

Обзорная статья

УДК 612.275.1:613.12:616-001.12: 616-001.18: 616-092.12

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71182>

ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ДЕЗАДАПТАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГОРЬЯ И ПОЛЯРНЫХ ЗОН

А.Е. Ким¹, Е.Б. Шустов², А.В. Лемещенко¹, В.Н. Цыган¹¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова МО РФ, Санкт-Петербург, Россия² Научно-клинический центр токсикологии имени академика С.Н. Голикова ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия

Резюме. Рассматриваются патофизиологические особенности формирования дезадаптаций в горно-холодовых условиях как проявление синдрома взаимного отягощения. Методической базой исследования стал контент-анализ, проводимый по широкому кругу литературных источников, характеризующих переносимость человеком воздействия комплекса факторов высокогорья и полярных зон. Установлено, что при одновременном воздействии гипоксии и гипотермии значимыми с патофизиологической точки зрения будут пересекающиеся звенья терминологических «троп», зачастую имеющих диаметрально противоположную динамику изменений характеризуемых понятий. Так, в терминологической митохондриальной «тропе» энергетического обмена присутствует экспрессия разобщающих белков, которая для повышения переносимости гипотермии должна активизироваться и переключить энергетический обмен на преимущественную утилизацию жирных кислот, а в условиях гипоксии — наоборот, угнетаться для поддержания доступного клеткам уровня аденозинтрифосфорной кислоты. В терминологической «тропе» компенсаторных реакций в ответ на гипоксемию присутствует объем легочной вентиляции, который для улучшения переносимости гипоксии должен нарастать, что в условиях горно-холодового воздействия ведет к усилению теплопотерь и ухудшению переносимости низких температур. Выявлено, что между факторами гипоксии и гипотермии может формироваться синергичное взаимодействие, проявляющееся развитием синдрома взаимного отягощения, проявлением которого будет существенное снижение функциональных возможностей организма и, как итог, — работоспособности. Показано, что горно-холодовая дезадаптация с максимальной вероятностью будет проявляться нарушениями со стороны центральной нервной системы, снижением физической работоспособности и истощением функциональных и регуляторных резервов организма, функциональной иммунной недостаточностью, снижением регенераторного потенциала, развитием синдрома эндогенной интоксикации. С высокой степенью вероятности может быть выявлено значимое синергичное взаимодействие гипоксии и гипотермии в отношении показателей легочной вентиляции, газов крови (гиперкапния), кислотно-основного равновесия (газовый алкалоз, лактацидоз), частоты сердечных сокращений (тахикардия), артериального давления (гипотония), центрального венозного давления (повышение), вязкости крови (повышение) и ее свертываемости (гиперкоагуляция), процессов перекисного и свободнорадикального окисления (активация), катаболизма белков (усиление). Указанные изменения будут негативно влиять на функциональное состояние специалистов, выполняющих сложные профессиональные задачи в условиях полярных широт.

Ключевые слова: гипоксия; гипотермия; Арктика; горно-холодовая дезадаптация; коморбидность; синдром полярного напряжения; функциональное состояние.

Как цитировать:

Ким А.Е., Шустов Е.Б., Лемещенко А.В., Цыган В.Н. Патофизиологические основы формирования дезадаптаций в условиях высокогорья и полярных зон // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 3. С. 215–222. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71182>

Overview article

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71182>

PATHOPHYSIOLOGICAL BASES OF MALADJUSTMENT FORMATION IN HIGH MOUNTAINS AND POLAR ZONES

A.E. Kim¹, E.B. Shustov², A.V. Lemeshchenko¹, V.N. Tsygan¹¹ Military Medical Academy named after CM. Kirov Ministry of Defense of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia² Scientific and Clinical Center of Toxicology named after acad. S.N. Golikov FMBA of Russia, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT: The pathophysiological features of the development of maladjustment under mountain-cold conditions as a manifestation of the syndrome of mutual burdening are considered. In this study, contents of various literary sources, characterizing a person's resistance to the effects of a complex of factors under high mountains and polar zones conditions, were analyzed. With the simultaneous exposure to hypoxia and hypothermia from a pathophysiological point of view, intersecting links of terminological "paths," often having diametrically opposite dynamics of changes in the characterized concepts, will be significant. Thus, in the terminological mitochondrial "pathway" of energy metabolism, uncoupling proteins are present, which, to increase the resistance to hypothermia, should be activated to switch the energy metabolism to predominantly use fatty acids. However, hypoxic conditions should be suppressed to maintain the level of adenosine triphosphate acid available for cells. In the terminological tract of compensatory reactions in response to hypoxemia, the volume of pulmonary ventilation is released, which must increase to improve tolerance to hypoxia, which, under mountain-cold conditions, increased heat loss and promote the deterioration of the condition, i.e., tolerance to low temperatures. Under hypoxic and hypothermic conditions, a synergistic interaction can form, which can be manifested by the development of a syndrome of mutual burdening, which will result in a significant decrease in the functional capabilities of the body, result, and productivity. Maladjustment to mountain cold, with maximum probability, will manifest as disorders of the central nervous system, decreased physical performance, depletion of the functional and regulatory reserves of the body, functional immunodeficiency, decreased regenerative potential, and development of endogenous intoxication. With a high degree of probability, a significant synergistic interaction of hypoxia and hypothermia can be found in relation to the indicators of pulmonary ventilation, blood gases (hypercapnia), acid-base balance (gas alkalosis and lactic acidosis), heart rate (tachycardia), blood pressure (hypotension), central venous pressure (increase), blood viscosity (increase) and its coagulability (hypercoagulation), peroxide and free radical oxidation (activation), and protein catabolism (increase). These changes will negatively affect the functional state of specialists performing complex professional tasks in polar latitudes.

Keywords: hypoxia; hypothermia; Arctic; mountain-cold maladjustment; comorbidity; polar tension syndrome; functional state.

To cite this article:

Kim AE, Shustov EB, Lemeshchenko AV, Tsygan VN. Pathophysiological bases of maladjustment formation in high mountains and polar zones. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(3):215–222. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma71182>

ВВЕДЕНИЕ

В связи с активным освоением районов Арктического региона и развитием исследований в Антарктиде человек все чаще стал подвергаться выраженному охлаждающему действию внешней среды. Воздействие низких температур, как острое, так и хроническое, несмотря на совершенствование снаряжения, становится главным спутником человека при работах, связанных с промышленным освоением арктического побережья, работе на шельфовых площадках добычи полезных ископаемых, проводке судов по северному морскому пути. Даже легкая степень гипотермии сопровождается резким снижением как физической, так и операторской работоспособности, снижает возможности человека по качественному выполнению задач профессиональной деятельности [1]. Связанная с необходимостью повышения теплопродукции интенсификация обменных процессов ведет к увеличению потребления кислорода в 2,5 раза даже при кратковременном воздействии холодового фактора. Так, уровень суточных энергозатрат у людей, занятых одной и той же физической работой, в Арктике на 15–30% выше, чем в условиях умеренного климата.

К категории дезадаптационных состояний, сопряженных с воздействием охлаждающего микроклимата, могут быть отнесены синдромы общего переохлаждения и «полярного напряжения» [2–4]. В патогенезе общего переохлаждения на ранних стадиях процесса существенную роль играет этиологический фактор — охлаждающее воздействие внешней среды, он находится вне организма, воздействуя на него опосредованно, через рецепторные поля кожи и слизистых оболочек, формируя при этом типичную картину стрессовой активации центральной нервной системы (ЦНС), вегетативной и эндокринной регуляции, перестраивая при этом тепловые потоки, связанные с кровоснабжением тканей, для снижения теплопотерь. Со временем, при непрекращающемся внешнем холодовом воздействии и снижении температуры отдельных участков и ядра тела, присоединяется «внутренний» этиологический фактор — гипотермия организма, формирующая вторичные нарушения в функционировании органов и тканей. Именно снижение температуры крови и внутренних органов во многом определяет дальнейшее течение клинической картины охлаждения и является одним из основных звеньев в патогенезе переохлаждения.

Хроническое охлаждение ведет к длительному стрессовому напряжению механизмов терморегуляции и рассогласованию вегетативной регуляции при развитии холодового дезадаптационного синдрома [5, 6].

Для поддержания постоянной температуры ядра тела организм использует два механизма — ограничение теплоотдачи и усиление теплопродукции [7, 8]. Ограничение теплоотдачи обеспечивается периферической

вазоконстрикцией, максимально выраженной на уровне кожного покрова, и внутримышечной вазодилатацией, степень которой зависит от локализации охлаждения [9]. Увеличение производства тепла в ответ на действие низких температур может протекать как посредством мышечного термогенеза (холодовая дрожь, при которой энергия не используется для выполнения физической работы), а также путем химического термогенеза. Активация химического термогенеза осуществляется экспрессией в бурой жировой клетчатке и скелетных мышцах специализированных белков — разобщителей окислительного фосфорилирования, она не предотвращает развития охлаждения, а рассматривается как «аварийный» способ защиты от холода [9, 10].

Особое место в ряду дезадаптационных состояний, сопряженных с длительным воздействием условий низких температур, занимает синдром полярного напряжения — специфическая форма хронического психоэмоционального напряжения, характеризующаяся глубокими нарушениями энергетических механизмов жизнедеятельности на клеточном уровне [12]. Проявляется симптомами астенизации, «полярной» одышкой, нарушениями биоритмологической организации физиологических функций, различными формами бессонницы или патологической сонливости, повышенной утомляемостью, развитием тревожно-депрессивных состояний. Синдром связан с комплексом физических (в особенности гелиомагнитных), биологических, психофизиологических, экологических и социально-психологических факторов. Основными механизмами формирования синдрома полярного напряжения, по данным ряда авторов [3, 11–14], являются:

- 1) истощение субстратов антиоксидантной защиты и снижение активности ее ферментативного звена, приводящие к избыточной активации процессов перекисного окисления липидов, нарушение целостности и функциональной активности внутриклеточных мембран;
- 2) снижение мощности детоксикационных и выделительных процессов, направленных на удаление продуктов распада поврежденных тканей или недоокисленных субстратов метаболизма;
- 3) расстройства общего метаболизма, северная полярная тканевая гипоксия;
- 4) функциональная иммунная недостаточность, угнетение неспецифического иммунитета, гипореактивность Т-системы иммунитета;
- 5) расстройства эндокринной регуляции, связанные с гипофункцией гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, щитовидной и поджелудочной желез, половых органов;
- 6) регенераторно-пластическая недостаточность, значительное снижение биосинтетических процессов в клетках, что может проявляться различными дистрофическими процессами в миокарде, печени, почках, других органах;

Таблица 1. Литературные источники, включенные в контент-анализ**Table 1.** Literary sources included in the content analysis

Источник	Горная гипоксия	Гипотермия	Горно-холодовая дезадаптация
Монографии	53	18	16
Диссертации	25	7	1
Статьи в научных журналах	33	10	6

7) нарушения электромагнитного гомеостаза;

8) нарастание функциональной межполушарной асимметрии;

9) десинхроноз;

10) психоэмоциональное напряжение;

11) метеопатии.

Эти звенья патогенеза могут проявляться как по отдельности, так и вместе, определяя индивидуальную картину развития синдрома полярного напряжения.

Выраженная гипотермия всегда сопровождается кислородным голоданием тканей, в формировании которого присутствуют элементы респираторной, циркуляторной и гемической гипоксии, в связи с чем возникает научная задача определения роли гипоксии в формировании нарушений здоровья, типичных для высокоширотных регионов. С этой целью могут быть использованы различные методические подходы, включая контент-анализ с построением графов связей между проявлениями и механизмами гипоксических и холодных поражений. Особая значимость взаимодействия между этими факторами проявляется в процессе их одновременного воздействия на человека, например, в горах зимой, на высокогорных антарктических станциях, при нахождении людей в обедненной кислородом среде при воздействии низких температур.

Цель исследования — выявление патофизиологических особенностей формирования дезадаптаций в горно-холодовых условиях как проявления синдрома взаимного отягощения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методической базой исследования стал контент-анализ, проводимый по широкому кругу литературных источников, характеризующих переносимость человеком воздействия комплекса факторов высокогорья и полярных зон. Суть контент-анализа заключается в выявлении ключевых понятий, терминов, характеристик в опубликованных научных текстах, оценке взаимосвязей их между собой, механизмов возможного взаимодействия и его последствий [15, 16]. Сформированные смысловые карты по каждому из неблагоприятных воздействующих факторов были объединены по принципу общего звена, что позволило далее анализировать их смысловые взаимосвязи.

Исходные научные источники, включенные в процедуру контент-анализа, представлены в табл. 1.

Анализ распределения времени выхода монографий показывает, что подавляющее число их приходится на периоды 1960–1980 и 1981–2000 гг. (40 и 34% соответственно), причем они примерно в разной пропорции затрагивают действие анализируемых факторов по отдельности. На период до 1960 г. приходится 9% монографий, 2001–2015 гг. — 11%, на период после 2015 г. — 6%, причем в них появляются специфические разделы, посвященные одновременному воздействию на человека как гипоксии, так и гипотермии. Среди последних наиболее значимых монографий в контент-анализ были включены монография Л.Д. Лукьяновой [18] и цикл монографий В.С. Новикова и др. [3, 6, 18].

Из вошедших в аналитический массив диссертационных работ 57% составили диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских или биологических наук. К работам последних лет относится диссертационное исследование [20].

Включенные в контент-анализ статьи представлены как русскоязычными (60%), так и иностранными (40) публикациями. Для русскоязычных публикаций был характерен период с 1981 по 2000 г. (29%) и 2001–2015 гг. (46%), за последние 5 лет отмечено 5% отобранных для контент-анализа публикаций. Для иностранных публикаций максимум публикаций отмечен для диапазона 1961–1980 г. (40%), причем публикаций, направленных на изучение эффектов или механизмов одновременного воздействия гипоксии и гипотермии, выявлено не было. Основная масса статей (44%) была опубликована в профильных журналах физиологического профиля («Физиологический журнал СССР», «Физиология человека», «Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова», «Авиакосмическая и экологическая медицина», «Бюллетень экспериментальной медицины», Journal of Applied Physiology, Federation Proceedings, Journal of Physiology Proceedings, American Journal of Physiology, Japan Journal of Physiology, Canadian Journal of Biochemistry and Physiology, Aerospace Medicine и др.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Смысловые карты, подготовленные в ходе контент-анализа понятий «гипоксия» и «гипотермия», позволили сформировать несколько терминологических «областей» и «троп». Под терминологической «областью» понимается совокупность терминов и понятий, характеризующих значимую самостоятельную общность черт исследуемого

понятия. Так, например, в смысловой карте понятия «гипоксия» такой терминологической «областью» может считаться группа терминов, характеризующих газообмен кислорода и углекислого газа (гипоксическая гипоксия, гипобарическая гипоксия, гемическая гипоксия, геморагическая гипоксия, респираторная гипоксия, циркуляторная гипоксия, гипоксемия, гиперкапния, гипокапния, метаболический ацидоз, респираторный алкалоз; парциальное давление кислорода или углекислого газа во вдыхаемом воздухе, альвеолярном пространстве, артериальной крови, капиллярном русле, венозной крови; альвеолярно-капиллярный барьер, гистогематический барьер; диссоциация оксигемоглобина, кривая диссоциации оксигемоглобина, диффузия кислорода в ткани, диффузия углекислого газа, растворение газов в крови, гемоглобин и его модификации, эритроцит и его структура, ретикулоцит, эритробласт и др.). Другими значимыми терминологическими «областями» при контент-анализе понятия «гипоксия» являются компенсаторно-приспособительные реакции (гипервентиляция, гипоксическая тахикардия, гиперциркуляция, перестройка микроциркуляторного русла, сдвиг кривой диссоциации оксигемоглобина, усиление эритропоеза, гипоксия-индуцибельный фактор, экспрессия генов, адаптация, акклиматизация, прекодиционирование и др.), митохондрии и энергетический обмен (анаэробный гликолиз, окислительное фосфорилирование, цикл трикарбоновых кислот, митохондрии, митохондриальные мембраны, транспорт электронов, транспорт протонов, цитохром-сидаза, убихинон, мультиферментные комплексы окисления, коферменты, субстраты, митохондриальные переносчики и др.), а также область дезадаптации и горной патологии (острая горная болезнь, горная эйфория, высокогорный отек легких, высокогорный отек мозга, хроническая горная болезнь, андская болезнь, средства профилактики, антигипоксанты и др.).

Под терминологической «тропой» при контент-анализе понимается логически последовательная цепочка терминов и уточняющих смысловых характеристик, приводящей к ключевой для понимания информации. Именно терминологические «тропы» представляют особый интерес с точки зрения патофизиологии, поскольку они отражают уровень проработки патогенеза того или иного патологического процесса или состояния организма, возможных механизмов саногенеза, определяющих эффективность подходов к профилактике, лечению и реабилитации. В качестве примера терминологической тропы приведем группу понятий, характеризующих теплопродукцию при гипотермии — холодовой стресс, активация гипоталамических ядер, высвобождение тиреотропин-релизинг-гормона, выброс тиреотропного гормона, повышение активности щитовидной железы, повышение уровня трийодтиронина в крови, бурая жировая ткань, разобщающие белки — термогенины, экспрессия генов разобщающих

белков, транспорт протонов на внутренней мембране митохондрий, скорость генерации аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ), коэффициент полезного действия окислительного фосфорилирования, рассеивание энергии химических связей при окислении в виде тепла.

При одновременном воздействии гипоксии и гипотермии значимыми с патофизиологической точки зрения будут пересекающиеся звенья терминологических «троп», зачастую имеющих диаметрально противоположную динамику изменений характеризуемых понятий. Так, в терминологической митохондриальной «тропе» энергетического обмена присутствует экспрессия разобщающих белков, которая для повышения переносимости гипотермии должна активизироваться и переключить энергетический обмен на преимущественную утилизацию жирных кислот, а в условиях гипоксии, наоборот, угнетаться для поддержания доступного клеткам уровня АТФ. В терминологической «тропе» компенсаторных реакций в ответ на гипоксемию присутствует объем легочной вентиляции, который для улучшения переносимости гипоксии должен нарастать, что в условиях горно-холодового воздействия ведет к усилению теплопотерь и ухудшению переносимости низких температур.

В результате исследований, выполненных в Арктическом регионе и на антарктических станциях установлено, что на человека оказывает существенное влияние весь комплекс природных и социальных факторов, а не какой-либо отдельный, пусть даже и физиологически значимый, вызывая повышенное напряжение всех регуляторных систем организма, при этом полной адаптации к годичному пребыванию человека в Антарктиде не наступает [6, 8, 9, 20]. В течение зимовки у членов полярных экспедиций происходят изменения физиологических и биохимических показателей, свидетельствующие о снижении функциональных резервов и защитных свойств организма. Практически в течение всего периода пребывания человека в условиях полярных регионов повышено содержание адренокортикотропного гормона и катехоламинов, что отражает высокий уровень стрессогенности условий. В сыворотке крови снижается содержание кальция. В ряде случаев в организме обнаруживается явный дефицит не только витаминов группы В, но и витамина С. Отмечается дефицит основных микроэлементов, требующий специальной нутритивной коррекции.

Главным патогенетическим звеном при кислородном голодании тканей является дефицит энергии в клетках. Основным источником энергии на короткое время становится анаэробный гликолиз. Необходимо учитывать, что и в условиях гипоксии, и в условиях гипотермии доставка кислорода в организм зависит от разнообразных условий, к которым относятся содержание кислорода во вдыхаемом воздухе, объем вентиляции альвеол, условия диффузии кислорода через стенку альвеол и их кровоснабжения, скорость сатурации гемоглобина крови

кислородом, формы кривой диссоциации оксигемоглобина, скорость потока эритроцитов в микроциркуляторном русле (МЦР), плотности сети МЦР, величины коэффициента диффузии и тесно связанного с ним коэффициента растворимости кислорода в данной ткани, скорости потребления кислорода данной тканью (клеткой). Изменение или нарушение любых из этих условий или их комбинаций может

вызвать недостаток кислорода в тканях и стать причиной энергетической недостаточности [22].

Объединение показателей гипоксического и холодового воздействия, а также терминологических «троп» в смежных между этими категориями областях выявляет высокую вероятность развития синдрома взаимного отягощения, под которым понимают усиление (утяжеление)

Таблица 2. Показатели состояния организма в условиях горно-холодовой дезадаптации, способствующие развитию синдрома взаимного отягощения

Table 2. Indicators of the state of the body in conditions of mountain-cold maladjustment, contributing to the development of the syndrome of mutual burdening

Показатель	Значимость показателя в оценке динамики состояния		Вероятность развития синдрома отягощения при одновременном воздействии
	умеренная гипоксия	гипотермия	
Потребность в кислороде	++	+++	максимальная
Гипоксемия	++	++	высокая
Гипоксия тканей	++	+++	высокая
Преобладание в ЦНС процессов возбуждения	++	фазная	сомнительная
Преобладание симпатического отдела ВНС	+	+++	высокая
Синдром полиэндокринной недостаточности	++	+++	высокая
Истощение гормонов коры надпочечников	++	+++	высокая
Повышение активности щитовидной железы	++	+++	высокая
Гипервентиляция, гипокапния, газовый алкалоз	+++	Гиповентиляция, гиперкапния, газовый ацидоз	отсутствует
Распад гликогена в тканях	+++	++	высокая
Основной источник энергии	гликолиз	Липолиз, окисление жирных кислот	сомнительная
Снижение объема циркулирующей плазмы	++	+++	высокая
Повышение вязкости крови	++	+++	высокая
Повышение свертываемости крови	+	++	умеренная
Нарушения микроциркуляции	++	+++	высокая
Нарушения тканевого дыхания, энергопродукции	+++	+++	высокая
Активация свободнорадикального перекисного окисления липидов (СПОЛ)	+++	+++	высокая
Накопление свободных радикалов	+++	+++	высокая
Лактацидоз	+++	++	высокая
Нарушение детоксикации, синдром эндогенной интоксикации	++	+++	высокая
Повышение давления в легочной артерии	+++	+	низкая
Повышение центрального венозного давления (ЦВД)	++	+	сомнительная
Повышение частоты сердечных сокращений	++	фазное	высокая
Сердечная недостаточность	+++	+++	высокая
Сосудистая недостаточность	++	+++	высокая
Одышка	++	++	высокая
Угнетение пищеварения	++	+++	высокая
Нарушение функции почек	++	+++	высокая
Функциональная недостаточность иммунитета	++	+++	высокая
Нарушения ЦНС	+++	+++	максимальная
Астения, десинхроноз	++	+++	высокая
Снижение физической работоспособности	+++	+++	максимальная
Истощение функциональных резервов	+++	+++	максимальная
Регенераторно-клеточная недостаточность	++	+++	высокая

патологического процесса при воздействии на организм двух и более поражающих факторов (табл. 2).

Синдром взаимного отягощения проявляется комплексом симптомов, свидетельствующих о более тяжелом течении каждого компонента политравмы, чем следовало бы ожидать при изолированном течении таких же поражений. Причинами формирования синдрома взаимного отягощения могут быть общие звенья патогенеза обоих патологических процессов, временная причинно-следственная связь между ними, проявление одного процесса как осложнения другого, частичный антагонизм в характерных для процессов механизмах компенсации или саногенеза [22–26].

Горно-холодовая дезадаптация с максимальной вероятностью будет проявляться высокой степенью гипоксических нарушений различного генеза, нарушениями со стороны ЦНС, снижением физической работоспособности и истощением функциональных и регуляторных резервов организма, функциональной иммунной недостаточностью, снижением регенераторного потенциала, развитием синдрома эндогенной интоксикации. С высокой степенью вероятности может быть выявлено фазное значимое синергичное взаимодействие умеренной гипоксии и гипотермии в отношении показателей микроциркуляции (нарушение) и гемоконцентрации (снижение объема циркулирующей плазмы), ЧСС (тахикардия), ЦВД (повышение), вязкости крови (повышение) и ее

свертываемости (гиперкоагуляция), СПОЛ (активация). Проявлением коморбидности в этих условиях будет также угнетение пищеварения, белок-синтетической функции печени, нарушение функции почек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ показал, что, с точки зрения возможного развития синдрома взаимного отягощения, горно-холодовая дезадаптация с максимальной вероятностью будет проявляться нарушениями со стороны ЦНС, снижением физической работоспособности и истощением функциональных и регуляторных резервов организма. С высокой степенью вероятности может быть выявлено значимое синергичное взаимодействие гипоксии и гипотермии в отношении показателей легочной вентиляции, газов крови (гиперкапния), кислотно-основного равновесия (газовый алкалоз, лактицидоз), ЧСС (тахикардия), артериального давления (гипотония), центрального венозного давления (повышение), вязкости крови (повышение) и ее свертываемости (гиперкоагуляция), процессов перекисного и свободнорадикального окисления (активация), катаболизма белков (усиление). Указанные изменения будут негативно влиять на функциональное состояние специалистов, выполняющих сложные профессиональные задачи в условиях полярных широт.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майстрах Е.В. Патологическая физиология охлаждения человека. Л.: Медицина, 1975.
2. Бартон А., Эдхолм О. Человек в условиях холода. Физиологические и патологические явления, возникающие при действии низких температур / пер. с англ. М.: Издательство иностранной литературы, 1957.
3. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. СПб.: Политехника-принт, 2018.
4. Хаскин В.В. Энергетика теплообразования и адаптация к холоду. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1975.
5. Бойко Е.Р. Физиолого-биохимические основы жизнедеятельности человека на Севере. Екатеринбург: Уральское отделение РАН, 2005.
6. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб.: Политехника-принт, 2017.
7. Fricke R. Mechanisms of human cold adaptation. Circumpolar health: Proc. of 8-th symp. Toronto. 2009. Vol. 8. P. 65–86.
8. Cooper K.E. Mechanisms of human cold adaptation. In: Circumpolar Health. University of Toronto Press, 2020. P. 37–46. DOI: 10.3138/9781487579876-008
9. Berko J., Ingram DD., Shubhayu S. Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006–2010 // Natl Health Stat Report. 2014. Vol. 30, No. 76. P. 1–15.
10. van Marken Lichtenbelt W.D., Schrauwen P. Implications of nonshivering thermogenesis for energy balance regulation in humans // Am J Physiol Integr Comp Physiol. 2011. Vol. 301, No. 2. P. 285–296. DOI: 10.1152/ajpregu.00652.2010
11. Seltnerich N. Between extremes: Health effects of heat and cold // Environ Health Perspect. 2015. Vol. 123, No. 11. P. 276–280. DOI: 10.1289/ehp.123-A275
12. Хаснулин В.И. Синдром полярного напряжения // III Казначеевские чтения. Новосибирск. 2008. С. 26–39.
13. Куликов В.Ю., Ким Е.Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск, Наука, 1987.
14. Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. Л.: Медицина, Ленинград. отд-ние, 1978. 191 с.
15. Arendt J. Biological rhythms during residence in polar regions // Chronobiol Int. 2012. Vol. 29, No. 4. P. 379–394. DOI: 10.3109/07420528.2012.668997
16. Зинченко В.П., Мещеряков Б.Г. Большой психологический словарь. 4-е изд. СПб.: Прайм-Евронанк, 2009.
17. Методологические и методические проблемы контент-анализа: Тезисы докл. Рабочего совещ. социологов. Вып. 1, 2. М., Л.: [б.и.]. 1973.
18. Лукьянова Л.Д. Сигнальные механизмы гипоксии. М.: РАН, 2019.
19. Новиков В.С., Каркищенко В.Н., Шустов Е.Б. Функциональное питание человека при экстремальных воздействиях. СПб.: Политехника-принт, 2017.
20. Бурых Э.А. Общие закономерности и индивидуальные особенности интегративного ответа организма человека на воздействие острой нормобарической гипоксии: автореф. дисс. ... доктора мед. наук. СПб.: Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М.Сеченова РАН, 2020.
21. Nishi Y., Gagge A.G. Physical indices of the cold environment // Ashrae J. 2002. Vol. 1. P. 47–51.

22. Ван Лир Э., Стикней К. *Гипоксия*. М.: Медицина, 1967.
 23. Ерюхин И.А., Шляпников С.А. Экстремальное состояние организма. Элементы теории и практические проблемы на клинической модели тяжелой сочетанной травмы. СПб.: Эскулап, 1997.
 24. Соколов В.А. Множественные и сочетанные травмы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006.

REFERENCES

- Majstrah EV. *Patologicheskaya fiziologiya ohlazhdeniya cheloveka*. Leningrad: Medicina; 1975. (In Russ.).
- Barton A, Edholm O. *Chelovek v usloviyah holoda. Fiziologicheskie i patologicheskie yavleniya, vznikayushchie pri dejstvii nizkikh temperatur*: per. s angl. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoj literatury. 1957. (In Russ.).
- Novikov VS, Soroko SI, Shustov EB. *Dezadaptacionnye sostoyaniya cheloveka pri ekstremal'nyh vozdeystviyah i ih korrekciya*. Saint Petersburg: Politehnika-prin; 2018. (In Russ.).
- Haskin VV. *Energetika teploobrazovaniya i adaptatsiya k holodu*. Novosibirsk: Nauka; Sib. otd-nie; 1975. (In Russ.).
- Bojko ER. *Fiziologo-biohimicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka na Severe*. Ekaterinburg: Ural'skoe otdelenie RAN; 2005. (In Russ.).
- Novikov VS, Soroko SI. *Fiziologicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka v ekstremal'nyh usloviyah*. Saint Petersburg: Politehnika-print; 2017. (In Russ.).
- Fricke R. Mechanisms of human cold adaptation. *Circumpolar health: Proc. of 8-th symp*. Toronto. 2009;8:65–86.
- Cooper KE. Mechanisms of human cold adaptation. *Circumpolar Health. University of Toronto Press*. 2020;37–46. DOI: 10.3138/9781487579876-008
- Berko J, Ingram DD, Shubhayu S. Deaths attributed to heat, cold, and other weather events in the United States, 2006–2010. *Natl Health Stat Report*. 2014;30(76):1–15.
- van Marken Lichtenbelt WD, Schrauwen P. Implications of nonshivering thermogenesis for energy balance regulation in humans. *Am J Physiol Integr Comp Physiol*. 2011;301(2):285–296. DOI: 10.1152/ajpregu.00652.2010
- Seltenrich N. Between extremes: Health effects of heat and cold. *Environ Health Perspect*. 2015;123(11):276–280. DOI: 10.1289/ehp.123-A275
- Hasnulin VI. *Sindrom polyarnogo napryazheniya. III Kaznacheevskie chteniya*. Novosibirsk. 2008;26–39. (In Russ.).
- Kulikov VYU, Kim EB. *Kislородnyj rezhim pri adaptatsii cheloveka na Krajnem Severe*. Novosibirsk: Nauka; 1987. (In Russ.).

ОБ АВТОРАХ

***Алексей Евгеньевич Ким**, кандидат медицинских наук; e-mail: alexpann@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4591-2997; SPIN-код: 7148-1566

Евгений Борисович Шустов, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: shustov-msk@mail.ru; SPIN-код: 9665-6670

Алексей Викторович Лемешченко, кандидат медицинских наук; e-mail: lav_1981@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6786-2332; SPIN: 8534-0822

Василий Николаевич Цыган, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: vn-t@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1199-0911; SPIN-код: 7215-6206

- Крюков Е.В. Изменения неспецифической защиты и иммунитета у военнослужащих в процессе адаптации к военной службе. *Военно-медицинский журнал*. 2003. Т. 324. № 12. С. 60–61.
- Крюков Е.В. Изменения перекисного окисления липидов и гемостаза у военнослужащих в процессе адаптации к военной службе. *Военно-медицинский журнал*. 2003. Т. 324. № 11. С. 72–73.

14. Panin LE. *Energeticheskie aspekty adaptatsii*. Leningrad: Medicina, Leningrad. otdel. 1978. 191 p. (In Russ.).

15. Arendt J. Biological rhythms during residence in polar regions. *Chronobiol. Int*. 2012;29(4):379–394. DOI: 10.3109/07420528.2012.668997

16. Zinchenko VP, Meshcheryakov BG. *Bol'shoj psihologicheskij slovar'*. 4-e izd. Saint Petersburg: Prajm-Evroznak; 2009. (In Russ.).

17. *Metodologicheskie i metodicheskie problemy kontent-analiza. Tezisy dokladov*. Vyp. 1,2. Saint Petersburg: [b.i.]; 1973. (In Russ.).

18. Luk'yanova LD. *Signal'nye mekhanizmy gipoksii*. Moscow: RAN; 2019. (In Russ.).

19. Novikov VS, Karkishchenko VN, Shustov EB. *Funkcional'noe pitanie cheloveka pri ekstremal'nyh vozdeystviyah*. Saint Petersburg: Politehnika-print; 2017. (In Russ.).

20. Buryh EA. *Obshchie zakonomernosti i individual'nye osobennosti integrativnogo otveta organizma cheloveka na vozdeystvie ostroj normobaricheskoy gipoksii: avtoref. diss. doktora med. nauk*. Saint Petersburg: Institut evolyucionnoj fiziologii i biohimii im. IM. Sechenova RAN. 2020. (In Russ.).

21. Nishi Y, Gagge AG. Physical indices of the cold environment. *Ashrae J*. 2002;1:47–51.

22. Van Lir E, Stiknej K. *Gipoksiya*. Moscow: Medicina; 1967. (In Russ.).

23. Eryuhin IA, Shlyapnikov SA. *Ekstremal'noe sostoyanie organizma. Elementy teorii i prakticheskie problemy na klinicheskoy modeli tyazheloy sochetannoy travmy*. Saint Petersburg: Eskulap; 1997. (In Russ.).

24. Sokolov VA. *Mnozhestvennyye i sochetannyye travmy*. Moscow: GEOTAR-Media; 2006. (In Russ.).

25. Kryukov E.V. Izmeneniya nespecificheskoi zaschiti i immuniteta u voennoslujaschih v processe adaptatsii k voennoi sluzbe. *Voенно-медицинский журнал*. 2003;324(12):60–61. (In Russ.).

26. Kryukov E.V. Izmeneniya perekisnogo okisleniya lipidov i gemostaza u voennoslujaschih v processe adaptatsii k voennoi sluzbe. *Voенно-медицинский журнал*. 2003;324(11):72–73. (In Russ.).

AUTHORS INFO

***Aleksey E. Kim**, candidate of medical sciences; e-mail: alexpann@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4591-2997; SPIN code: 7148-1566

Evgeniy B. Shustov, doctor of medical sciences, professor; e-mail: shustov-msk@mail.ru; SPIN code: 9665-6670

Aleksey V. Lemeshchenko, candidate of medical sciences; e-mail: lav_1981@mail.ru; ORCID: 0000-0001-6786-2332; SPIN code: 8534-0822

Vasily N. Tsygan, doctor of medical sciences, professor; e-mail: vn-t@mail.ru; ORCID: 0000-0003-1199-0911; SPIN code: 7215-6206

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author