

УДК 612.017.2 + 517

КОНЦЕПЦИЯ АЛЛОСТАЗА И АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА НА СЕВЕРЕ

© 2016 г. ¹С. Г. Кривощёков, ²Н. К. Белишева, ³⁻⁴Е. И. Николаева, ¹Е. Г. Вергунов, ²А. А. Мартынова, ⁵О. Е. Ельникова, ²С. В. Пряничников, ¹Г. Н. Ануфриев, ¹Н. В. Балиоз

¹Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины, г. Новосибирск;
²Кольский научный центр РАН, г. Апатиты; ³Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I; ⁴Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
г. Санкт-Петербург; ⁵Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, г. Елец

В статье с позиций теории аллостаза рассматривается возрастная динамика активности парасимпатического и симпатического отделов автономной нервной системы (АНС) в регуляции сердечного ритма (СР) у работающих жителей Заполярья (в диапазоне возрастов от 20 до 75 лет, сведённых в 10-летние возрастные когорты, 267 человек) и у работающих жителей средней полосы России (116 человек). С помощью сравнения кластеризованных показателей математического анализа СР, зарегистрированного в состоянии оперативного покоя, изучается модель аллостатического воздействия на регуляторные системы организма в процессе адаптации к условиям высоких широт.

Модель аллостаза подразумевает поддержание стабильности внутренней среды в организме не с позиции поддержания гомеостаза, а через сохранение изменений, соответствующих внешним условиям. «Цена адаптации» как следствие аллостатической нагрузки описывается через особенности регуляции СР у разных групп испытуемых. В статье апробируется и обсуждается метод оценки адаптационного потенциала отдельного человека через анализ вклада парасимпатического отдела АНС в регуляцию СР. Используемый подход позволяет выявлять кандидатов в группу риска в отношении срыва процесса адаптации.

Ключевые слова: Арктика, аллостаз, незавершённая адаптация, функциональные резервы организма, математический анализ сердечного ритма, парасимпатическая и симпатическая нервные системы

THE CONCEPT OF ALLOSTASIS AND HUMAN ADAPTATION IN THE NORTH

¹S. G. Krivoshechekov, ²N. K. Belisheva, ³⁻⁴E. I. Nikolaeva, ¹E. G. Vergunov, ²A. A. Martynova, ⁵O. E. Elnikova, ²S. V. Prjanichnikov, ¹G. N. Anufriev, ¹N. V. Balioz

¹Scientific Research Institute of Physiology and Basic Medicine, Novosibirsk; ²Kola Science Centre of Russian Academy of Sciences, Apatity; ³Petersburg Transport University; ⁴Herzen State Pedagogical University, Saint Petersburg; ⁵Eletz State University, Eletz, Russia

The age dynamic of parasympathetic and sympathetic activity of autonomous nervous system (ANS) in the heart rate (HR) regulation is considered in the article from the perspective of allostasis theory. Two groups of people are compared: working residents of Arctic region (aged from 20 till 75 years old, divided in 10-years age cohorts, total 267 people) and working residents of the Central Part of Russia (116 people). The model of allostatic influence on the organism's regulatory systems in the process of adaptation to the conditions of high latitudes is studied compared to clustered data of HR analysis recorded in the background.

The model of allostasis implies to support an organism's inner stability not from the perspective of body balance control but through changes preservation according to external conditions. «The adaptation cost» as a result of allostatic load is described by means of peculiarities of HR regulation in indifferent groups of surveyed. A method of human adaptation potential assessment by means of the analysis of ANS parasympathetic parts contribution to HR regulation is rested and discussed in the article. This approach allows to reveal risk group candidates for adaptation process breakdown.

Keywords: Arctic region, allostasis, incomplete adaptation, functional organism reserves, rhythm analysis, parasympathetic and sympathetic nervous systems

Библиографическая ссылка:

Кривощёков С. Г., Белишева Н. К., Николаева Е. И., Вергунов Е. Г., Мартынова А. А., Ельникова О. Е., Пряничников С. В., Ануфриев Г. Н., Балиоз Н. В. Концепция аллостаза и адаптация человека на Севере // Экология человека. 2016. № 7. С. 17–25.

Krivoshechekov S. G., Belisheva N. K., Nikolaeva E. I., Vergunov E. G., Martynova A. A., Elnikova O. E., Prjanichnikov S. V., Anufriev G. N., Balioz N. V. The Concept of Allostasis and Human Adaptation in the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2016, 7, pp. 17-25.

Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ предполагает повышение качества жизни коренного и пришлого населения как человеческого ресурса, от которого зависит эффективность государственной политики. Согласно документам ООН, социальная категория «качество жизни» включает 12 параметров, из которых на первом месте стоит здоровье [41]. По мнению социологов, высокое каче-

ство жизни человека подразумевает в первую очередь достаточную продолжительность здоровой жизни, необходимое медицинское обслуживание и безопасность [11]. Вместе с тем природное и техногенное воздействие на организм человека в условиях Арктики является своеобразным вызовом, который представляет угрозу здоровью и может снижать продолжительность жизни [7, 13, 21, 31]. Эпидемиологические данные свидетель-

ствуют, что заболеваемость и смертность от злокачественных новообразований повышена среди жителей высоких широт Земли [1, 3]. Существует гипотеза о связи между показателями здоровья населения и положением региона относительно полюсов Земли и экватора. В частности, по данным за 1986–1987 годы смертность почти линейно возрастала по мере продвижения с юга на север [4, 8]. Многочисленные работы, описывающие особенности адаптации человека в условиях Арктики, выявили «цену адаптации», которая включает изменённую работу всех систем организма [10, 18, 19, 30], включая липидный обмен, функции внешнего дыхания, нервной, эндокринной, иммунной и сердечно-сосудистой систем, развитие «синдрома полярного напряжения» [12, 24]. При этом вариации гелиогеофизических агентов, ассоциированных с арктической средой, играют большую роль в модуляции функционального состояния организма, особенно влияя на нервную и сердечно-сосудистую системы [5, 25, 26].

На уровне целостного организма описано несколько форм неспецифических системных приспособительных реакций: реакция тревоги У. Кэннона, стресс по Г. Селье, срочная и долговременная адаптации по Ф. З. Меерсону, реакции тренировки, нормальной/повышенной активации по Л. Х. Гаркави, адаптационная реакция по П. Н. Симонову, климатогеографическое напряжение согласно В. П. Казначееву. Для этих типов адаптационных реакций характерна последовательная или циклическая фазовость процессов, проявления определённых фаз адаптационных реакций, которые определяются характером воздействия раздражающего агента (длительность, сила/интенсивность воздействия) и «правилом исходного уровня» [17, 44]. В качестве особой формы предложено явление «незавершённой адаптации» [16], суть которой состоит в наложении одних фазовых процессов на другие, что, существенно усложняет формирование устойчивой адаптации, увеличивая адаптационную нагрузку на организм. В 2008 году McEwen высказал предположение, что стресс-агенты побуждают организм отрабатывать индивидуальные стратегии выживания, направленные на поддержания здоровья путём «достижения стабильности через изменения» [35] или «аллостаза» [40]. В основу концепции аллостаза легли 6 принципов, описывающих реакцию организма на изменения во внешней среде: а) организм запрограммирован на будущий результат, б) эффективность приспособительных действий требует компромисса между значениями параметров разных систем организма, в) эффективность адаптации требует предсказания изменений параметров среды, г) предсказание возможных сдвигов во внешней среде меняет состояние сенсорных системы в сторону повышения чувствительности к ожидаемому кругу воздействий, д) предсказание внешних изменений меняет состояние эффекторов, приспособляя их действия к ожидаемым изменениям внешней среды, е) такая предсказуемая регуляция определяется целями поведения, которые контролируются центральной

нервной системой [34]. По теории аллостаза организм реагирует практически на любое воздействие со стороны окружающей среды, выбрасывая химические медиаторы, например катехоламины, которые повышают частоту сердечных сокращений и кровяное давление, помогая человеку справиться с возникшей ситуацией. Вместе с тем попытки соответствовать резким внешним изменениям приводят к избыточному центральному контролю функций организма, например сердечного ритма (СР) и артериального давления, что может приводить к нарушению системных механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы [36].

Реактивность сердечно-сосудистой системы организма на внешнее воздействие в значительной степени обусловлена исходной активностью автономной нервной системы (АНС), в которую входят симпатический (СНС) и парасимпатический (ПНС) отделы. Если СНС включается в момент резких изменений обстоятельств внешней среды, то ПНС в большей мере отвечает за восстановление утраченных функциональных резервов [2, 20]. На разных уровнях исходной активности организма СНС и ПНС могут работать синергично, ортогонально или антагонистично [39]. При этом активность ПНС рассматривается как индикатор восстановления израсходованных резервов организма [38]. В этом случае можно считать, что активность ПНС является критерием эффективности адаптации на Севере, отражая интегральный результат приспособления организма в рамках индивидуальной стратегии выживания [23, 43].

С учётом вышесказанного представляет несомненный интерес выяснить возрастные границы периодов онтогенеза у жителей Севера, во время которых возрастает риск срыва адаптации. Эта задача может быть решена при сопоставлении возрастных особенностей активности АНС и вкладе её отделов в регуляцию СР при сопоставлении возрастных групп жителей Севера и средних широт. Цель работы — рассмотреть особенности регуляции СР с учётом долевого вклада в эту регуляцию активности ПНС и СНС у работающих жителей высоких и средних широт на основе нелинейного анализа СР с привлечением теории аллостаза. Решение этой проблемы позволит выявить наиболее уязвимые возрастные группы жителей Севера и поможет в разработке стратегии повышения качества и продолжительности жизни трудоспособного населения в Арктике.

Методы

Все испытуемые дали письменное информированное согласие на участие в исследовании. Исследование проводили среди работающих жителей (мужчин и женщин) Севера (Кольский полуостров, Мурманская область) и средних широт (Новосибирская и Липецкая области), которые добровольно согласились участвовать в исследовании и имели синусовый сердечный ритм в состоянии оперативного покоя. Выборка северян состояла из 267 испытуемых от

20 до 75 лет, (44 ± 14) лет, которые были сведены в пять возрастных когорт: 20–29, 30–39, 40–49, 50–59 и 60–75 лет.

Сравнение по изучаемым показателям мужской (164 испытуемых) и женской (103 испытуемых) частей выборки северян показало, что статистически значимых различий между ними нет, поэтому далее данные анализируются без деления по полу. Выборка жителей средних широт была подобрана согласно возрастным когортам выборки северян и состояла из 116 испытуемых от 20 до 74 лет, (40 ± 15) лет. Значимого различия между выборкой северян и выборкой жителей средних широт по возрасту не обнаружено (U-критерий Манна – Уитни двусторонний, $p = 0,122$).

Регистрация СР у всех испытуемых проводилась с помощью электрокардиографа «Омега-Медицина» («Динамика», СПб., Россия) в первом стандартном отведении в состоянии спокойного бодрствования (положение «сидя»). Оценка активности АНС по анализу СР производилась путём кластеризации показателей ПНС и СНС программным обеспечением Nerve-Express (Intellexwave, Inc., Valley Stream NY, USA) по 13 параметрам, которые включают в себя частоту сердечных сокращений, диапазоны HF и LF (и их соотношения), а также амплитуды максимальных пиков в этой части спектра и значения частот в точках максимальных пиков. На основе кластеризации этих показателей определялись баллы показателей ПНС и СНС в диапазоне от -4 до $+4$ [38]. Отрицательные и положительные значения баллов ПНС и СНС выражают снижение (повышение) активности соответствующего отдела АНС: резкое -4 ($+4$), значительное -3 ($+3$), умеренное -2 ($+2$), не-

значительное -1 ($+1$). Нулевое значение отражает состояние вегетативного баланса. Значения -4 или $+4$ в состоянии оперативного покоя могут свидетельствовать о наличии патологических изменений в организме [42].

Уровень статистической значимости p (двусторонние критерии) определялся при изначально заданном значении $\text{Power} = 1 - \beta = 0,80$ (где β – статистическая ошибка II рода). Для расчёта величины эффекта и мощности критерия был использован статистический пакет G*Power ver. 3 [33]. Нулевая гипотеза отклонялась при $p \leq \alpha$ (где p – уровень значимости, рассчитанный для величины $\text{Power} = 0,80$; $\alpha = 0,05$ – статистическая ошибка I рода). Для сравнения распределения испытуемых по баллам уровней активности АНС в соответствии с рекомендациями [37] использовался точный критерий Фишера. При распределении испытуемых с двумя и более модами когорты согласно одному из подходов К. Пирсона [6] делилась на одномодальные группы (при соблюдении условия отличия распределения от других таких же групп на уровне $p < 0,05$). Доли испытуемых в одномодальных группах по отношению ко всей когорте определялись методом максимального правдоподобия Фишера [6]. Средние величины указываются в формате (среднее арифметическое) $\pm$ (стандартное отклонение).

Результаты

Распределение испытуемых с разными уровнями активности отделов АНС в возрастных когортах (высокие и средние широты) показаны на рис. 1 и 2. Расчёт долей испытуемых в одномодальных группах приведён в таблице.

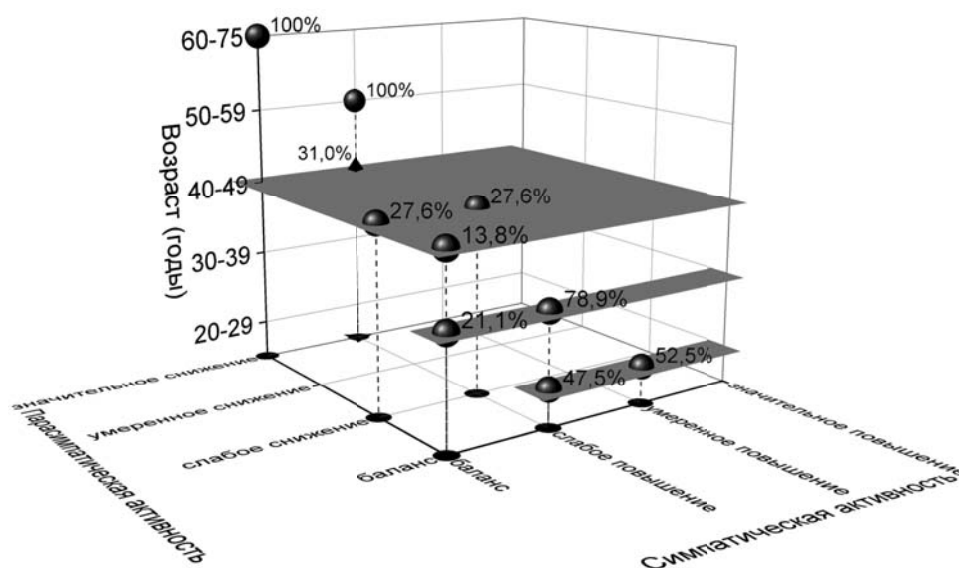


Рис. 1. Вклад активности ПНС и СНС в регуляцию сердечного ритма в когортах испытуемых, проживающих в средних широтах. По осям: уровень активности ПНС, СНС и возрастные диапазоны когорт. Центры одномодальных групп испытуемых показаны кругами, центры групп риска в отношении срыва адаптации – треугольниками. Центры одномодальных групп одной когорты объединены серой полосой, а их доли в когорте даны рядом (расчёт долей производился методом максимального правдоподобия Фишера, таблица). В когорте 20–29 лет 40 испытуемых, 30–39 лет – 19, 40–49 лет – 29, 50–59 лет – 14, 60–75 лет – 14

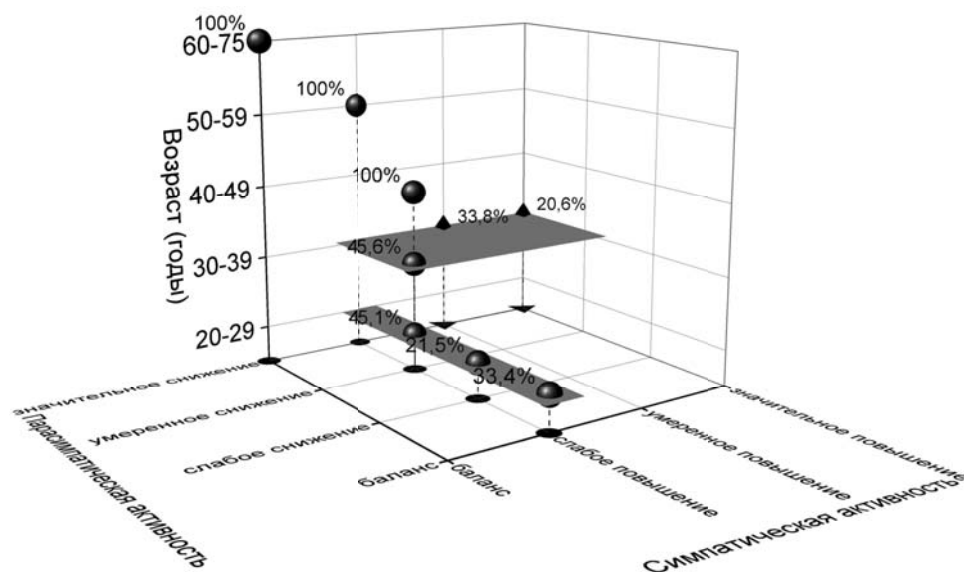


Рис. 2. Вклад активности ПНС и СНС в регуляцию сердечного ритма в когортах испытуемых, проживающих в Заполярье. По осям: уровень активности ПНС, СНС и возрастные диапазоны когорты. Центры одномодальных групп испытуемых показаны кругами, центры групп риска в отношении срыва адаптации — треугольниками. Центры одномодальных групп одной когорты объединены серой полосой, а их доли в когорте даны рядом (расчёт долей производился методом максимального правдоподобия Фишера, таблица). В когорте 20–29 лет 42 испытуемых, 30–39 лет — 68, 40–49 лет — 84, 50–59 лет — 65, 60–75 лет — 44

Расчёт долей групп испытуемых относительно когорты по методу максимального правдоподобия Фишера

Когорта	МАХ, максимумы функций L	Функции правдоподобия L для групп
20–29 лет, НЕ	$M_1=0,525(52,5 \%)$; $M_2=0,475(47,5 \%)$	$L_1=p^{21} \times (1-p)^{19}$; $L_2=p^{19} \times (1-p)^{21}$
30–39 лет, НЕ	$M_1=0,789(78,9 \%)$; $M_2=0,211(21,1 \%)$	$L_1=p^{15} \times (1-p)^4$; $L_2=p^4 \times (1-p)^{15}$
40–49 лет, НЕ	$M_1=0,310(31,0 \%)$; $M_2=0,276(27,6 \%)$; $M_3=0,276(27,6 \%)$; $M_4=0,138(13,8 \%)$	$L_1=p^9 \times (1-p)^{20}$; $L_2=p^8 \times (1-p)^{21}$; $L_3=p^8 \times (1-p)^{21}$; $L_4=p^4 \times (1-p)^{25}$
20–29 лет, А	$M_1=0,451(45,1 \%)$; $M_2=0,334(33,4 \%)$; $M_3=0,215(21,5 \%)$	$L_1=p^{19} \times (1-p)^{23}$; $L_2=p^{14} \times (1-p)^{28}$; $L_3=p^9 \times (1-p)^{33}$
30–39 лет, А	$M_1=0,456(45,6 \%)$; $M_2=0,338(33,8 \%)$; $M_3=0,206(20,6 \%)$	$L_1=p^{31} \times (1-p)^{37}$; $L_2=p^{23} \times (1-p)^{45}$; $L_3=p^{14} \times (1-p)^{54}$

Примечание. НЕ — Новосибирск и Елец (средние широты), А — Апатиты (Заполярье); p — (искомая) вероятность попадания испытуемого в данную группу; $(1-p)$ — вероятность непопадания испытуемого в данную группу. Группы в когорте нумеруются в порядке убывания их долей. Для нахождения экстремумов функции L решается уравнение $L'=0$, где L' — производная от функции L. Все уравнения имеют два решения: 0 (минимум) и значение, приведённое с округлением до третьего знака после запятой в столбце МАХ (максимум). Сумма значений M по каждой когорте равна 1,000. Результаты (доли в %) указаны на рис. 1 и 2 около соответствующих групп.

В средних широтах (см. рис. 1) в когорте 20–29 лет есть две одномодальные группы (слабое и умеренное повышение активности СНС при ПНС на уровне вегетативного баланса), в которых различие в распределении испытуемых по уровню активности АНС имеет высокую значимость ($p < 0,001$). В аналогичной возрастной когорте жители Севера (см. рис. 2) распределены на три одномодальные группы (слабое

повышение активности СНС при ПНС от вегетативного баланса до умеренного снижения активности), в которых различие в распределении испытуемых по уровню активности АНС также имеет высокую значимость ($p < 0,001$).

В когорте 30–39 лет испытуемые, проживающие в средних широтах (см. рис. 1), имеют две одномодальные группы (СНС на уровне вегетативный баланс — слабое повышение, ПНС на уровне вегетативного баланса), в которых различие в распределении испытуемых по уровню активности АНС имеет высокую значимость ($p < 0,001$). В той же возрастной когорте испытуемых высоких широт (см. рис. 2) есть три одномодальные группы. Практически половина (45,6 %) испытуемых имеет показатели, которые присутствуют и в предыдущей когорте (20–29 лет), и в последующей (40–49 лет). При этом данная группа имеет высоко значимые отличия в распределении испытуемых по уровню активности АНС от двух других групп когорты ($p < 0,001$). Две прочие группы (33,8 и 20,6 %) имеют показатели, которых нет в когортах 20–29 и 40–49 лет, и также имеют высоко значимые отличия между собой в распределении испытуемых по уровню активности АНС ($p < 0,001$).

В когорте 40–49 лет средних широт (см. рис. 1) испытуемые распределяются на четыре одномодальные группы (различие между ними на уровне $p < 0,001$). У трёх групп (13,8, 27,5 и 27,7 %) показатели активности отделов АНС имеют разброс в пределах 1 балла по осям (СНС от вегетативного баланса до слабого повышения, ПНС от вегетативного баланса до слабого снижения). Четвёртая группа (31,0 %) имеет показатели на уровне следующей когорты (50–59 лет): слабое

повышение активности СНС и значительное снижение активности ПНС.

В когорте 40–49 лет и всех последующих испытуемые высоких широт (см. рис. 2) имеют только одну одномодальную группу: 40–49 лет, слабое повышение активности СНС и умеренное снижение активности ПНС; 50–59 лет, слабое повышение активности СНС и значительное снижение активности ПНС; 60–75 лет, вегетативный баланс активности СНС и значительное снижение активности ПНС. Распределение испытуемых средних широт (см. рис. 1) в когортах 50–59 и 60–75 лет аналогично таковому в соответствующих когортах северян.

Таким образом, изучение динамики активности отделов АНС у жителей высоких и средних широт выявило различие ($p < 0,001$) в распределении испытуемых в когортах 20–29, 30–39 и 40–49 лет. У жителей высоких широт в когортах 20–29 и 30–39 лет наблюдается максимальное разнообразие по вкладам СНС и ПНС в регуляцию СР, в то время как у жителей средних широт максимальное разнообразие наблюдается в когорте 40–49 лет. При этом распределение жителей Севера в когортах 20–29 и 30–39 лет отличается от сходных когорт жителей средних широт: доли северян с более низким вкладом ПНС в регуляцию СР больше, чем в средних широтах ($p < 0,001$).

Обсуждение результатов

При анализе материалов исследования нами было установлено, что наиболее важным показателем в состоянии оперативного покоя для оценки величины аллостатической нагрузки на организм является активность ПНС. При этом у северян в когорте 30–39 лет появляются группы, которые по уровню симпатикотонии не имеют аналогов в других когортах ($p < 0,001$), а по уровню снижения активности ПНС также не имеют аналогов ($p < 0,001$) ни в предыдущей, ни в последующей когорте (см. рис. 2). Такие группы мы отнесли к группам риска в отношении срыва адаптации. У жителей средних широт такая группа появляется только в когорте 40–49 лет (см. рис. 1), причём аналогичный уровень активности СНС (слабое повышение) есть в одной из групп «своей» когорты, в одной группе из когорты 30–39 лет и в одной группе из когорты 20–29 лет, но уровень активности ПНС (значительное снижение) есть в следующей когорте 50–59 лет (и нет во всех предыдущих). Также показано, что в более «старших» когорте (у северян с 40 лет, у жителей средних широт с 50 лет) испытуемых представляют собой более гомогенные группы с активностью АНС, которая не различается в соответствующих когорте северян и жителей средних широт ($p < 0,001$).

Следует отметить, что выявленные возрастные особенности в активности АНС у жителей Севера и средних широт отличаются от ожидаемых для нормативных возрастных групп. Согласно используемой модели показателей АНС [29], построенной по резуль-

татам изучения 10 тысяч испытуемых (жители США), уровень показателя ПНС при нормативной динамике снижается за каждое десятилетие (в среднем) на один уровень: от ПНС = +3 (уровень значительного повышения) для возраста 20 лет и моложе, до ПНС = –3 (уровень значительного снижения) для возраста 70 лет и старше.

Полимодальное распределение испытуемых в более «молодых» когорте и снижение вклада ПНС в активность АНС может свидетельствовать, с одной стороны, о более высокой нагрузке на организм жителей Севера со стороны окружающей среды, а с другой – о том, что, вероятно, когорты 20–29 и 30–39 лет у жителей Севера более уязвимы к давлению факторов окружающей среды, чем у жителей средних широт. Опираясь на теорию «дизруптивного отбора» И. И. Шмальгаузена [32], разделяющего популяцию на отдельные группы с разными типами регуляции, которые обусловлены индивидуальными стратегиями выживания, можно предположить, что такой отбор порождает полимодальный характер регуляции СР в этих когорте.

Отметим тот факт, что в когорте северян 30–39 лет имеются испытуемые с таким низким уровнем показателя ПНС, который отсутствует в следующей возрастной когорте. Возможно, что те северяне (40 и старше лет), которые исчерпали свои резервы, далее либо покидают работу, либо уезжают с Севера, либо умирают. В то же время в средней полосе России ухудшение резервных возможностей носит не резкий, постепенный характер.

Таким образом, треть испытуемых средних широт в возрастной когорте от 40 до 49 лет относятся к группе риска, поскольку они имеют существенно сниженные резервные возможности регуляции ритма СР, о чем можно судить по уровню активности ПНС. Объяснением наблюдаемым сдвигам в данной возрастной категории могут быть начинающиеся гормональные возрастные изменения у мужчин и женщин [22]. Дополнительным свидетельством физиологических различий в функционировании организма северян и жителей средних широт являются данные, которые показывают задержку темпов морфофункционального возрастного развития головного мозга детей-северян [27, 28], замедление темпов возрастного развития гормональной и иммунной систем [9], нарушение лёгочной вентиляции [14].

Ранее нами было показано, что затраты организма на физиологическую адаптацию в экстремальных арктических условиях усиливают тенденции развития дизадаптивных процессов [15], которые обуславливают ускоренное старение, а перестройка метаболизма и нарушение психоэмоциональных форм реагирования за счёт дисбаланса вегетативной регуляции усиливает тенденции роста сердечно-сосудистой патологии.

Таким образом, возрастная динамика регуляции СР у жителей высоких и средних широт в сходных возрастных группах различается: у жителей высоких широт наблюдается снижение резервных возможностей

организма уже в пределах возрастных когорт 20–29 и 30–39 лет, в то время как у жителей средних широт такое снижение происходит в возрастной когорте 40–49 лет. Снижение вклада ПНС в регуляцию СР у жителей Севера в возрастных когортах 20–29 и 30–39 лет свидетельствует о высокой чувствительности населения, относящегося к этим возрастным группам, к воздействующим факторам среды разной природы. Повышенная степень уязвимости в указанных возрастных когортах предполагает воздействие на них дизруптивного отбора, в результате которого в определённой группе людей может происходить срыв адаптации.

Использованный в данном исследовании метод оценки адаптационного потенциала у населения на основе оценки вклада ПНС в регуляцию СР открывает перспективы для выявления групп риска в различных возрастных когортах населения, проживающего в высоких широтах. С позиций концепции аллостаза у людей, длительно проживающих в Арктике, вырабатывается точная и дозированная ответная реакция нервной и гуморальной систем на действие внешнесредовых факторов, которая отличается от избыточного реагирования у приезжих и новосёлов Севера. Это объясняет большую уязвимость двух последних групп.

Отметим также, что специфичность (и дискретность) распределения испытуемых по баллам активности ПНС и СНС накладывает запрет на использование большинства общепотребимых статистических критериев. Было найдено решение — разбивать на одномодальные группы (подобно тому, как К. Пирсон с помощью выделения на основе мод нескольких нормальных распределений из одного эмпирического распределения описал статистические показатели двух разных видов крабов для У. Уэлдона [6]) и сравнивать сами распределения. В качестве рекомендации для дальнейших исследований адаптации человека в условиях Севера мы предлагаем уточнять особенности распределения испытуемых по активности АНС в возрастных когортах и на этой основе определять (количественно) интенсивность адаптационной нагрузки на человека.

Заключение

Полученные результаты отражают динамику регуляции СР у работающих жителей Заполярья (вплоть до пожилого возраста), которые прошли успешную адаптацию и продолжают трудовую деятельность, несмотря на возраст. Повышенная флуктуация уровня активности ПНС у северян в более молодых возрастных когортах (20–29 и 30–39 лет) по сравнению с аналогичными когортами жителей средней полосы свидетельствует, что часть населения северных территорий не имеет физиологических резервов для успешной адаптации в высоких широтах. Эта часть населения представляет собой группу риска. В то же время в возрастной когорте 40–49 лет распределение уровня активности ПНС у северян выглядит лучше, а в 50–59 и 60–75 лет не отличается от такового

у жителей средней полосы. Полученные результаты с позиции теории аллостаза позволяют выявить наиболее уязвимые возрастные периоды в жизни северян, а также свидетельствуют о необходимости ранней диагностики состояния организма работающего населения.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума РАН в рамках «Программы поисковых фундаментальных исследований в интересах арктической зоны РФ», гранта РГНФ № 14-16-51003, проекта Администрации Мурманской области «Влияние социально-экономических условий на оценку качества жизни представителей различных групп населения Кольского Севера» и гранта РГНФ 14-06-00195 «Прогностическая значимость латеральных признаков в оценке психологических и психофизиологических параметров на разных этапах онтогенеза человека».

Список литературы

1. Анисимов В. Н., Виноградова И. А., Букалев А. В., Борисенков М. Ф., Попович И. Г., Забежский М. А., Панченко А. В., Тындык М. Л., Юрова М. Н. Световой десинхроноз и риск злокачественных новообразований у человека: состояние проблемы // Вопросы онкологии. 2013. Т. 59, № 3. С. 302–313.
2. Баевский Р. М., Берсенева А. П., Луцицкая Е. С., Слепченкова И. Н., Черникова А. Г. Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей. М.: Слово, 2009. 100 с.
3. Белишева Н. К. Вклад высокоширотных гелиогеофизических агентов в заболеваемость населения Евро-Арктического региона // Вестник Уральской медицинской академической науки. Екатеринбург, 2014. № 2 (48). С. 5–11.
4. Белишева Н. К., Петров В. Н. Проблема здоровья населения в свете реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации // Труды Кольского научного центра РАН. 2013. Вып. 4. С. 151–173.
5. Бочаров М. И., Кривошеков С. Г., Ануфриев Г. Н. Гендерные особенности нейротизма и вегетативной регуляции у молодых людей Севера России // Экология человека. 2015. № 4. С. 3–13.
6. Возможно да, возможно нет. Фишер. Статистический вывод / пер. с итал. М.: Де Агостини, 2015. 176 с.
7. Гудков А. Б., Кубушка О. Н. Проходимость воздухоносных путей у детей старшего школьного возраста — жителей Европейского Севера // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 3. С. 84–91.
8. Гундаров И. А., Зильберт Н. Л. Изучение региональных различий в заболеваемости и смертности населения с позиций синдрома географической широты // Вестник АМН СССР. 1991. № 11. С. 52–56.
9. Добродеева Л. К., Евсеева И. В. Характер иммунного дисбаланса у коренных жителей Севера России // Медицинская иммунология. 1999. Т. 3–4. С. 59.
10. Добродеева Л. К., Сенькова Л. В., Московская Н. Б. Экологически зависимые изменения иммунитета на Севере // Физиологические закономерности гормональных, метаболических, иммунологических изменений в организме человека на Европейском Севере. Сыктывкар, 1997. С. 116.
11. Зубец А. Н., Тарба И. В. Качество жизни в России // Финансы. 2013. № 12. С. 68–70.

12. Казначеев В. П. Современные аспекты адаптации. Новосибирск : Наука, 1980. 191 с.
13. Карпин В. А., Гудков А. Б., Катюхин В. Н., Зуевская Т. В., Игнатов Н. К., Мусатова Н. В. Мониторинг заболеваемости коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека. 2003. № 3. С. 3–8.
14. Ким Л. Б. Состояние внешнего дыхания у жителей Крайнего Севера в зависимости от возраста и полярного стажа // Бюллетень СО РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 18–23.
15. Кривошеков С. Г. Биоритмологические маркеры дизадаптации при вахтовом труде на Севере // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2012. Т. 98, № 1. С. 57.
16. Кривошеков С. Г., Леутин В. П., Чухрова М. Г. Психофизиологические аспекты незавершенных адаптаций. Новосибирск, 1998. 100 с.
17. Лейтес С. М. Правило исходного состояния и его значение в физиологии и патологии // Проблемы регуляции обмена веществ в норме и патологии. М. : Медицина, 1973. С. 5–23.
18. Марков А. Л. Сердечно-сосудистая система и вегетативная регуляция ритма сердца у мужчин Европейского Севера при длительном мониторинге: диссертация канд. мед. наук. Сыктывкар, 2012. 136 с.
19. Мартынова А. А., Пряничников С. В., Петрашова Д. А., Пекарь Т. С., Мельник Н. А., Белишева Н. К. Психофизиологическое состояние организма работников горно-рудного производства в высоких широтах // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13, № 1 (7). С. 1783–1787.
20. Меркулов М. В., Голубев И. О., Крупаткин А. И. Влияние симпатэктомии на регенерацию периферических нервов после аутонейропластики у человека // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 2. С. 91.
21. Никитин Ю. П., Хаснулин В. И., Гудков А. Б. Современные проблемы северной медицины и усилия учёных по их решению // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2014. № 3. С. 63–72.
22. Николаева Е. И. Психофизиология. М. : Пер Се, 2008. 624 с.
23. Николаева Е. И., Вергунов Е. Г., Ельникова О. Е. Модель устойчивой адаптации хронически больных людей с использованием вариабельности кардиоритма // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 1580–1580.
24. Панин Л. Е., Соколов В. П. Психосоматические взаимоотношения при хроническом эмоциональном напряжении. Новосибирск. 1981. 177 с.
25. Рожков В. П., Белишева Н. К., Мартынова А. А., Сороко С. И. Психофизиологические эффекты гелиогеомагнитных и метеотропных явлений у лиц, проживающих в высоких широтах // Физиология человека. 2014. Т. 40, № 4. С. 51–64.
26. Сороко С. И., Бекшаев С. С., Белишева Н. К., Пряничников С. В. Амплитудно-частотные и пространственно-временные перестройки биоэлектрической активности мозга человека при сильных возмущениях геомагнитного поля // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 111–122.
27. Сороко С. И., Бекшаев С. С., Рожков В. П. ЭЭГ корреляты генофенотипических особенностей возрастного развития мозга у детей аборигенного и пришлого населения Северо-Востока России // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2012. Т. 98, № 1. С. 3–26.
28. Сороко С. И., Бурых Э. А., Бекшаев С. С., Сидоренко Г. В., Сергеева Е. Г., Хованских А. Е., Кормилицын Б. Н., Моралев С. Н., Ягодина О. В., Добродеева Л. К., Максимова И. А., Протасова О. В. Особенности формирования системной деятельности головного мозга и вегетативных функций у детей в условиях Европейского Севера (проблемная статья) // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2006. Т. 92, № 8. С. 905–929.
29. Рифтин А. Д. Анализ сердечного ритма, его «краеугольная» проблема и применение инструментов искусственного интеллекта для её решения // Вестник психофизиологии. 2015. № 2. С. 69–79.
30. Ткачев А. В., Бойко Е. Р., Губкина З. Д., Раменская Е. Б., Суханов С. Г. Эндокринная система и обмен веществ у человека на Севере. Сыктывкар, 1992. 155 с.
31. Чащин В. П., Сюрин С. А., Гудков А. Б., Попова О. Н., Воронин А. Ю. Воздействие промышленных загрязнений атмосферного воздуха на организм работников, выполняющих трудовые операции на открытом воздухе в условиях холода // Медицина труда и промышленная экология. 2014. № 9. С. 20–26.
32. Шмальгаузен И. И. Происхождение наземных позвоночных. М. : Изд-во АН СССР, 1964. 272 с.
33. Faul F., Erdfelder E., Lang A. G., Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences // Behav Res Methods. 2007. 39 (2). P. 175–91. PMID: 17695343
34. Gunnar M. R., Quevedo K. The Neurobiology of Stress and Development // Ann. Rev. Psychol. 2007. Vol. 58. P. 145–173.
35. McEwen B. S. Central effects of stress hormones in health and disease: understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators // Eur J Pharmacol. 2008. Vol. 583 (2–3). P. 174–185.
36. McEwen B. S., Wingfield J. C. The concept of allostasis in biology and biomedicine // Horm. & Behav. 2003. Vol. 43. P. 2–15.
37. Nevill A. M., Atkinson G., Hughes M. D., Cooper S.-M. Statistical methods for analysing discrete and categorical data recorded in performance analysis // Journal of Sports Sciences. 2002. 20 (10), P. 829–844. DOI: 10.1080/026404102320675666
38. Riffine A. Method for Quantitative assessment of the Autonomic Nervous System based on Heart Rate Variability analysis. Patent: US 7,826,892 B2, Date: November 2, 2010.
39. Riffine A. Fitness Score assessment based on Heart Rate Variability analysis during orthostatic intervention. Patent: US 8,682,421 B2, Date: March 25, 2014.
40. Sterling P., Eyer J. Allostasis. A New Paradigm to Explain Arousal Pathology // Handbook of Life Stress, Cognition and Health. New York: John Wiley & Sons, 1988. P. 629–649.
41. Stiglitz J. E., Sen A., Fitoussi J.-P. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. 2009. 291 p.
42. Tereshchenko L., Doronina S. A., Pochinok E. M., Riffine A. Autonomic tone in patients with supraventricular arrhythmia associated with mitral valve prolapse in young men // Pacing and Clinical Electrophysiology. 2003. Vol. 26, N 1 II. P. 444–446. PMID: 12687863
43. Thayer J. F., Lane R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation // J. Affective Disorders. 2000. Vol. 61. P. 201–216.
44. Wilder L. Stimulus and response. The Law of initial value. Bristol: Wright J. & Sons, Ltd, 1967. 352 p.

References

1. Anisimov V. N., Vinogradova I. A., Bukalev A. V., Borisenkov M. F., Popovich I. G., Zabezhinskii M. A., Panchenko A. V., Tyndyk M. L., Yurova M. N. Light desynchronization and the risk of malignancies in humans: the state of the problem. *Voprosy onkologii* [Problems of oncology]. 2013, 59 (3), pp. 302-313. [in Russian]
2. Baevskii R. M., Berseneva A. P., Luchitskaya E. S., Slepchenkova I. N., Chernikova A. G. *Otsenka urovnya zdorov'ya pri issledovanii prakticheski zdorovykh lyudei* [Assessment of the level of health in studies of healthy people]. Moscow. 2009. 100 p.
3. Belisheva N. K. The contribution of high-latitude heliogeophysical agents in morbidity Euro Arctic Region. *Vestnik Ural'skoi meditsinskoi akademicheskoi nauki* [Bulletin of the Ural Medical academia]. 2014, 2 (48), pp. 5-11. [in Russian]
4. Belisheva N. K., Petrov V. N. The problem of public health in the light of the development strategy of the Russian Arctic. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Kola Scientific Center RAS.]. 2013, 4, pp. 151-173. [in Russian]
5. Bocharov M. I., Krivoshchekov S. G., Anufriev G. N. Gender features of neurotism and vegetativeeegulacii u molodih ludey Severa Rossii. *Ekologia cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 4, pp. 3-13. [in Russian]
6. *Vozmozhno da, vozmozhno net. Fisher. Statisticheskii vyvod* [Perhaps yes, maybe not. Fisher. Statistical Inference], transl. from Italian. Moscow, 2015, 176 p.
7. Gudkov A. B., Kubushka O. N. Airway conductance in high school students living in the European North. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2006, 32 (3), pp. 84-91. [in Russian]
8. Gundarov I. A., Zil'bert N. L. The study of regional differences in the incidence and mortality from the standpoint syndrome latitude. *Vestnik AMN SSSR* [Herald of the USSR Academy of Medical Sciences]. 1991, 11, pp. 52-56. [in Russian]
9. Dobrodeeva L. K., Evseeva I. V. The nature of the immune imbalance in the indigenous population of the Russian North. *Meditsinskaya immunologiya* [Medical immunology]. 1999, 3-4, p. 59. [in Russian]
10. Dobrodeeva L. K., Sen'kova L. V., Moskovskaya N. B. *Ekologicheski zavisimye izmeneniya immuniteta na Severe* [Eco-dependent changes in the immune system in the North]. In: *Fiziologicheskie zakonomernosti gormonal'nykh, metabolicheskikh, immunologicheskikh izmenenii v organizme cheloveka na Evropeiskom Severe* [Physiological patterns of hormonal, metabolic, immunologic changes in the human body in the European North]. Syktyvkar, 1997, p. 116.
11. Zubets A. N., Tarba I. V. Quality of life in Russia. *Finansy* [Finances]. 2013, 12, pp. 68-70. [in Russian]
12. Kaznacheev V. P. *Sovremennye aspekty adaptatsii* [Current aspects of adaptation]. Novosibirsk, 1980, 191 p.
13. Karpin V. A., Gudkov A. B., Katyuhin V. N., Zuevskaya T. V., Ignatov N. K., Musatova N. V. Monitoring of the incidence of indigenous people of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2003, 3, pp. 3-8. [in Russian].
14. Kim L. B. Status of external breathing among residents of the Far North, depending on age and length of polar. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin SB RAMS]. 2010, 30 (3), pp. 18-23. [in Russian]
15. Krivoshchekov S. G. Biorythmological markers of disadaptation during shift work in the North. *Ros. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova* [Russian physiological journal of the named I. M. Sechenov]. 2012, 98 (1), p. 57. [in Russian]
16. Krivoshchekov S. G., Leutin V. P., Chukhrova M. G. *Psikhofiziologicheskie aspekty nezavershennykh adaptatsii* [Psychophysiological aspects of incomplete adaptation]. Novosibirsk, 1998, 100 p.
17. Leites S. M. *Pravilo iskhodnogo sostoyaniya i ego znachenie v fiziologii i patologii* [The rule of the initial state and its importance in physiology and pathology]. In: *Problemy regulatsii obmena veshchestv v norme i patologii* [Problems of regulation of metabolism in health and disease]. Moscow, 1973, pp. 5-23.
18. Markov A. L. *Serdechno-sosudistaya sistema i vegetativnaya regulatsiya ritma serdtsa u muzhchin Evropeiskogo Severa pri dlitel'nom monitoringe* [The cardiovascular system and the autonomic regulation of the heart rhythm in men of European North with long-term monitoring: the thesis Candidate of medical sciences]. Syktyvkar, 2012, 136 p.
19. Martynova A. A., Pryanichnikov S. V., Petrashova D. A., Pekar' T. S., Mel'nik N. A., Belisheva N. K. Psychophysiological condition of an organism of employees of mining production in the high latitudes. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2011, 13, 1 (7), pp. 1783-1787. [in Russian]
20. Merkulov M. V., Golubev I. O., Krupatkin A. I. Effect of sympathectomy on the regeneration of peripheral nerves after a person autodermodoplasty. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2015, 41 (2), p. 91. [in Russian]
21. Nikitin Yu. P., Khasnulin V. I., Gudkov A. B. Contemporary problems of Northern medicine and researchers' efforts to solve them. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskie nauki* [Vestnik of northern (arctic) federal university. Series: Medical and biological sciences]. 2014, 3, pp. 63-72. [in Russian]
22. Nikolaeva E. I. *Psikhofiziologiya* [Psychophysiology]. Moscow, 2008, 624 p.
23. Nikolaeva E. I., Vergunov E. G., El'nikova O. E. *Model' ustoychivoi adaptatsii khronicheskii bol'nykh lyudei s ispol'zovaniem variabel'nosti kardioritma* [A model of sustainable adaptation of chronically ill people with heart rate variability]. In: *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Contemporary problems of science and education]. 2015, 1, pp. 1580-1580. [in Russian]
24. Panin L. E., Sokolov V. P. *Psichosomaticheskie vzaimootnosheniya pri khronicheskom emotsional'nom napryazhenii* [Psychosomatic relationships in chronic emotional stress]. Novosibirsk, 1981, 177 p.
25. Rozhkov V. P., Belisheva N. K., Martynova A. A., Soroko S. I. Psychophysiological effects and meteopathic helio geomagnetic phenomena in people living at high latitudes. *Fiziologiya cheloveka* [Human physiology]. 2014, 40 (4), pp. 51-64. [in Russian]
26. Soroko S. I., Bekshaev S. S., Belisheva N. K., Pryanichnikov S. V. Amplitude-frequency and space-time adjustment of bioelectrical activity of the human brain during strong geomagnetic disturbances. *Vestnik SVNTs DVO RAN* [Journal of NESC FEB RAS]. 2013, 4, pp. 111-122. [in Russian].
27. Soroko S. I., Bekshaev S. S., Rozhkov V. P. EEG correlates gyno phenotypic characteristics of the age of brain development in children native and alien population of the North-East of Russia. *Ros. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova* [Russian physiological journal named I.M.Sechenov]. 2012, 98, 1, pp. 3-26. [in Russian].

28. Soroko S. I., Burykh E. A., Bekshaev S. S., Sidorenko G. V., Sergeeva E. G., Khovanskikh A. E., Kormilitsyn B. N., Moralev S. N., Yagodina O. V., Dobrodeeva L. K., Maksimova I. A., Protasova O. V. Peculiarities of formation of systemic activity of the brain and autonomic function in children in of European North (subject article). *Ross. fiziol. zhurn. im. I. M. Sechenova* [Russian physiological journal named I. M. Sechenov]. 2006, 92 (8), pp. 905-929. [in Russian]
29. Riftin A. D. Analysis of the heart rhythm, its "cornerstone" problem and the application of artificial intelligence tools to solve it. *Vestnik psikhofiziologii* [Bulletin of Psychophysiology]. 2015, 2, pp. 69-79. [in Russian]
30. Tkachev A. V., Boiko E. R., Gubkina Z. D., Ramenskaya E. B., Sukhanov S. G. *Endokrinnaya sistema i obmen veshchestv u cheloveka na Severe* [Endocrine system and metabolism in humans in the North]. Syktyvkar, 1992, 155 p.
31. Chashhin V. P., Sjurin S. A., Gudkov A. B., Popova O. N., Voronin A. Ju. Influence of industrial pollution of ambient air on health of workers engaged into open air activities in cold conditions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya* [Occupational Medicine and Industrial Ecology]. 2014, 9, pp. 20-26. [in Russian]
32. Shmal'gauzen I. I. *Proiskhozhdenie nazemnykh pozvonochnykh* [The origin of terrestrial vertebrates]. Moscow, 1964, 272 p.
33. Faul F., Erdfelder E., Lang A. G., Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007, 39 (2), pp. 175-91. PMID: 17695343.
34. Gunnar M. R., Quevedo K. The Neurobiology of Stress and Development. *Annu. Rev. Psychol.* 2007, 58, pp. 145-173.
35. McEwen B. S. Central effects of stress hormones in health and disease: understanding the protective and damaging effects of stress and stress mediators. *Eur J Pharmacol.* 2008, 583 (2-3), pp. 174-185.
36. McEwen B. S., Wingfield J. C. The concept of allostasis in biology and biomedicine. *Horm. & Behav.* 2003, 43, pp. 2-15.
37. Nevill A. M., Atkinson G., Hughes M. D., Cooper S.-M. Statistical methods for analysing discrete and categorical data recorded in performance analysis. *Journal of Sports Sciences.* 2002, 20 (10), pp. 829-844. DOI: 10.1080/026404102320675666
38. Riftine A. Method for Quantitative assessment of the Autonomic Nervous System based on Heart Rate Variability analysis. Patent: US 7,826,892 B2, Date: November 2, 2010.
39. Riftine A. Fitness Score assessment based on Heart Rate Variability analysis during orthostatic intervention. Patent: US 8,682,421 B2, Date: March 25, 2014.
40. Sterling P., Eyer J. Allostasis. A New Paradigm to Explain Arousal Pathology. *Handbook of Life Stress, Cognition and Health.* New York, John Wiley & Sons, 1988, pp. 629-649.
41. Stiglitz J. E., Sen A., Fitoussi J.-P. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress, 2009, 291 p.
42. Tereshchenko L., Doronina S. A., Pochinok E. M., Riftine A. Autonomic tone in patients with supraventricular arrhythmia associated with mitral valve prolapse in young men. *Pacing and Clinical Electrophysiology.* 2003, 26 (1, II), pp. 444-446. PMID: 12687863.
43. Thayer J. F., Lane R. D. A model of neurovisceral integration in emotion regulation and dysregulation. *J. Affective Disorders.* 2000, 61, pp. 201-216.
44. Wilder L. Stimulus and response. The Law of initial value. Bristol, Wright J. & Sons, Ltd, 1967, 352 p.

Контактная информация:

Кривощёков Сергей Георгиевич — доктор медицинских наук, профессор, заведующий лабораторией функциональных резервов организма ФГБНУ «Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины»
 Адрес: 630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4
 E-mail: krivosch@physiol.ru