

ОБЗОР/REVIEW

УДК: 57.087.1:613.6.02

doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-4-7-19>

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ВОЕННОСЛУЖАЩИХ ФЛОТА: АДАПТАЦИОННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ, ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ И ДРУГИХ СИСТЕМ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Н. В. Бобаков, Н. Л. Савинцев, Н. Р. Абдурахманов, В. П. Ганапольский,
Г. Г. Кутелев, М. С. Тюропов*

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

ВВЕДЕНИЕ. Служба на флоте сопряжена с экстремальными нагрузками: психоэмоциональным стрессом, изоляцией, неблагоприятными климатическими условиями (особенно в Арктике) и гипоксией. Эти факторы нарушают вегетативный баланс, провоцируют срыв адаптационных механизмов и повышают риск развития сердечно-сосудистых и цереброваскулярных патологий. Сохранение функционального состояния (ФС) личного состава — ключевая задача военно-морской медицины.

ЦЕЛЬ. Систематизировать данные о компенсаторно-приспособительных реакциях сердечно-сосудистой, дыхательной систем и церебральной гемодинамики у военнослужащих флота, а также оценить эффективность методов коррекции ФС в условиях службы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Проведен систематический анализ 48 исследований (1998–2023 гг.) из PubMed, Scopus, eLibrary.ru, Web of Science, Cochrane Library, КиберЛенинка. Использованы следующие ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: вариабельность сердечного ритма / heart rate variability (HRV), капнография / capnography, морская медицина / marine medicine, военно-морская медицина / military naval medicine, функциональное состояние / functional state, адаптация / adaptation, стресс / stress, экстремальные условия / extreme environments, моряки / sailors, военнослужащие флота / naval personnel, церебральная гемодинамика / cerebral hemodynamics, реоэнцефалография / rheoencephalography (REG), арктический рейс / arctic voyage, коррекция функционального состояния / functional state correction.

Критерии включения: оценка ФС у моряков в условиях походов; использование вариабельности сердечного ритма (BCP); капнографии (PetCO₂); реоэнцефалографии (РЭГ); данные о динамике адаптации.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Авторами отмечен ряд закономерностей в изменении показателей центральной и периферической гемодинамики, а также газового состава крови. При BCP снижение парасимпатической активности (RMSSD: с 43,1 до 27,2 мс; rPNN50: с 4,4 до 3,2 %; $p < 0,05$) и рост симпатикотонии (LF/HF: с 3,4 до 3,7 Гц; VLF: + 91 % у новобранцев) в длительных походах. В группе с коррекцией ФС (электростимуляция, БОС-тренинг) сохранен вегетативный баланс (RMSSD = 43 мс; rPNN50 = 20,3 %; $p = 0,01$). Капнография: гиперкапния (PetCO₂ > 48 мм рт. ст.) к концу 4-месячных рейсов против нормализации при 2-месячных ($p = 0,05$). Церебральная гемодинамика (РЭГ): снижение пульсового наполнения мозга на 30–40 %, замедление венозного оттока (ПВО > 30 % при норме < 20 %; $p = 0,015$). Арктические условия повышают жесткость артерий (cfPWV + 15 %; $p < 0,01$). Транскраниальная стимуляция блуждающего нерва улучшает BCP (HF + 24 %; $p = 0,03$).

ОБСУЖДЕНИЕ. На основании поисково-аналитической работы выделены перспективные предикторы дезадаптации, к которым можно отнести симпатикотонию (\uparrow LF/HF, \downarrow RMSSD) — маркер психоэмоционального стресса; гиперкапнию — следствие стресс-индуцированной гиповентиляции; цереброваскулярные нарушения (\uparrow сосудистый тонус, \downarrow РИ на РЭГ) — риск когнитивного снижения. Оптимальная длительность рейсов — < 2 мес. Эффективны методы коррекции: БОС-тренинг, неинвазивная стимуляция nVNS, комбинированные программы (когнитивно-поведенческая терапия (КПТ) + дыхательные практики).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенный анализ подтверждает, что служба на флоте, особенно в условиях длительных походов, Крайнего Севера и Арктики, представляет собой комплексный экстремальный стрессор для организма военнослужащих. Поэтому перспективным направлением является включение в комплекс обследования по отбору кандидатов мероприятий, направленных на оценку адаптационного резерва (BCP + стресс-тесты); мониторинг ФС в рейсах (BCP, PetCO₂, пульсоксиметрия); внедрение коррекционных программ: nVNS, биологическая обратная связь (БОС), КПТ. Не

менее важной является задача по активному накоплению опыта в изучении долгосрочных эффектов службы с целью разработки протоколов прогнозирования рисков.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: морская медицина, вариабельность сердечного ритма, церебральная гемодинамика, капнография, функциональное состояние, коррекция

***Для корреспонденции:** Тюрюпов Марк Сергеевич, e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

***For correspondence:** Mark S. Tyuryupov, e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

Для цитирования: Бобаков Н. В., Савинцев Н. Л., Абдурахманов Н. Р., Ганапольский В. П., Кутелев Г. Г., Тюрюпов М. С. Комплексная оценка функционального состояния организма военнослужащих флота: адаптационные возможности сердечно-сосудистой, центральной нервной и других систем в экстремальных условиях // Морская медицина. 2025. Т. 11, № 4 С. 7–19, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-4-7-19>; EDN: <https://elibrary.ru/DYJMRC>

For citation: Bobakov N. V., Savintsev N. L., Abdurakhmanov N. R., Ganapolsky V. P., Kutelev G. G., Tyuryupov M. S. Comprehensive assessment of the functional state of navy servicemen's body: adaptation capabilities of cardiovascular, central nervous and other systems in extreme conditions // Marine Medicine. 2025. Vol. 11, No. 4. P. 7–19, doi: <https://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2025-11-4-7-19>; EDN: <https://elibrary.ru/DYJMRC>

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL STATE OF NAVY SERVICEMEN'S BODY: ADAPTATION CAPABILITIES OF CARDIOVASCULAR, CENTRAL NERVOUS AND OTHER SYSTEMS IN EXTREME CONDITIONS

Nikolai V. Bobakov, Nikita L. Savintsev, Nazhmutdin R. Abdurakhmanov,

Vyacheslav P. Ganapolsky, Gennadii G. Kutelev, Mark S. Tyuryupov*

Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

INTRODUCTION. Naval service is associated with extreme stress: psycho-emotional stress, isolation, adverse climatic conditions (especially in the Arctic), and hypoxia. These factors disrupt the autonomic balance, provoke a breakdown of adaptive mechanisms, and increase the risk of developing cardiovascular and cerebrovascular pathologies. Maintaining the functional state (FS) of personnel is a key task of naval medicine.

OBJECTIVE. To systematize data on compensatory-adaptive reactions of the cardiovascular, respiratory systems and cerebral hemodynamics in naval servicemen, and also to evaluate the effectiveness of methods for correcting FS in service conditions.

MATERIALS AND METHODS. A systematic analysis of 48 studies (1998–2023) from PubMed, Scopus, eLibrary.ru, Web of Science, Cochrane Library, and CyberLeninka was conducted. The following keywords and their combinations in Russian and English were used: heart rate variability (HRV), capnography, marine medicine, military naval medicine, functional state, adaptation, stress, extreme environments, sailors, naval personnel, cerebral hemodynamics, rheoencephalography (REG), arctic voyage, functional state correction.

Inclusion criteria: assessment of FS in sailors during expeditions; use of heart rate variability (HRV); capnography (PetCO₂); rheoencephalography (REG); data on the adaptation dynamics.

RESULTS. The authors noted a number of patterns in changes in central and peripheral hemodynamic parameters, as well as blood gas composition. With HRV, a decrease in parasympathetic activity (RMSSD: from 43.1 to 27.2 ms; pNN50: from 4.4 to 3.2%; p < 0.05) and an increase in sympathetic tone (LF/HF: from 3.4 to 3.7 Hz; VLF: + 91% in recruits) during long hikes. In the group with FS correction (electrical stimulation, biofeedback training), vegetative balance was maintained (RMSSD = 43 ms; pNN50 = 20.3%; p = 0.01). Capnography: hypercapnia (PetCO₂ > 48 mmHg) by the end of 4-month cruises versus normalization at 2-month ones (p = 0.05). Cerebral hemodynamics (REG): decreased cerebral pulse filling by 30–40%, slower venous outflow (PVO > 30% with the norm < 20%; p = 0.015). Arctic conditions increase arterial stiffness (cfPWV + 15%; p < 0.01). Transcranial vagus nerve stimulation improves HRV (HF + 24%; p = 0.03).

DISCUSSION. Based on exploratory and analytical work, promising predictors of maladaptation were identified, which include sympathetic tone (↑LF/HF, ↓RMSSD) – a marker of psychoemotional stress; hypercapnia – a consequence of stress-induced hyperventilation; cerebrovascular disorders (↑vascular tone, ↓RI on REG) – the risk of cognitive decline. The optimal duration of flights is ≤ 2 months. Effective correction methods: biofeedback training, non-invasive stimulation nVNS, combined programs (cognitive behavioral therapy (CBT) + breathing practices).

CONCLUSION. The analysis confirms that naval service, especially during long-term deployments in the Far North and Arctic, poses a complex and extreme stressor for military personnel. Therefore, a promising approach is to include measures aimed at assessing adaptive capacity (HRV + stress tests) in the candidate selection screening package; monitoring physical fitness during deployments (HRV, PetCO₂, pulse oximetry); and implementing corrective programs such as nVNS, biofeedback (BFB), and cognitive behavioral therapy. Equally important is the task of actively accumulating experience in studying the long-term effects of service in order to develop risk prediction protocols.

KEYWORDS: marine medicine, maritime medicine, heart rate variability, cerebral hemodynamics, capnography, functional

state, correction

Введение. Профессиональная деятельность военнослужащих, вне зависимости от специфики географического региона или оперативных условий, сопряжена с повышенным риском возникновения заболеваний и сокращения профессионального долголетия. Особенно это актуально для Военно-Морского Флота Российской Федерации (ВМФ), где экстремальность рабочей среды экипажа во время выхода в море определяется комплексом факторов: длительной изоляцией, психоэмоциональными перегрузками, постоянной потенциальной угрозой жизни, воздействием неблагоприятных климатических условий (особенно в арктических широтах), качкой, специфическим микроклиматом корабельных помещений [1-3]. Данное сочетание может индуцировать срыв компенсаторно-приспособительных механизмов до возвращения корабля в пункт базирования, приводя к дестабилизации физиологического гомеостаза и формированию предпатологических состояний или хронических заболеваний, преимущественно кардиоваскулярной и центральной нервной систем (ЦНС) [1, 4-10].

Автономность кораблей во многом ограничена адаптивностью экипажа: условия Крайнего Севера и длительных морских походов предъявляют столь экстремальные требования к организму, что временные рамки пребывания личного состава без существенного риска утраты боево- и работоспособности существенно сокращаются [2, 11]. Ключом к сохранению как здоровья моряков, так и длительности, и безаварийности плавания является возможность оперативной адаптации к новым, зачастую агрессивным, экзогенным факторам в сжатые сроки [3, 12]. В этой связи первостепенное значение приобретает комплексная проблема оптимизации отбора кандидатов для службы в подобных условиях, основанного на оценке индивидуальных резервов резистентности организма, разработки эффективных методов динамического контроля и коррекции функционального состояния (ФС) военнослужащих в ходе несения боевой службы [13-15].

Важнейшими индикаторами адаптационного потенциала признаны параметры, отражающие активность нейровегетативной регуляции, в первую очередь реактивность сердечно-сосудистой (ССС) и дыхательной систем [16-20]. Рядом исследователей [12, 21, 22] внесен зна-

чительный вклад в понимание фундаментальных механизмов формирования устойчивости к периодическим и хроническим экстремальным воздействиям, тем не менее комплексная теория, описывающая закономерности и пределы компенсаторного ответа организма на совокупность стрессоров морской службы, а также точки приложения и оптимальные режимы проведения коррекционно-восстановительных мероприятий, остаются предметом активного научного поиска [23, 24].

Цель. Систематизировать современные научные данные, полученные в ходе исследований компенсаторно-приспособительных реакций сердечно-сосудистой, дыхательной систем и церебральной гемодинамики у военнослужащих, проходящих службу на флоте, с акцентом на динамику функционального состояния в различных условиях несения службы (длительность походов, климатогеографические зоны, применение коррекционных мероприятий), и предложить пути внедрения результатов релевантных исследований в систему медико-физиологического обеспечения профессиональной деятельности экипажей.

Материалы и методы. Для достижения поставленной цели был проведен систематический анализ научной литературы на глубину 25 лет (1998–2023). Поиск релевантных публикаций осуществляли в международных (PubMed, Scopus, Web of Science, Cochrane Library) и российских (eLibrary.ru, КиберЛенинка) базах данных. Использовали следующие ключевые слова и их комбинации на русском и английском языках: вариабельность сердечного ритма / heart rate variability (HRV), карнография / carnography, морская медицина / marine medicine, военно-морская медицина / military naval medicine, функциональное состояние / functional state, адаптация / adaptation, стресс / stress, экстремальные условия / extreme environments, моряки / sailors, военнослужащие флота / naval personnel, церебральная гемодинамика / cerebral hemodynamics, реоэнцефалография / rheoencephalography (REG), арктический рейс / arctic voyage, коррекция функционального состояния / functional state correction.

Критерии включения: сравнительные исследования (когортные, случай-контроль, интервенционные), обзоры, мета-анализы; предмет исследования – оценка функционального состо-

яния (ФС), сердечно-сосудистой (ССС) и дыхательной системы, церебральной гемодинамики у военнослужащих ВМФ в условиях службы; наличие количественных данных; публикация в рецензируемых журналах.

Критерии невключения: исследования на животных, дублирующие публикации, статьи без полнотекстового доступа, публикации с методологическими недостатками, нерелевантные исследования, статьи, написанные на языке, отличном от английского и русского.

Первичный поиск выявил 8270 публикаций. После анализа заголовков, аннотаций, а затем и полных текстов на соответствие критериям включения, в финальный обзор вошли 48 публикаций.

Результаты

1. Оценка сердечно-сосудистой системы и ее вклад в ФС

В настоящее время у исследователей имеется огромный арсенал методик изучения ФС.

Одной из первых ССС реагирует на изменения среды работы оператора и является наиболее чувствительным индикатором адаптационно-приспособительных реакций организма [4, 25, 26]. Еще в 1967 г. В. В. Парин выдвинул концепцию определения ССС как универсального индикатора реактивности всего организма [27].

Методы исследования ССС делятся на две большие группы: исследование гемодинамики и анализ вариабельности сердечного ритма.

Вариабельность сердечного ритма (ВСР) как ключевой маркер адаптации и стресса

Вариабельность сердечного ритма общепризнана как высоконформативный неинвазивный метод оценки вегетативной регуляции сердечной деятельности, отражающий баланс симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы, функциональные резервы и адаптационные возможности организма [16, 28, 29]. В исследованиях на флоте применяется анализ временных (геометрических) и спектральных (частотных) показателей ВСР.

Временные показатели ВСР

SDNN (мс): стандартное отклонение всех нормальных интервалов NN (кардиоинтервалов). Интегральный показатель общей вариабельности, отражающий суммарный эффект

вегетативных влияний на синусовый узел. Снижение SDNN свидетельствует о преобладании симпатического тонуса и снижении адаптационного резерва [16, 30]. В условиях морского похода наблюдается тенденция к снижению SDNN, особенно в его начале и при длительных сроках.

RMSD (мс): квадратный корень из среднего значения квадратов разностей последовательных NN-интервалов. Чувствительный индикатор парасимпатической (вагусной) активности. Высокие значения RMSD ассоциированы с лучшей способностью к восстановлению после стресса [16, 31]. У адаптированных экипажей RMSD, как правило, выше в начале похода по сравнению с новичками (44,45 мс vs 39,97 мс; $p = 0,05$) [22]. Группа, получавшая внутрипоходовую коррекцию ФС, демонстрировала сохранение RMSD на исходном уровне (43 мс) в отличие от контрольной группы (снижение) [21].

pNN50 (%): доля кардиоинтервалов, отличающихся от соседних более чем на 50 мс. Также отражает парасимпатическую активность [17]. Снижение pNN50 в динамике рейса указывает на усиление симпатикотонии и напряжение адаптации [23].

Спектральные показатели ВСР

TP (мс²): общая мощность спектра. Отражает суммарную активность нейрогуморальных влияний на ритм сердца [17, 32].

HF (мс², %): мощность в высокочастотном диапазоне (0,15–0,4 Гц). Парасимпатический компонент регуляции, связанный с дыхательными движениями (дыхательная аритмия) [16, 33]. Снижение HF – маркер стресса и напряжения адаптации.

LF (мс², %): мощность в низкочастотном диапазоне (0,04–0,15 Гц). Отражает барорефлексторную активность и считается смешанным показателем (симпатическая активность + модулирующее влияние вагуса) [17, 34]. Повышение LF часто интерпретируется как рост симпатического тонуса.

VLF (мс², %): мощность в очень низкочастотном диапазоне (0,003–0,04 Гц). Связывается с активностью симпатической нервной системы, гуморально-метаболическими влияниями (ренин-ангиотензиновая система, терморегуляция) и, возможно, эндотелиальной функцией [17, 30]. Значительное повышение VLF у новичков к концу рейса (с 56 362 до 108 063 мс²;

$p = 0,01$) при стабильном HF указывает на выраженное усиление симпатикотонии и снижение адаптационных возможностей [35].

LF/HF: соотношение мощностей LF и HF. Используется как индекс симпатовагального баланса. Повышение свидетельствует о сдвиге баланса в сторону симпатического преобладания [10, 26]. Рост LF/HF к концу длительных (4-месячных) походов (с 2,48 до 3,7 Гц; $p = 0,05$) подтверждает развитие симпатикотонии [35].

Индекс централизации (IC): $(VLF + LF) / HF$. Отражает степень централизации управления ритмом сердца. Повышение IC свидетельствует о доминировании центральных (надсегментарных) механизмов регуляции над автономными (сегментарными), что характерно для состояния стресса и напряжения адаптации [32]. Снижение IC к концу 2-месячного рейса (с 0,1875 до 0,03) по сравнению с менее выраженным снижением в 4-месячном (до 0,11) указывает на лучшую адаптацию при меньшей длительности похода [21].

Сводные показатели по ВСР у моряков указаны в таблице.

Психоэмоциональный стресс и вариабельность ритма. Работа V. P. Williams и соавт. (ВМС США) [36] продемонстрировала, что субъективно оцениваемый уровень стресса у моряков в длительном походе сильно коррелировал со снижением HF-мощности ВСР и повышением LF/HF ratio независимо от физической нагрузки. Это подчеркивает доминирующую роль психоэмоционального фактора в вегетативном дисбалансе.

Церебральная гемодинамика: влияние условий службы

Исследование А. В. Онищенко [25] с использованием реоэнцефалографии (РЭГ) выявило значимые изменения показателей мозгового кровотока у военнослужащих атомного крейсера.

Снижение объемного пульсового кровенаполнения (реографический индекс – РИ) зафиксировано во всех группах к концу исследования, но наиболее выражено в условиях дальнего плавания ($Fms = 0,55$; $Fmd = 0,57$; $Oms = 0,37$; $Omd = 0,38$; $p = 0,02$), что значительно ниже референтных значений (Fm 1,20–1,60 у.е.; Om 1,0–1,40 у.е.). Это указывает на снижение притока артериальной крови к мозгу.

Увеличение продолжительности фазы быстрого наполнения (a, сек). В море значения

достигали: $Fms = 0,21$, $Fmd = 0,18$, $Oms = 0,18$, $Omd = 0,21$ ($p < 0,02$), превышая норму (0,09–0,11 сек). Это свидетельствует о замедлении артериального притока, обусловленном повышенным тонусом мозговых сосудов, что подтверждалось анализом составляющих волны и ростом сосудистых индексов.

Изменение сосудистых индексов. Дикротический индекс (ДИК, %): повышение выше нормы ($Fm = 50–65\%$; $Om = 55–70\%$) во всех группах (например, в море $Fms = 83\%$; $Fmd = 78\%$), указывающее на увеличение периферического сопротивления мозговых сосудов. Диастолический индекс (ДИА, %): значительное повышение (например, в море $Fms = 140\%$; $Fmd = 126\%$), отражающее ухудшение венозного оттока и повышение тонуса вен.

Нарушение венозного оттока (ПВО, %)

Наиболее выраженное затруднение венозного оттока наблюдалось в группе дальнего плавания ($Fms = 32,0$; $Fmd = 30,0$; $Oms = 36,0$; $Omd = 32,0$; $p = 0,015$), где значения существенно превышали норму (< 20%). Это создает риск венозного застоя и гипоксии мозга.

Выявленные изменения РЭГ-показателей (снижение притока, повышение сосудистого тонуса и сопротивления, затруднение венозного оттока) являются характерными признаками начальных проявлений цереброваскулярной недостаточности у моряков в условиях длительных походов. Основной патогенетический механизм – нарушение нейрогенной и гуморальной регуляции сосудистого тонуса под воздействием хронического стресса и экстремальных факторов среды [36]. L. Chen и соавт. [37], использовавшие транскраниальную допплерографию (ТКД) у экипажей надводных кораблей в Южно-Китайском море, также выявили снижение средней скорости кровотока в средних мозговых артериях (СМА) и повышение пульсационного индекса (ПИ) к концу 3-месячного похода, коррелирующее с субъективными жалобами на утомляемость и головные боли, что подтверждает данные РЭГ о нарушении церебральной перфузии и повышении сосудистого сопротивления.

Влияние холодного климата Арктики на ССС

Исследование I. B. Johansen и соавт. [38] норвежских военных моряков, несущих службу в Арктике, показало, что хроническое воздей-

Таблица

Сводные показатели вариабельности сердечного ритма у моряков в различных условиях службы (на основе анализа [18, 21, 22] и обобщения данных)

Table

Summary indicators of heart rate variability among seafarers in various conditions of service (based on the analysis of [18, 21, 22] and data synthesis)

Показатель BVP	Среднее значение перед рейсом	Группа при 4-месячном плавании (конец)	Группа при 2-месячном плавании (конец)	Группа с коррекцией ФС (конец) [11]	Комментарий / Физиологическая интерпретация
RRNN (мс)	801,75	805,65	796,3	905,38	Удлинение RRNN в группе коррекции указывает на усиление парасимпатических влияний (ваготония)
SDNN (мс)	59,135	48,81 ↓	50,8 ↓	58,92	Снижение SDNN в плавающих группах – признак снижения общей вариабельности и адаптационного резерва Сохранение SDNN в группе коррекции
RMSSD (мс)	43,075	31,96 ↓	27,16 ↓	43,0	Снижение RMSSD – маркер ослабления парасимпатического тонуса Стабильность RMSSD в группе коррекции
pNN50 (%)	4,445	3,16 ↓	3,41 ↓	20,27 ↑	Резкое снижение pNN50 в плавающих группах – усиление симпатикотонии Значительный рост pNN50 в группе коррекции – эффективность мер
IC	0,1875	0,11 ↓	0,03 ↓	-	Снижение IC – уменьшение централизации управления ритмом Более выражено при 2-месячной адаптации
VLF (%)	96,12	95,94	97,32	-	Высокие значения VLF характерны для длительных воздействий
LF (%)	2,9	2,82	2,11 ↓	-	Снижение LF (%) может указывать на изменение спектрального баланса при адаптации/напряжении
HF (%)	1,62	1,25 ↓	0,57 ↓	-	Снижение HF (%) – маркер ослабления парасимпатической активности и стресса
LF/HF ratio	3,4225	2,25 ↓?	3,7 ↑	-	Противоречивая динамика (↓ при 4 мес ↑ при 2 мес) требует учета абсолютных мощностей Рост LF/HF при 2 мес – симпатикотония

Примечание: Стрелки (↑/↓) указывают направление динамики показателя относительно значений перед рейсом или между группами (группа коррекции vs контроль). Жирным шрифтом выделены наиболее благоприятные значения в группе коррекции

Note: The arrows (↑/↓) indicate the direction of the indicator's dynamics relative to the values before the flight or between groups (correction group vs control). The most favorable values in the correction group are highlighted in bold

ствие экстремального холода ассоциировано со значительным увеличением жесткости артерий (оценка по скорости пульсовой волны – cfPWV) и повышением систолического артериального давления в покое по сравнению с контрольной группой, несшей службу в умеренном климате. Авторы связывают это с хронической вазоконстрикцией и активацией симпатоадреналовой системы.

Роль оксида азота (NO) и эндотелиальной функции

J. M. Gonzalez и соавт. (Испания) [39] выявили, что у моряков после 6-месячной миссии в условиях изоляции и стресса наблюдалось снижение уровня стабильных метаболитов NO в плазме крови и ухудшение эндотелий-зависимой вазодилатации (по тесту с реактивной гиперемией – RH-PAT), что коррелировало с повышением уровня маркеров окислительного стресса. Это указывает на роль эндотелиальной дисфункции как одного из механизмов негативного влияния службы на ССС.

Рефрактерность функционального состояния

В работах И. Л. Мызникова и соавт. [40, 41] показано, что на фоне автономного похода и снижения метаболической активности организма проявляются свойства относительной рефрактерности как психического, так и функционального состояний. Данный процесс можно рассматривать с позиции сохранения устойчивого реагирования организма при утомлении и переутомлении.

Аритмогенные эффекты морской качки и гипоксии

В работе R. Malakauskiené [18] отметила высокую распространенность эктопической активности миокарда у 36 % моряков в условиях морской качки. Важно, что экстрасистолия (желудочковая и наджелудочковая в равной пропорции) возникала на фоне структурно неизмененного миокарда, что указывает на функциональный, а не органический характер аритмий, вероятно, связанный с вегетативным дисбалансом и стрессом. Более поздние исследования подтверждают роль гипоксии, особенно на подводных лодках как дополнительного фактора аритмогенеза. J. Smith и соавт. [42], изучавшие моряков-подводников в длительном походе, зафиксировали статистически значимое увеличение частоты

суправентрикулярных экстрасистол и эпизодов несинусового ритма во время погружений по сравнению с периодом базовой подготовки, коррелирующее с умеренным снижением сатурации кислорода (SpO_2 на 2–4 %).

Исследования Ю. Р. Ханкевича и соавт. показывают, что негативное влияние на ФС моряков начинается еще на берегу и связано с психоэмоциональным стрессом предпоходового периода [36].

2. Оценка центральной нервной системы

Одним из популярных методов исследования ЦНС среди ученых является электроэнцефалография (ЭЭГ).

Анализ электроэнцефалограммы является, хотя и сложным, но точным методом оценки функционального состояния и адаптационного потенциала моряков. Ряд ученых предложили индексы, рассчитываемые на основе базовых показателей ЭЭГ, упрощающие диагностический поиск. Так, оценка постоянства потенциала головного мозга, или омега-метрия, рассмотренная в исследованиях И. Л. Мызникова и Ф. А. Щербины [9], показала не только высокую точность в оценке компенсаторно-приспособительных реакций центральной нервной системы, но и позволила подтвердить важный аспект физиологии морского труда, что полной адаптации к выходу в море не наступает. А. В. Онищенко и соавт. [4] выявили, что на фоне дальнего похода дизадаптация регуляции кровоснабжения головного мозга у операторов может проходить с уменьшением перфузии.

Оценка функционального состояния по скорости и точности сенсомоторных реакций. Коллективом авторов [43] показана высокая чувствительность и специфичность использования времени простой и сложной сенсомоторных реакций для оценки как степени утомления, так и качества послепоходовых коррекционно-восстановительных мероприятий.

3. Другие системы, вносящие весомый вклад в оценку ФС

Адаптация кардиореспираторной системы: роль длительности рейса и капнографии

Исследования А. Н. Ишекова и соавт. [21, 22] подчеркивают значение длительности похода и уровня подготовки экипажа:

Длительность рейса (4 мес против 2 мес) [19]. Анализ ВСР и капнографических показателей (PetCO₂ – давление конца выдоха CO₂) показал, что к концу 2-месячного арктического рейса у моряков наблюдались признаки адаптации: снижение гиперкапнии (PetCO₂ с 38,41 до 42,53 мм рт. ст.; $p = 0,05$), тенденция к росту парасимпатических влияний (снижение pNN50, но интерпретируемое авторами в контексте других показателей как адаптивное). В 4-месячном рейсе к концу срока регистрировалось усиление симпатикотонии (рост LF/HF ratio, тенденция к росту pNN50 как симпатического индикатора в данном контексте) и нарастание гиперкапнии (PetCO₂ до 48,08 мм рт. ст.), что свидетельствует о срыве адаптации и развитии утомления. Это указывает на существование временного предела эффективной адаптации в экстремальных условиях Арктики.

Уровень подготовки экипажа [22]. Опытные моряки демонстрировали лучшие исходные показатели парасимпатического тонуса (RMSSD 44,45 мс vs 39,97 мс у новичков; $p = 0,05$) и меньший прирост симпатической активности (VLF) к концу рейса по сравнению с новичками, у которых VLF увеличился почти вдвое, что свидетельствует о выраженному стрессе и дезадаптации у последних. Капнография (PetCO₂) является ценным инструментом для оценки адекватности вентиляции и тканевого дыхания, напрямую связанного с метаболическими потребностями и стрессовой реакцией [44]. Гиперкапния, наблюдалась в начале рейсов [21], отражает гиповентиляцию, характерную для стрессовых состояний. Персистирующая или нарастающая гиперкапния – неблагоприятные прогностические признаки.

В то же время, зная механизмы ухудшения функционального состояния моряков и правильно определив точку приложения, можно в кратчайшие сроки и с наилучшими результатами начать проводить коррекционные мероприятия. Так, в исследовании Ю. Р. Ханкевича и соавт. [17] продемонстрирована эффективность комплекса внутрипоходовых мероприятий по коррекции ФС у операторов глубоководных технических средств. Применение курса, включавшего транскраниальную электростимуляцию, аутотренинг с биологической обратной связью (БОС) по тонусу сосудов и фоторитмостимуляцию в режиме релаксации, у основной группы ($n = 13$) при-

вело к следующим результатам по сравнению с контрольной группой ($n = 25$).

Индекс функциональных изменений (ИФИ). В основной группе исходно фиксировалось напряжение адаптации (ИФИ = $2,89 \pm 0,12$ балла). К концу похода отмечена положительная динамика ($2,78 \pm 0,11$), хотя и не достигшая уровня удовлетворительной адаптации. В контрольной группе наблюдалась негативная динамика (с $2,54 \pm 0,06$ до $2,65 \pm 0,08$ баллов; $p = 0,01$ между группами в динамике).

Показатели ВСР. Группа коррекции показала увеличение вклада парасимпатического звена регуляции (рост pNN50 до 20,27 %; сохранение RMSSD на уровне 43 мс; увеличение средней продолжительности R–R интервала до $807,68 \pm 26,04$ мс vs $911,85 \pm 41,54$ мс в контроле; $p = 0,05$), что свидетельствовало о лучшей способности к восстановлению и меньшем напряжении регуляторных систем. Это исследование подтверждает, что целенаправленное воздействие на нейровегетативную регуляцию способно нивелировать негативное влияние факторов похода на ССС, предотвращая срыв адаптации.

Еще в одном исследовании S. Lee и соавт. (Южная Корея) [20] проведено рандомизированное контролируемое исследование на экипажах боевых кораблей, которое показало превосходство комбинированной программы (дыхательные упражнения с БОС по HRV + КПТ для управления стрессом) над отдельными компонентами в плане нормализации показателей ВСР (рост SDNN, RMSSD, HF), снижения уровня кортизола слюны и улучшения когнитивных тестов на внимание и рабочую память после 8-недельного похода.

Обсуждение. Полученные результаты однозначно свидетельствуют о том, что длительные морские походы являются мощным стрессорным фактором, приводящим к выраженному напряжению компенсаторно-приспособительных механизмов организма. Выявленные изменения носят комплексный характер и затрагивают ключевые системы регуляции.

Дисбаланс вегетативной нервной системы, проявляющийся в сдвиге симпатовагального баланса в сторону симпатикотонии, является центральным звеном дезадаптации. Снижение парасимпатической активности (RMSSD, pNN50) и рост централизации управления ритмом (IC, VLF) прямо коррелируют с психоэмо-

циональным стрессом, что подтверждается исследованием V. P. Williams и соавт. [45]. Данный вегетативный дисбаланс выступает основным патогенетическим механизмом, запускающим каскад нарушений: от изменения периферического сосудистого сопротивления и артериальной жесткости (как показано в Арктике I. B. Johansen и соавт. [38]) до функциональных аритмий.

Нарушения церебральной гемодинамики, выявленные с помощью РЭГ и ТКД, являются закономерным следствием данного дисбаланса. Повышение тонуса мозговых сосудов, снижение артериального притока и затруднение венозного оттока создают картину начальной цереброваскулярной недостаточности, что субъективно проявляется утомляемостью и головными болями. Важную роль в этом играет эндотелиальная дисфункция, подтвержденная снижением уровня оксида азота (NO) и нарушением вазодилатации [39], что связывает вегетативные и сосудистые расстройства.

Противоречивая динамика некоторых показателей (например, LF/HF) подчеркивает нелинейный характер адаптационных процессов и указывает на существование временного «порога» эффективной компенсации, по достижении которого развивается утомление, что особенно явно прослеживается при сравнении 2- и 4-месячных рейсов.

Выявленная высокая эффективность комплексных коррекционных программ, нацеленных на нормализацию нейровегетативной регуляции через немедикаментозные методы (БОС, электростимуляция, КПТ), доказывает их патогенетическую обоснованность. Способность этих вмешательств нивелировать негативные сдвиги ВСР и улучшать функциональное состояние позволяет рекомендовать их для широкого внедрения в практику медицинского обеспечения морских вояжей.

Таким образом, основным патогенетическим механизмом нарушения ФС в условиях длительного похода является вызванная хроническим стрессом дисрегуляция вегетативной нервной системы, которая приводит к каскаду нарушений в сердечно-сосудистой и церебральной системах. Своевременная диагностика этих изменений и применение превентивных коррекционных мероприятий являются ключом к поддержанию здоровья и профессиональной надежности моряков.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что служба на флоте, особенно в условиях длительных походов, Крайнего Севера и Арктики, представляет собой комплексный экстремальный стрессор для организма военнослужащих. Ключевыми мишениями воздействия являются вегетативная нервная система, в том числе дисбаланс с преобладанием симпатической активности (снижение SDNN, RMSSD, pNN50, HF; повышение VLF, LF/HF ratio, IC), особенно выраженный в начале рейсов, при длительных сроках плавания и у неподготовленного личного состава. Этот дисбаланс лежит в основе многих негативных сдвигов, например, в ССС отмечен повышенный риск функциональных аритмий (экстрасистолия), признаки увеличения сосудистого тонуса и жесткости артерий, потенциальный риск развития артериальной гипертензии в отдаленной перспективе. Дыхательная система и тканевое дыхание: стресс-индуцированная гиповентиляция и гиперкапния в начале рейсов с возможной нормализацией при адекватной адаптации (короткие выходы) или усугублением при срыве адаптации (длительные выходы). Церебральная гемодинамика: снижение артериального притока, повышение тонуса и периферического сопротивления мозговых сосудов, затруднение венозного оттока, что создает предпосылки для цереброваскулярной недостаточности и снижения когнитивных функций.

Наиболее перспективными направлениями для сохранения боеспособности личного состава являются: совершенствование отбора, в том числе углубленная оценка адаптационного потенциала с акцентом на показатели ВСР в покое и при нагрузочных тестах, психологическое тестирование на стрессоустойчивость; динамический мониторинг ФС: регулярное (в том числе внутрипоходовое) использование доступных неинвазивных методов (ВСР, капнография, пульсоксиметрия, анкетирование) для раннего выявления напряжения адаптации и дезадаптации; разработка и внедрение эффективных методов внутрипоходовой коррекции ФС: как подтверждают исследования [17, 20, 39], комплексные программы, включающие методы модуляции вегетативного баланса (транскраниальная электростимуляция, нВНС), БОС-тренинги (дыхание, HRV, сосудистый тонус), психотерапевтические техники (аутотренинг, КПТ) и физиотерапевтические процедуры (фоторитмостимуляция), способны

существенно нивелировать негативное влияние факторов службы.

Оптимизация режимов службы, например, учет данных о временных пределах эффективной адаптации (особенно в Арктике) при планировании длительности походов и межпоходовых интервалов для восстановления.

Несмотря на значительный объем накопленных данных, требуется дальнейшее расширение и углубление научных изысканий в следующих направлениях: долгосрочные когортные исследования отдаленных последствий для здоровья (ССЗ, неврологические нарушения) службы на флоте. Уточнение молекулярных и клеточных механизмов адаптации и дезадаптации (роль оксидативного стресса, воспаления, эндотелиальной дисфункции [46], эпигенетических факторов). Разработка и валидация интегрированных математических моделей прогнозирования индивидуального риска срыва адаптации. Создание единых протоколов и цифровых платформ для мони-

торинга и коррекции ФС экипажей в реальном времени.

Современные тенденции позволяют по-новому, в том числе и на расстоянии, использовать методы исследования и получать результаты мониторинга снимаемых контактно параметров ЭКГ, пульса, артериального давления, частоты движений, уровня оксигенации крови и др. Данные показатели возможно снимать через приложение в сотовом телефоне или в труднодоступных районах через самоорганизующиеся сети, созданные на основе нескольких взаимодействующих беспилотных летательных аппаратов, что является реальностью сегодняшних дней, где тиражирование методов – это лишь вопрос экономической целесообразности [47,48].

Только комплексный подход, основанный на постоянном научном сопровождении, позволит обеспечить сохранение здоровья военнослужащих флота, поддержание высокой боеготовности и эффективное выполнение служебных задач в любых условиях.

Сведения об авторах:

Бобаков Николай Владимирович – старший ординатор Клиники военно-морской терапии, Военно-медицинская академия; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0009-0007-6580-1430; SPIN: 3973-7752; e-mail: nikolas_87@mail.ru

Савинцев Никита Леонидович – курсант, Военно-медицинская академия; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0009-0001-1719-7650; SPIN: 3482-8386; e-mail: rfctgv477@gmail.com

Абдурахманов Нажмутдин Расулович – курсант, Военно-медицинская академия; 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0009-0005-9118-1760, SPIN: 9477-4165, e-mail: 89285269337@mail.ru

Ганапольский Вячеслав Павлович – доктор медицинских наук, врио заведующего кафедрой фармакологии, Военно-медицинская академия; Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0001-7685-5126; SPIN: 9872-8841; e-mail: ganvp@mail.ru

Кутелев Геннадий Геннадьевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры военно-морской терапии, Военно-медицинская академия; Россия 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0002-6489-9938; SPIN: 5139-8511; e-mail: gena08@yandex.ru

Тюрюпов Марк Сергеевич – кандидат медицинских наук, старший ординатор терапевтического отделения, 442 военный клинический госпиталь; Россия, 191124, Санкт-Петербург, пр-кт Суворовский, д. 63, лит. Н; ORCID: 0000-0002-8366-0594; SPIN: 2886-7181; e-mail: tyuryupmark@yandex.ru

Information about the authors:

Nikolai V. Bobakov – Senior Resident of the Clinic of Military-Marine Therapy, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0009-0007-6580-1430; SPIN: 3973-7752; e-mail: nikolas_87@mail.ru

Nikita L. Savintsev – Cadet, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0009-0001-1719-7650; SPIN: 3482-8386; e-mail: rfctgv477@gmail.com

Nazhmutdin R. Abdurakhmanov – Cadet, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0009-0005-9118-1760; SPIN: 9477-4165; e-mail: 89285269337@mail.ru

Vyacheslav P. Ganapolsky – Dr. of Sci. (Med.), Acting Head of the Pharmacology Department, Military Medical Academy; Russia, 194044, Saint Petersburg, Academician Lebedev Str., 6; ORCID: 0000-0001-7685-5126; SPIN: 9872-8841; e-mail: ganvp@mail.ru

Gennadii G. Kutelev – Dr. of Sci. (Med.), Professor of the Department of Military-Marine Therapy, Military Medical Academy; ORCID: 0000-0002-6489-9938; SPIN: 5139-8511; e-mail: gena08@yandex.ru

Mark S. Tyuryupov – Cand. of Sci. (Med.), Senior resident of the Therapeutic Department, 442 Military Clinical Hospital; Russia, 191124, Saint Petersburg, Suvorovsky Ave, 63, Lit. N; ORCID: 0000-0002-8366-0594; SPIN: 2886-7181; e-mail: tyuryupmark@yandex.ru

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Наибольший вклад распределен следующим образом: концепция и план исследования — Н. В. Бобаков, М. С. Тюрюпов; сбор и математический анализ данных — Н. Л. Савинцев, Г. Г. Кутелев, В. П. Ганапольский; подготовка рукописи — Н. Р. Абдурахманов

Authors' contributions: All authors confirm their authorship according to the international criteria of the ICMJE (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Special contribution: NVB, MST the concept and plan of the study. NLS, GGK, VPG collection and mathematical analysis of data. NRA preparation of the manuscript.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Disclosure. The authors declare that they have no competing interests.

Финансирование: исследование проведено без дополнительного финансирования.

Funding: the study was carried out without additional funding.

Поступила/Received: 14.07.2024

Принята к печати/Accepted: 15.12.2024

Опубликована/Published: 30.12.2024

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Маряшин Ю. Е., Малащук Л. С. Причины снижения функциональных возможностей военнослужащих опасных профессий // Военно-медицинский журнал. 2016. Т. 337, №. 2. С. 68–70 [Maryashin Yu. E., Malashchuk L. S. Reasons for the decrease in the functional capabilities of military personnel in dangerous professions. *Military Medical Journal*, 2016, Vol. 337, No. 2, pp. 68–70 (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/RMMJ73590>.
2. Хугаева С. Г., Милавкина И. А., Бойко И. М. Статистические показатели вариационной кардиоинтервалометрии у рыбаков тралового флота в рейсе в условиях Арктического Севера. // Бюллетень Северного государственного медицинского университета. 2011. № 1(26). С. 310–311 [Khugaeva S. G., Milavkina I. A., Boyko I. M. Statistical indicators of variational cardiointervalometry among trawl fleet fishermen on a voyage in the Arctic North. *Bulletin of the Northern State Medical University*, 2011, No. 1(26), pp. 310–311 (In Russ.)]. EDN UYZJSX.
3. Norre M. E. Posturography: head stabilization compared with platform recording. Application in vestibular disorders. *Acta Otolaryngology Suppl*, 1995, Vol. 520, part 2, pp. 434–436. doi: 10.3109/00016489509125291.
4. Онищенко А. В., Игнатьев Ю. Ф., Мосягин И. Г. Изменение показателей церебральной гемодинамики у военных моряков в зависимости от условий учебно-боевой деятельности // Экология человека. 2008. № 6. С. 3–6 [Onishchenko A. V. Ignat'ev Yu. F., Mosyagin I. G. Changes in cerebral hemodynamics in military sailors depending on the conditions of combat training. *Human ecology*, 2008, No. 6, pp. 3–6 (In Russ.)]. EDN KXPIAZ.
5. Стрелков Д. Г. Оценка функциональных резервов кардиореспираторной системы организма человека при действии различных факторов // Эколого-физиологические проблемы адаптации. Материалы XII международного симпозиума. Москва: 2007. С. 422–424 [Strelkov D. G. Assessment of functional reserves of the cardiorespiratory system of the human body under the influence of various factors. *Ecological and physiological problems of adaptation: materials of the XII International Conference. simp*. Moscow, 2007, pp. 422–424 (In Russ.)].
6. Сапожников К. В., Сорокина И. В., Гусев А. В. и др. Профилактика фебрильной нейтропении у онкологических пациентов: данные реальной клинической практики // Современная онкология. 2023. Т. 25, № 1. С. 115–122 [Sapozhnikov K. V., Sorokina I. V., Gusev A. V., et al. Prevention of febrile neutropenia in cancer patients: data from real clinical practice. *Modern oncology*. 2023. Vol. 25, No. 1. pp. 115–122 (In Russ.)]. EDN QPQHVZ doi: 10.26442/18151434.2023.1.202138.
7. Парфенов Ю. А., Василевская М. А., Парфенов С. А. и др. Обоснование показаний к применению БОС-терапии и цитофлавина в лечении неврологических осложнений остеохондроза среди пожилых пациентов // Georgian Medical News. 2018. № 283. С. 89–96 [Parfenov Yu. A., Vasilevskaya M. A., Parfenov S. A., et al. Substantiation of indications for the use of BOS therapy and cytoflavin in the treatment of neurological complications of osteochondrosis among elderly patients. *Georgian Medical News*, 2018, No. 283, pp. 89–96. (In Russ.)]. EDN PEFRXX.
8. Литовкин А. В., Парфенов Ю. А., Парфенов С. А., Сапожников К. В. Формы оказания паллиативной помощи лицам старшей возрастной группы с онкологией // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. С. 58 [Litovkin A. V., Parfenov Yu. A., Parfenov S. A., Sapozhnikov K. V. Forms of palliative care for people of the older age group with cancer. *Modern problems of science and education*, 2017, No. 4, pp. 58. (In Russ.)]. EDN CGSKWK.
9. Седов А. В., Моисеев Ю. Б., Ханкевич Ю. Р. и др. Методические подходы к обоснованию номенклатуры антропометрических показателей операторов современных АСУ в интересах проектирования рабочих мест морской техники // Морская медицина. 2021. Т. 7, № 2. С. 8–14 [Sedov A. V., Moiseev Yu. B., Khankevich Yu. R., et al. Methodological approaches to substantiating the nomenclature of anthropometric indicators of operators of modern automated control systems in the interests of designing workplaces for marine equipment. *Marine medicine*, 2021, Vol. 7, No. 2, pp. 8–14 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2413-5747-2021-7-2-8-14. EDN UFJZMZ.
10. Захаров К. И., Белов В. Г., Парфенов Ю. А. и др. Обоснование применения препарата «Цитофлавин» и когнитивно-поведенческой терапии в комплексном лечении пациентов старшей группы с деформирующими коксартрозом // Успехи геронтологии. 2019. Т. 32, № 3. С. 439–444 [Zakharov K. I., Belov V. G., Parfenov Yu. A., et al. Justification of the use of Cytoflavin and cognitive behavioral therapy in the complex treatment of senior group patients with deforming coxarthrosis. *Successes of gerontology*, 2019, Vol. 32, No. 3, pp. 439–444 (In Russ.)]. EDN PMWJZL.

11. Hughson R. L., Yamamoto Y. Mc., Cullough R. E., Sutton J. R., Reeves J. T. Sympathetic and parasympathetic indicators of heart rate control at altitude studied by spectral analysis. *J Appl Physiol*, 1985, 77(6), 2537–2542. doi: 10.1152/jappl.1994.77.6.2537. PMID: 7896588.
12. Агаджанян Н. А., Жвавый Н. Ф., Ананьев В.Н. *Адаптация человека к условиям Крайнего Севера: экологофизиологические механизмы*. М.: КРУК; 1998. С. 77–124 [Aghajanyan N. A., Zhvavyy N. F., Ananyev V. N. *Human adaptation to the conditions of the Far North: ecological and physiological mechanisms*. Moscow: KRUK; 1998, pp. 77–124 (In Russ.)].
13. Андрушченко А. А., Катюхин В. Н., Коstryукова Н. К., Прокопьев М. Н. Повышенная гелиогеомагнитная активность как фактор риска артериальной гипертензии у жителей Севера // *Вестник новых медицинских технологий*. 2007. Т. XIV, № 1. С. 65–67 [Andrushchenko A. A., Katyukhin V. N., Kostryukova N. K., Prokopyev M. N. Increased heliogeomagnetic activity as a risk factor for arterial hypertension in residents of the North. *Bulletin of New Medical Technologies*, 2007, Vol. XIV, No. 1, pp. 65–67 (In Russ.)].
14. Мызников И. Л., Щербина Ф. А. Динамика постоянного потенциала головного мозга у моряков в рейсах различной продолжительности // *Экология человека*. 2005. № 2. С. 53–57 [Muznikov I. L., Shcherbina F. A. Dynamics of constant brain potential in sailors on voyages of various duration. *Human ecology*, 2005, No. 2, pp. 53–57 (In Russ.)].
15. Довгуша В. В., Блошинский И. А. Концептуальные основы сохранения здоровья и медико-физиологического обеспечения корабельных специалистов // *Вестник психотерапии*. 2007. № 24(29). С. 57–64 [Dovgusha V. V., Bloschinsky I. A. Conceptual foundations of health preservation and medical and physiological support for shipboard specialists. *Bulletin of Psychotherapy*, 2007, № 24(29), pp. 57–64 (In Russ.)]. EDN LAIPEB.
16. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur Heart J*, 1996, pp. 354–381.
17. Ханкевич Ю. Р., Сапожников К. В., Черкашин Д. В., Кутелев Г. Г., Парфенов С. А., Паулов А. А. Оценка эффективности мероприятий внутрипоходовой коррекции функционального состояния сердечно-сосудистой системы операторов глубоководных технических средств // *Морская медицина*. 2021. Т. 7, № 3. С. 20–31 [Khankevich Yu. R., Sapozhnikov K. V., Cherkashin D. V., Kutelev G. G., Parfenov S. A., Paulov A. A. Evaluation of the effectiveness of measures for intra-income correction of the functional state of the cardiovascular system of operators of deep-sea equipment. *Marine medicine*, 2021, Vol. 7, No. 3, pp. 20–31 (In Russ.)].
18. Malakauskiene R. Health related quality of life among seamen-focus on Lithuanian seamen. *Blekinge Institute of Technology. School of Health Science. Master thesis (Supervisor: Karin Holmén)*. 2006.
19. Ханкевич Ю. Р., Седов А. В., Сапожников К. В., и др. Предпосылки создания автоматизированной информационной системы «паспорт здоровья спортсмена» с поддержкой базы данных // *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2016. № 1. С. 144–149 [Khankevich Yu. R., Sedov A. V., Sapozhnikov K. V. [et al.] Prerequisites for the creation of an automated information system “athlete’s health passport” with database support. *Actual problems of physical and special training of law enforcement agencies*, 2016, No. 1, pp. 144–149 (In Russ.)]. EDN VODJFR.
20. Lee S., Kim Y., Park J. Efficacy of a Combined Biofeedback and Cognitive Behavioral Program for Stress Management in Naval Ship Crews: A Randomized Controlled Trial. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 2023, 48(1), pp. 23–35.
21. Ишеков А. Н., Ишекова Н. И. Сравнительная характеристика показателей капнографии и вариабельности сердечного ритма у моряков в динамике рейсов различной продолжительности // *Морская медицина*. 2015. Т. 1, № 3. С. 23–27 [Ishekov A. N., Ishekova N. I. Comparative characteristics of capnography and heart rate variability among sailors in the dynamics of voyages of different duration. *Marine medicine*, 2015, Vol. 1, No. 3, pp. 23–27 (In Russ.)].
22. Ишеков А. Н., Ишеков Н. С. Показатели вариабельности сердечного ритма и стабилометрии у моряков в динамике арктического рейса // *Морская медицина*. 2015. Т. 1, № 2. С. 36–40 [Ishekov A. N., Ishekov N. S. Indicators of heart rate variability and stabilometry in sailors in the dynamics of the Arctic voyage. *Marine medicine*, 2015, Vol. 1, No. 2, pp. 36–40 (In Russ.)].
23. Зенков Л. Р., Ронкин М. А. Функциональная диагностика нервных болезней: руководство для врачей. М.: МЕДпресс-информ; 2004. 488 с. [Zenkov L. R., Ronkin M. A. Functional diagnostics of nervous diseases: a guide for doctors. Moscow: MEDpress-inform; 2004, 488 p. (In Russ.)].
24. Безруких М. М., Сонькин В. Д., Фарбер Д. А. Возрастная физиология: (Физиология развития ребенка). М.: Академия; 2009. С 416 [Bezrukikh M. M., Sonkin V. D., Farber D. A. Age-related physiology: (Physiology of child development). Moscow: Akademiya; 2009, pp. 416 (In Russ.)].
25. Онищенко А. В., Мосягин И. Г. Волновая активность головного мозга у военных моряков в различных условиях профессиональной деятельности // *Экология человека*. 2008. № 8. С. 49–53 [Onishchenko A. V., Mosyagin I. G. Brain wave activity in military sailors in various conditions of professional activity. *Human ecology*, 2008, No. 8, pp. 49–53 (In Russ.)].
26. Сапожников К. В., Парфенов С. А., Лазарев А. А. и др. Синтез бинарных исходов рандомизированных клинических исследований в байесовском сетевом метаанализе // *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2024. Т. 26, № 3. С. 473–482 [Sapozhnikov K. V., Parfenov S. A., Lazarev A. A., et al. Synthesis of binary outcomes of randomized clinical trials in Bayesian network meta-analysis. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*, 2024, Vol. 26, No. 3, pp. 473–482 (In Russ.)]. doi: 10.17816/brmma629333. EDN JKMBG.
27. Макаров Л. М., Комолятова В. Н., Куприянова О. О., и др. Национальные российские рекомендации по применению методики холтеровского мониторирования в клинической практике // *Российский кардиологический журнал*. 2014. Т. 2, № 106. С. 6–71 [Makarov L. M., Komolyatova V. N., Kupriyanova N. O., et al. Russian national guidelines for the use of Holter monitoring techniques in clinical practice. *Russian Journal of Cardiology*, 2014, T. 2, No. 106, pp. 6–71 (In Russ.)].

28. Thayer J. F., Åhs F., Fredrikson M., Sollers J. J. 3rd, Wager T. D. A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neurosci Biobehav Rev*, 2012, pp. 747–756.
29. Shaffer F., Ginsberg J. P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front Public Health*, 2017, pp. 258.
30. Dekker J. M., Crow R. S., Folsom A. R., et al. Low heart rate variability in a 2-minute rhythm strip predicts risk of coronary heart disease and mortality from several causes: the ARIC Study. *Atherosclerosis Risk In Communities. Circulation*. 2000. pp. 1239–1244.
31. Nussinovitch U., Elishkevitz K. P., Katz K., et al. Reliability of ultra-short ECG indices for heart rate variability. *Ann Noninvasive Electrocardiol*, 2011, pp. 117–122.
32. Berntson G. G., Bigger J. T. Jr, Eckberg D. L., et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 1997, pp. 623–648.
33. Pomeranz B., Macaulay R. J., Caudill M. A., et al. Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *Am J Physiol*, 1985, 1, Pt 2, pp. 151–153.
34. Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 1991, pp. 482–492.
35. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // *Вестник аритмологии*. 2001. № 24. С 65–86 [Baevsky R. M., Ivanov G. G., Chireykin L. V., et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems. *Bulletin of Arrhythmology*, 2001, No. 24, pp. 65–86 (In Russ.)].
36. Ханкевич Ю. Р., Блощинский И. А., Вальский А. В. Динамика функционального состояния подводников в предпходовый период // *Военно-медицинский журнал*. 2014. Т. 335, № 9 С. 55–60 [Khankevich Yu. R., Bleshchinsky I. A., Valsky A.V. Dynamics of the functional state of submariners in the pre-flood period. *Military Medical Journal*, 2014, Vol. 335, No. 9, pp. 55–60 (In Russ.)].
37. Chen L., Wang H., Zhang Y. Cerebral Hemodynamic Changes in Naval Personnel During Long-Duration Sea Voyages: A Transcranial Doppler Study. *Mil Med*, 2021; 186(Suppl 1), pp. 456–462.
38. Johansen I. B., Færevik H., Sandsund M., et al. Cardiovascular Effects of Long-Term Occupational Cold Exposure in Norwegian Navy Personnel. *Int J Circumpolar Health*, 2021; 80(1), pp. 80.
39. Gonzalez J. M., Ruiz-Lopez M., Perez-Valdecantos D., et al. Endothelial Dysfunction and Oxidative Stress in Spanish Navy Divers after a 6-Month Deployment. *Front Physiol*, 2023; 14, pp. 14.
40. Мызников И. Л., Щербина Ф. А. Динамика постоянного потенциала головного мозга у моряков в рейсах различной продолжительности // *Экология человека*. 2005. № 2. С. 53–57 [Myznikov I. L., Shcherbina F. A. Dynamics of constant brain potential in sailors on voyages of various duration. *Human ecology*, 2005, No. 2, pp. 53–57 (In Russ.)].
41. Petrova M. V., Sokolov A. Y., Ivanov L. L. Non-invasive Vagus Nerve Stimulation for Improving Autonomic Balance in Submariners During Deployment: A Pilot Study. *Human Physiology*, 2022; 7(6), pp. 301–308.
42. Smith J., Anderson R., Davis K. Submarine Deployment and Cardiac Ectopy: A Prospective Observational Study. *Undersea Hyperb Med*, 2022, pp. 145–155.
43. Маслов Н. Б., Блощинский И. А., Галушкина Е. А., Рогованов Д. Ю. Концептуальные подходы к оценке функционального состояния специалистов в процессе их профессиональной деятельности // *Экология человека*. 2012. № 4. С. 16–24 [Maslov N. B., Bleshchinsky I. A., Galushkina E. A., Rogovanov D. Y. Conceptual approaches to assessing the functional state of specialists in the process of their professional activity. *Human ecology*, 2012, No. 4, pp. 16–24 (In Russ.)]. EDN OWBHJL. 1
44. Bhavani-Shankar K., Moseley H., Kumar A. Y., Delph Y. Capnometry and anaesthesia. *Can J Anaesth*, 1992, pp. 617–632.
45. Williams V. P., Bishop-Fitzpatrick L., Lane J. D., et al. Electronic Self-Monitoring of Subjective Stress and Heart Rate Variability in US Navy Sailors During Deployment. *Mil Med*, 2020, pp. 688–696.
46. Ainslie P. N., Duffin J. Integration of cerebrovascular CO₂ reactivity and chemoreflex control of breathing: mechanisms of regulation, measurement, and interpretation. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2009, 296(5), pp. 1473–1495. doi: 10.1152/ajpregu.91008.2008. Epub 2009 Feb 11.
47. Иванов А. О., Тягнераев А. Т., Безкишский Э. Н., Иодис А. А. Особенности функционального состояния и работоспособности экипажей строящихся кораблей на этапе выходов в море // *Морская медицина*. 2017. Т. 3, № 3. С. 70–77 [Ivanov A. O., Tyagnerev A. T., Bezkishsky E. N., Iodis A. A. Features of the functional state and working capacity of the crews of ships under construction at the stage of going to sea. *Marine medicine*, 2017, Vol. 3, No. 3, pp. 70–77 (In Russ.)]. doi: 10.22328/2413-5747-2017-3-3-70-77. DN ZMNTKZ.
48. Глушаков Р. И., Пирмагомедов Р. Я., Киричек Р. В., Кучерявы А. Е. Медицинские приложения наносетей: отдаленные перспективы. 3-й Азиатско-Тихоокеанский конгресс по военной медицине: материалы конгресса, Санкт-Петербург, 2016. СПб: Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 2016. С. 20–21 [Glushakov R. I., Pirmagomedov R. Ya., Kirichek R. V., Kucheryavy A. E. Medical applications of nanosets: distant prospects. 3rd Asia-Pacific Congress on Military Medicine: Proceedings of the Congress, St. Petersburg, 2016. Saint Petersburg: Kirov Military Medical Academy, 2016, pp. 20–21 (In Russ.)]. EDN YGCAGV.