Science and Practice*. 2021;7(8):185–191. [In Russian]. doi: 10.33619/2414-2948/69/24

49. Горенко И.Н., Типисова Е.В., Попкова В.А., Елфимова А.Э. Соотношение гормонов гипофизарно-тиреоидной системы, дофамина и цАМФ у жителей Европейского и Азиатского Севера. *Ж. мед.-биол. исслед.* 2019;7(2):140–150. doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.140

Gorenko I.N., Tipisova E.V., Popkova V.A., Elfimova A.E. The ratio of hormones of the pituitary-thyroid system, dopamine and cAMP in residents of the European and Asian North. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2019;7(2):140–150. [In Russian]. doi: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.2.140

50. Попкова В.А. Кинетика тиреоидных гормонов у работников целлюлозно-бумажной промышленности и контрольной группы мужчин г. Архангельска в зависимости от года исследования. *Ж. мед.-биол. исслед.* 2020;8(3):241–249. doi: 10.37482/2687-1491-Z015

Popkova V.A. Kinetics of thyroid hormones in pulp and paper industry workers and a control group of men in Arkhangelsk, depending on the year of study. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2020;8(3):241–249. [In Russian]. doi: 10.37482/2687-1491-Z015

51. Алексеева С.Н., Антипина У.Д., Слепцова А.В., Портнягина А.П. Анализ гормонального статуса жителей Республики Саха (Якутия) на примере Таттинского и Верхоянского районов. *Вестн. СВФУ. Сер.: Мед. науки*. 2021;(4):7–14.

Alekseeva S.N., Antipina U.D., Sleptsova A.V., Portnyagina A.P. Analysis of the hormonal status of residents of the Republic of Sakha (Yakutia) using the example of the Tattinsky and Verkhoyansk districts. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni Maksima Kirovicha Ammosova. Seriya: Meditsinskiye nauki = Vestnik of North-Eastern Federal University. Series: Medical Sciences*. 2021;(4):7–14. [In Russian]. doi: 10.25587/SVFU.2021.25.4.001

52. Наумова А.Р., Платонова З.Н. Психологические факторы заболевания гипотиреозом у жителей Республики Саха (Якутия). *Вестн. СВФУ. Сер.: Педагогика. Психология. Философия*. 2020;(2):36–43.

Naumova A.R., Platonova Z.N. Psychological factors of hypothyroidism in residents of the Republic of Sakha (Yakutia). *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni Maksima Kirovicha Ammosova. Seriya: Pedagogika. Psikhologiya. Filosofiya = Vestnik of North-Eastern Federal University. Series: Pedagogy. Psychology. Philosophy*. 2020;(2):36–43. [In Russian].

53. Демин Д.Б. Эффекты тиреоидных гормонов в развитии нервной системы (обзор). *Ж. мед.-биол. исслед.* 2018;6(2):115–127. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.2.115

Demin D.B. Effects of thyroid hormones in the development of the nervous system (review). *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2018;6(2):115–127. [In Russian]. doi: 10.17238/issn2542-1298.2018.6.2.115

54. 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. *Turkish Journal of Endocrinology and Metabolism*. 2021;25:279–287. doi: 10.25179/tjem.2021-82919

55. Hughes K., Eastman C. Thyroid disease: Long-term management of hyperthyroidism and hypothyroidism. *Aust. J. Gen. Pract.* 2021;50(1-2):36–42. doi: 10.31128/AJGP-09-20-5653

56. Teixeira R.B., Zimmer A., Guerra Godoy A.E., de Castro A.L., Campos-Carraro C., Belló-Klein A., da Rosa Araujo A.S. Thyroid hormone treatment improved the response to maximum exercise test and preserved the ventricular geometry in myocardial infarcted rats. *Exp. Physiol.* 2020;105(9):1561–1570. doi: 10.1113/EP088614

57. Luo G., Li Y., Yao C., Li M., Li J., Zhang X. Prevalence of overweight and obesity in patients with major depressive disorder with anxiety: Mediating role of thyroid hormones and metabolic parameters. *J. Affect. Disord.* 2023;335(1):298–304. doi: 10.1016/j.jad.2023.05.008

58. Городецкая И.В., Гусакова Е.А., Евдокимова О.В. Периферические механизмы стресс-протекторного эффекта йодсодержащих гормонов щитовидной железы. *Вестн. ВГМУ*. 2016;15(6):41–53. doi: 10.22263/2312-4156.2016.6.41

Gorodetskaya I.V., Gusakova E.A., Evdokimova O.V. Peripheral mechanisms of the stress-protective effect of iodine-containing thyroid hormones. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Medical University*. 2016;15(6):41–53. [In Russian]. doi: 10.22263/2312-4156.2016.6.41

59. Гусакова Е.А., Городецкая И.В. Влияние стресса «дефицита времени» на тиреоидный статус и показатели стресс-реакции. *Ж. Гродненск. гос. мед. ун-та*. 2019;17(1):45–49. doi: 10.25298/2221-8785-2019-17-1-45-49
- Gusakova E.A., Gorodetskaya I.V. The influence of “time shortage” stress on thyroid status and stress response indicators. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University*. 2019;17(1):45–49. [In Russian]. doi: 10.25298/2221-8785-2019-17-1-45-49
60. Гусакова Е.А., Городецкая И.В. Йодсодержащие тиреоидные гормоны ограничивают повреждение слизистой оболочки желудка при стрессе. *Гепатология и гастроэнтерология*. 2019;3(1):71–76. doi: 10.25298/2616-5546-2019-3-1-71-76
- Gusakova E.A., Gorodetskaya I.V. Iodine-containing thyroid hormones limit damage to the gastric mucosa during stress. *Gepatologiya i gastroenterologiya = Hepatology and Gastroenterology*. 2019;3(1):71–76. [In Russian]. doi: 10.25298/2616-5546-2019-3-1-71-76
61. Gałazka J. The potential usage of thyroid hormones as sport doping - a mini-review. *Quality in sport*. 2022;8(3):61–65. doi: 10.12775/QS.2022.08.03.007
62. Bekkering G.E., Agoritsas T., Lytvyn L., Heen A.F., Feller M., Moutzouri E., Abdulazeem H., Aertgeerts B., Beecher D., Brito J.P., ... Vermandere M. Thyroid hormones treatment for subclinical hypothyroidism: a clinical practice guideline. *BMJ*. 2019;365:l2006. doi: 10.1136/bmj.l2006
63. Far B.F., Broomand N., Gharedaghi H., Sahrai H., Mahmoudvand G., Karimi Rouzbahani A. Is beta-carotene consumption associated with thyroid hormone levels? *Front. Endocrinol. (Lausanne)*. 2023;14:1089315. doi: 10.3389/fendo.2023.1089315
64. Stott D.J., Rodondi N., Kearney P.M., Ford I., Westendorp R.G.J., Mooijaart S.P., Sattar N., Aubert C.E., Aujesky D., Bauer D.C., ... Gussekloo J. Thyroid hormone therapy for older adults with subclinical hypothyroidism. *N. Engl. J. Med.* 2017;376(26):2534–2544. doi: 10.1056/NEJMoa1603825
65. Ettleson M.D., Bianco A.C. Individualized therapy for hypothyroidism: is T4 enough for everyone? *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 2020;105(9):e3090–3104. doi: 10.1210/clinem/dgaa430
66. Napolitano G., Fasciolo G., di Meo S., Venditti P. Vitamin E supplementation and mitochondria in experimental and functional hyperthyroidism: a mini-review. *Nutrients*. 2019;11(12):2900. doi: 10.3390/nu1122900
67. Майорова А.А., Сухов В.А. Изучение влияния элементного статуса территории проживания и внешнего облучения на заболеваемость раком щитовидной железы. *Фундаментальные и прикладные исследования по приоритетным направлениям биоэкологии и биотехнологии: сб. тр. V Всерос. конф., 20 мая 2022 г., Ульяновск. 2022. С. 166–169.*
- Mayorova A.A., Sukhov V.A. Study of the influence of the elemental status of the territory of residence and external exposure on the incidence of thyroid cancer. *Fundamental and applied research in priority areas of bioecology and biotechnology: proc. conf., May 20, 2022, Ulyanovsk. 2022. P. 166–169.* [In Russian].
68. Yang Y., Zhang J., Wu G., Sun J., Wang Y., Guo H., Shi Y., Cheng X., Tang X., Le G. Dietary methionine restriction regulated energy and protein homeostasis by improving thyroid function in high fat diet mice. *Food Funct.* 2018;9(7):3718–3731. doi: 10.1039/c8fo00685g
69. Демидова Т.Ю., Скуридина Д.В., Кочина А.С. Влияние физической активности на пролактин и гормоны щитовидной железы. *Академия медицины и спорта*. 2021;2(3):25–29. doi: 10.15829/2712-7567-2021-34
- Demidova T.Yu., Skuridina D.V., Kochina A.S. The effect of physical activity on prolactin and thyroid hormones. *Akademiya meditsiny i sporta = Academy of Medicine and Sports*. 2021;2(3):25–29. [In Russian]. doi: 10.15829/2712-7567-2021-34
70. Marschner R.A., Banda P., Wajner S.M., Markoski M.M., Schaun M., Lehnen A.M. Short-term exercise training improves cardiac function associated to a better antioxidant response and lower type 3 iodothyronine deiodinase activity after myocardial infarction. *PLoS One*. 2019;14(9):e0222334. doi: 10.1371/journal.pone.0222334

Сведения об авторах:

Шатыр Юлия Александровна, к.б.н., ORCID: 0000-0001-9279-5282, e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Назаров Никита Олегович, к.м.н., ORCID: 0000-0002-0668-4664, e-mail: naznik@gmail.com

Глушаков Руслан Иванович, д.м.н., ORCID: 0000-0002-0161-5977, e-mail: glushakoffruslan@yandex.ru

Information about the authors:

Yulia A. Shatyr, candidate of biological sciences, ORCID: 0000-0001-9279-5282, e-mail: yuliashatyr@gmail.com

Nikita O. Nazarov, candidate of medical sciences, ORCID: 0000-0002-0668-4664, e-mail: naznik@gmail.com

Ruslan I. Glushakov, doctor of medical sciences, ORCID: 0000-0002-0161-5977, e-mail: glushakoffruslan@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.10.2023

Принята к публикации 22.01.2024

Received 13.10.2023

Accepted 22.01.2024