

## ВАРИАНТЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ И БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА В ОТВЕТ НА ХОЛОД У МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ

© 2020 г. Е. В. Кривоногова, Д. Б. Демин, О. В. Кривоногова, Л. В. Поскотинова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова УрО РАН, г. Архангельск

**Цель** – определение вариантов изменений показателей электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и показателей сердечно-сосудистой системы в ответ на кратковременное общее воздушное охлаждение организма у молодых людей. **Методы.** Были обследованы здоровые мужчины 18–21 года, которые родились и проживают в г. Архангельске. Спектральную мощность ЭЭГ-ритмов оценивали на электроэнцефалографе («Нейрософт», Россия), параметры variability сердечного ритма (BCP) регистрировали на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», Россия), температуру поверхности кожи измеряли электронным инфракрасным термометром B. Well WF-1000 (Швейцария), артериальное давление (АД) – автоматическим тонометром A&D Medical UA-668 (Япония). Все показатели измеряли в фоне, при общем охлаждении в холодной камере «УШЗ-25Н» (–20 °С, 10 минут), через 5 и 10 минут после охлаждения. **Результаты.** У молодых людей были определены два варианта изменения регуляторных систем в ответ на кратковременное общее охлаждение. В первом варианте во время охлаждения больше снижается температура поверхности тела, увеличиваются АД, показатели BCP (RMSSD, pNN50%, TP) и минимально изменяется биоэлектрическая активность головного мозга. В восстановительный период систолическое АД не снижается и показатели BCP восстанавливаются медленным темпом, что свидетельствует о напряжении функционирования регуляторных систем организма в ответ на холод. Во втором варианте при охлаждении происходит меньшее снижение температуры поверхности тела, усиление  $\alpha$ - $\theta$  активности ЭЭГ в передневисочных отделах головного мозга и  $\theta$ -активности ЭЭГ в лобных областях справа, повышение BCP (SDNN, pNN50%, RMSSD, TP), АД с возвратом к исходным значениям после прекращения воздействия холода, что отражает более успешную приспособительную реакцию на него. **Выводы.** Таким образом, выявленные варианты отражают особенности приспособительных реакций регуляторных систем организма на холод.

**Ключевые слова:** холод, электроэнцефалограмма, variability сердечного ритма, артериальное давление, температура поверхности тела

## CHANGES IN CARDIOVASCULAR INDICES AND BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN IN RESPONSE TO COLD EXPOSURE IN YOUNG MEN

E. V. Krivonogova, D. B. Demin, O. V. Krivonogova, L. V. Poskotinova

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia

**The aim** was to study changes in cardiovascular indices and electroencephalogram (EEG) characteristics in response to short-term general air cooling of the body in young adults. **Methods.** The sample consisted of 13 healthy men aged 18–21 years who were permanent residents of the city of Arkhangelsk (Northwest Russia). The spectral power (SP) of EEG rhythms was assessed using an electroencephalograph (Neurosoft, Russia). Heart rate variability (HRV) was measured using Varikard equipment (Ramena, Russia). Temperature of the skin surface was measured with an electronic infrared thermometer B Well WF - 1000 (Switzerland). Blood pressure were recorded with an automatic tonometer A&D Medical UA-668 (Japan). All indicators were measured prior to the exposure, under cold exposure in the cold chamber "USF-25N" (–20C, 10 minutes) and 5 and 10 minutes after the exposure. **Results.** Two types of changes in the study parameters were identified. In type I reaction there was a greater decrease in body surface temperature, an increase in blood pressure (BP), HRV indicators (RMSSD, pNN50%, TP) and minimal changes in the bioelectrical activity of the brain during the exposure. During the recovery period, systolic BP did not decrease and HRV indicators recovered slowly. In type II reaction, there was a smaller decrease in body surface temperature, an increase in the  $\alpha$ - $\theta$  activity of the EEG in the anterotemporal regions of the brain and an increase in the  $\theta$ -activity of the EEG in the frontal regions on the right combined with an increase in HRV (SDNN, pNN50%, RMSSD, TP), an increase in BP during exposure with return to initial values after the exposure. **Conclusions.** We identified two types of reactions to cold exposure in young men that may reflect the heterogeneity of adaptive reactions of the body's regulatory systems to cold.

**Key words:** cold, EEG, heart rate variability, blood pressure, body surface temperature

### Библиографическая ссылка:

Кривоногова Е. В., Демин Д. Б., Кривоногова О. В., Поскотинова Л. В. Варианты изменения показателей сердечно-сосудистой системы и биоэлектрической активности головного мозга в ответ на холод у молодых людей // Экология человека. 2020. № 11. С. 20–26.

### For citing:

Krivonogova E. V., Demin D. B., Krivonogova O. V., Poskotinova L. V. Changes in Cardiovascular Indices and Bioelectric Activity of the Brain in Response to Cold Exposure in Young Men. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 11, pp. 20–26.

Изучение реактивности регуляторных систем организма человека на холод важно с точки зрения как адаптивных реакций, так и профилактических аспектов. Люди живут и работают в холодных погодных условиях (низкая температура, сильные ветры, низкая солнечная радиация), а стресс от холода редко является ограничивающим фактором. Индивидуальная восприимчивость организма к острому воздействию холода зависит от его морфофункциональных особенностей, уровня метаболической активности, а также от климатогеографических условий его постоянного места жительства. К особенностям функционального состояния систем на Севере относят выраженную активность центрального звена гипоталамо-гипофизарной системы, системы «гипофиз — щитовидная железа», повышенный уровень тиреотропного гормона [4], кортизола, увеличение экскреции адреналина и норадреналина (в моче) [3]. Эти особенности эндокринной системы могут влиять и на механизмы центрального возбуждения [5], на онтогенетическое становление структуры биоритмов головного мозга. У жителей арктических территорий могут формироваться особые паттерны биоэлектрической активности головного мозга, которые можно рассматривать как адаптивные [11]. Электрофизиологические исследования показали разнонаправленные изменения холодового воздействия на спонтанную колебательную активность мозга [12, 16]. В литературе отмечается вариативность реакций сердечно-сосудистой системы на кратковременный холодовой тест [6, 8]. Цель исследования заключалась в определении вариантов направленности изменений ритмов электроэнцефалограммы (ЭЭГ) и показателей сердечно-сосудистой системы в ответ на кратковременное общее воздушное охлаждение организма.

### Методы

Обследованы 15 практически здоровых мужчин в возрасте 18–21 года (средний возраст  $19,9 \pm 1,2$  года), которые родились и проживают в г. Архангельске. Исследование было одобрено Этическим комитетом ФИЦКИА РАН (протокол № 2 от 28.03.2018). Все лица, участвующие в исследовании, дали согласие на участие и подписали информированное согласие. Индекс массы тела молодых людей не выходил за границы нормальных значений (от 18,5 до 24,9 кг/м<sup>2</sup>). В ходе эксперимента испытуемые были одеты в однотипную одежду — кроссовки, хлопчатобумажные брюки, футболку и медицинский халат. Исследование проводилось в январе и феврале в первой половине дня.

В процессе обследования у молодых людей регистрировали параметры синхронной записи ЭЭГ и вариабельности сердечного ритма (ВСР) (5 минут), температуры в слуховом проходе (Тсл) и кожного покрова кисти (Тк) в помещении при комнатной температуре (1 этап — Фон), с 5-й по 10-ю минуту нахождения в холодовой камере «УШЗ-25Н» ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) (2 этап — Холод), через 5 (3 этап) и 10 минут (4 этап) после выхода из холодовой камеры. Артериальное да-

вление (АД) измеряли до холодовой камеры в теплом помещении (1 этап — Фон), сразу (2 этап — Холод) и через 10 минут (4 этап) после выхода из камеры.

Спектральную мощность (СМ)  $\theta$ - (4–7 Гц),  $\alpha$ - (8–13 Гц) активности ЭЭГ регистрировали по 16 каналам (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2) по международной системе «10–20 %» размещения электродов на поверхности головы (референтные электроды на мочках ушей) в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами в положении сидя с помощью портативного электроэнцефалографа (Нейрон-Спектр-СМ «Нейрософт», Россия). Состояние вегетативной нервной системы оценивали по показателям ВСР на аппаратно-программном комплексе «Варикард» (Россия). Использовали временной и спектральный виды анализа. Оценивались показатели: частота сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин), стандартное отклонение NN-интервалов (SDNN), квадратный корень из суммы квадратов разности величин между смежными NN-интервалами (RMSSD) и процент количества пар, в которых разница между длительностью последовательных NN-интервалов превышает 50 мс (PNN50%), индекс напряжения регуляторных систем (SI, усл. ед.), суммарная мощность спектра ВСР (TP, мс<sup>2</sup>) [9]. Артериальное давление измеряли осциллометрическим методом с помощью автоматического тонометра A&D Medical UA-668 (Япония). Тк и Тсл регистрировали медицинским электронным инфракрасным термометром B. Well WF-1000 (Швейцария). Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 13. Согласно критерию Shapiro-Wilk, распределение количественных данных отличалось от нормального, поэтому использовали непараметрические методы. Описание выборки выполняли с помощью медианы и 25- и 75-го перцентилей Me (25p; 75p). Кластеризацию полученных результатов осуществляли методом к-средних, предварительно было проведено z-преобразование данных с целью уменьшения асимметрии при распределении переменных. При сравнении количественных данных двух независимых групп использовали критерий Манна — Уитни. Для анализа повторных измерений применяли критерий Фридмана. Для оценки взаимосвязи исследуемых параметров использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

### Результаты

Для выделения однородных групп по исходным значениям и по изменениям СМ  $\alpha$ -активности ЭЭГ, параметров ВСР, Тк и Тсл в ответ на воздействие холодом был проведен кластерный анализ, который показал существование двух значительно различающихся типов реакций. По исходным значениям Тк и Тсл у молодых людей разных кластеров не различалась. На 10-й минуте нахождения в холодовой камере Тк и Тсл снижались (рис. 1), при этом у молодых людей кластера I Тсл в ответ на холод снижалась более выражено ( $p = 0,03$ ). На 3-м этапе исследования у

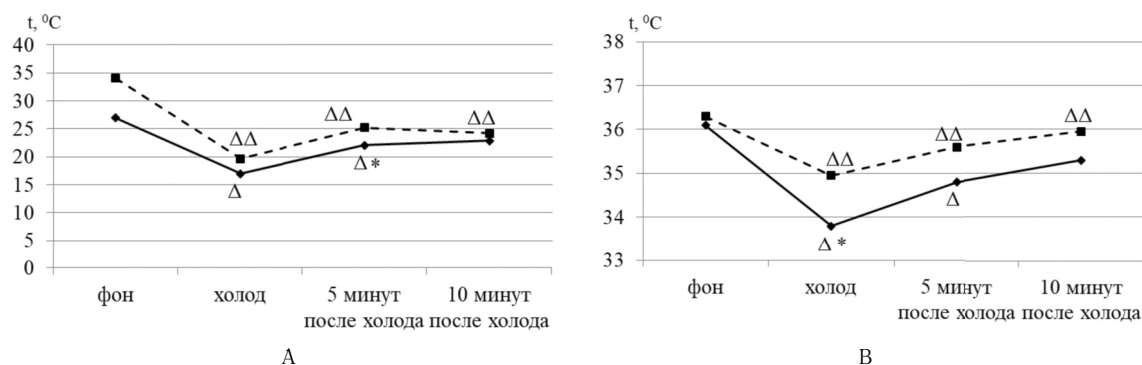


Рис. 1. Изменение температуры кожного покрова кисти (А) и в слуховом проходе (В) на этапах исследования  
Примечания: сплошная линия — кластер I; пунктирная линия — кластер II; \* —  $p < 0,05$ , различия статистически значимы между кластерами, Δ —  $p < 0,05$ , ΔΔ —  $p < 0,01$ , различия статистически значимы по сравнению с фоном.

молодых людей независимо от кластера сохранялась более низкая температура поверхности тела в сравнении с фоном. На 4-м этапе у представителей кластера I Тк и Тсл восстанавливалась до фоновых значений в отличие от молодых людей кластера II, у которых температура находилась на более низком уровне.

По параметрам ВСР молодые люди кластера I отличались более низкими исходными значениями SDNN, RMSSD, pNN50%, TP и высокими значениями SI по сравнению с лицами кластера II (таблица). В ответ на кратковременное общее воздушное охлаждение организма у представителей кластера I регистрировалось повышение RMSSD ( $p = 0,04$ ), pNN50% ( $p = 0,04$ ), TP ( $p = 0,04$ ) и снижение SI ( $p = 0,04$ ). У молодых людей кластера II повышались значения SDNN ( $p = 0,005$ ), RMSSD ( $p = 0,006$ ), pNN50% ( $p = 0,005$ ), TP ( $p = 0,006$ ) и снижались SI ( $p = 0,005$ ), ЧСС ( $p = 0,01$ ).

На 3-м этапе исследования у молодых людей кластера I сохранялись более высокие значения параметров RMSSD ( $p = 0,04$ ), pNN50% ( $p = 0,04$ ), SDNN ( $p = 0,04$ ) и TP ( $p = 0,04$ ) и низкий SI ( $p = 0,04$ ) по сравнению с фоном, а также снизилась ЧСС ( $p = 0,04$ ). У молодых людей кластера II параметры ВСР возвращались к исходным значениям, оставалась лишь более низкая ЧСС ( $p = 0,005$ ). На 4-м этапе исследования в кластере I показатели ВСР достигали исходных значений.

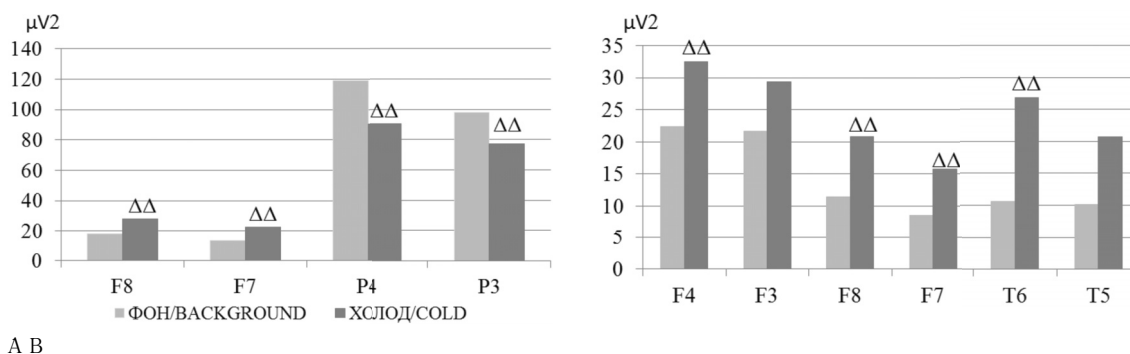
Исходные показатели систолического и диастолического АД (САД и ДАД) не различались у молодых людей разных кластеров (см. таблицу). У лиц кластера I при воздействии холода повышалось ДАД ( $p = 0,04$ ) и САД ( $p = 0,04$ ). Через 10 минут после воздействия холода ДАД возвращалось к фоновым значениям, а САД было на более высоком уровне по сравнению с фоном ( $p = 0,04$ ). В ответ на холод у молодых людей кластера II повысились значения САД ( $p = 0,005$ ) и ДАД ( $p = 0,005$ ) по сравнению с фоном, спустя 10 минут они возвращались к фоновым значениям.

У молодых людей кластера I в отличие от сверстников кластера II в фоне отмечалась статистически более высокая СМ α- и θ-активности ЭЭГ практически во всех отделах головного мозга (рис. 2).

**Показатели вариабельности сердечного ритма и артериального давления на этапах исследования, Ме (25p; 75p)**

Показатель	Кластер I (n = 5)	Кластер II (n = 10)	p — value
<b>Фон (1 этап)</b>			
ЧСС, уд/мин	74,7 (70,7; 83,4)	73,2 (67,8; 76,2)	0,461
RMSSD, мс	22,8 (22,4; 23,1)	46,6 (34,4; 53,8)	0,012
SDNN, мс	40,2 (30,8; 42,4)	61,2 (51,2; 68,3)	0,011
pNN50%	2,3 (2,3; 3,9)	24,8 (10,2; 36,6)	0,033
TP, мс <sup>2</sup>	1286,3 (1149,0; 1458,9)	3806,3 (2478,2; 3885,7)	0,012
SI, усл. ед.	177,9 (111,4; 229,0)	69,1 (50,9; 91,9)	0,023
САД, мм рт. ст.	122 (120; 124)	122 (114; 130)	0,814
ДАД, мм рт. ст.	83 (82; 84)	84 (81; 86)	0,801
<b>Холод (2 этап)</b>			
ЧСС, уд/мин	77,2 (72,7; 78,5)	67,1 (64,3; 71,5) ΔΔ	0,011
RMSSD, мс	48,8 (32,3; 57,9) Δ	66,3 (50,3; 93,9) ΔΔ	0,112
SDNN, мс	72,3 (71,7; 86,6)	83,4 (78,1; 131,4) ΔΔ	0,544
pNN50%	16,3 (9,7; 34,3) Δ	36,6 (26,7; 51,8) ΔΔ	0,116
TP, мс <sup>2</sup>	4547,3 (2226,5; 6654,0) Δ	5627,8 (3670,8; 13953,5) ΔΔ	0,542
SI, усл. ед.	53,8 (39,2; 56,2) Δ	37,1 (17,6; 53,6) ΔΔ	0,337
САД, мм рт. ст.	130 (123; 130) Δ	133 (129; 138) ΔΔ	0,461
ДАД, мм рт. ст.	98 (92; 102) Δ	88 (85; 102) ΔΔ	0,533
<b>Через 5 минут после холода (3 этап)</b>			
ЧСС, уд/мин	65,1 (64,9; 66,3) Δ	61,8 (60,4; 67,3) Δ	0,465
RMSSD, мс	43,9 (30,7; 46,6) Δ	60,2 (44,6; 81,5)	0,084
SDNN, мс	57,1 (44,0; 61,7) Δ	63,6 (51,9; 79,5)	0,461
pNN50%	10,1 (6,8; 25,3) Δ	35,3 (19,9; 46,5)	0,081
TP, мс <sup>2</sup>	2826,4 (2668,9; 3972,1) Δ	4348,4 (3206,1; 8134,7)	0,223
SI, усл. ед.	62,1 (54,9; 102,6) Δ	53,4 (30,4; 71,6)	0,271
<b>Через 10 минут после холода (4 этап)</b>			
ЧСС, уд/мин	68,8 (65,4; 70,4) Δ	64,1 (62,4; 69,9) ΔΔ	0,461
RMSSD, мс	32,9 (28,2; 40,3)	52,0 (34,4; 74,9)	0,180
SDNN, мс	36,5 (34,5; 36,5)	65,4 (50,1; 76,6)	0,007
pNN50%	13,5 (7,7; 15,1)	31,3 (13,3; 53,9)	0,111
TP, мс <sup>2</sup>	1244,2 (1057,2; 2416,5)	4147,2 (2072,6; 5057,2)	0,023
SI, усл. ед.	170,5 (137,6; 192,1)	49,1 (34,9; 84,4)	0,011
САД, мм рт. ст.	130 (120; 130) Δ	123 (121; 130)	0,214
ДАД, мм рт. ст.	89 (89; 90)	84 (78; 90)	0,571

Примечание. Δ —  $p < 0,05$ , ΔΔ —  $p < 0,01$ , различия статистически значимы по сравнению с фоном.



A B

Рис. 2. Спектральная мощность  $\alpha$ -(А) и  $\theta$ -(В) активности ЭЭГ у молодых людей кластера II.Примечание.  $\Delta\Delta$  –  $p < 0,01$ , различия статистически значимы по сравнению с фоном.

На 2-м этапе исследования у молодых людей кластера I не было выявлено изменений СМ ЭЭГ по сравнению с фоном. У представителей кластера II повышалась СМ  $\alpha$ -активности ЭЭГ в передневисочных отделах головного мозга (F8,  $p = 0,006$ , F7,  $p = 0,006$ ) и снижалась в теменных (P4,  $p = 0,02$ , P3,  $p = 0,02$ ) (см. рис. 2). Спектральная мощность  $\theta$ -активности увеличивалась справа в лобных (F4,  $p = 0,006$ ), передневисочных (F8,  $p = 0,005$ ) и задневисочных (T6,  $p = 0,006$ ) отделах головного мозга и слева в передневисочном (F7,  $p = 0,005$ ) отделе в ответ на холод. Выявлены корреляционные связи СМ  $\theta$ -активности в отделах C4 ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,006$ ), F4, ( $r = -0,75$ ,  $p = 0,03$ ), F8 ( $r = -0,81$ ,  $p = 0,004$ ) с ЧСС. Показатель СМ  $\alpha$ -активности ЭЭГ в отделах F7 коррелировал с  $pNN50\%$  ( $r = 0,67$ ,  $p = 0,03$ ), SI ( $r = -0,75$ ,  $p = 0,01$ ).

### Обсуждение результатов

У молодых людей кластера I значение SI в фоне составило 177,9 (111,4; 229,0) усл. ед., что, согласно данным литературы [1], свидетельствует о преобладании симпатической нервной системы в регуляции ритма сердца. В этом кластере выявлены более низкие значения SDNN, RMSSD,  $pNN50\%$ , TP по сравнению с кластером II. У представителей кластера I отмечалась более высокая исходная СМ  $\alpha$ - и  $\theta$ -волн ЭЭГ, что говорит о преобладании активности гипоталамодизэнцефальных структур мозга [10]. У молодых людей кластера II значение SI в фоне составило 69,1 (50,9; 91,9) усл. ед., что соответствует нормотоническому типу вегетативной регуляции, а также отмечались более высокие значения SDNN, RMSSD,  $pNN50\%$ , TP по сравнению с представителями кластера I. По ЭЭГ регистрировалась более низкая СМ  $\alpha$ - и  $\theta$ -активности по сравнению с кластером I.

Во время охлаждения у молодых людей кластера I с исходным преобладанием симпатической активности в регуляции ритма сердца отмечались более низкие значения Тсл и Тк по сравнению с представителями кластера II, что свидетельствует о большем сужении поверхностных сосудов кожи. Вазомоторный ответ, опосредованный симпатической нервной системой, вызывающий сужение периферических сосудов, приводит к снижению периферического кровотока

и, таким образом, уменьшает потерю тепла организмом [14]. Однако активация симпатической нервной системы увеличивает восприимчивость к холодовым травмам, таким как обморожение у неаклиматизированных людей [14]. У лиц кластера II температура тела по абсолютным значениям снижалась меньше. Меньшее снижение температуры кожи отмечают у людей при адаптации к холоду, объясняя более ранним включением механизмов периферической вазодилатации [2]. После прекращения холода в кластере I через 10 минут Тсл и Тк возвращалась к исходным значениям, а в кластере II не восстанавливалась до фоновых показателей.

Общее охлаждение, как правило, приводит к нарастанию системного АД крови, ЧСС, что связывают с повышением активности симпатической нервной системы. В кластере I отмечалось статистически значимое повышение САД, ДАД и на уровне тенденции увеличение ЧСС. У молодых людей кластера II регистрировалось повышение САД, ДАД при воздействии холода и как отражение барорефлекторной реакции в ответ на повышение давления в магистральных сосудах снижалась ЧСС. В кластере II ДАД меньше повысилось в ответ на холод по сравнению с кластером I, но на уровне тенденции. По данным литературы [17], при адаптации к холоду отмечается меньшее увеличение ДАД при охлаждении. Через 10 минут после прекращения воздействия холода САД и ДАД у молодых людей кластера II возвращалось к исходным значениям, а в кластере I значения САД не восстанавливались. Задержка восстановления САД после холодового стресса может свидетельствовать о напряжении работы регуляторных систем [18].

У молодых людей обоих кластеров отмечалось увеличение RMSSD,  $pNN50\%$ , TP и снижение SI в ответ на холод, что соответствует увеличению и парасимпатического звена регуляции. У лиц кластера I показатели ВСР восстанавливались до фоновых значений через 10 минут, у молодых людей кластера II они соответствовали фоновым значениям уже через 5 минут после холода. В литературе имеются данные, что на фоне достаточно высоких значений SDNN восстановление сердечного ритма после нагрузок происходит быстрее [7], что, по нашим результатам, соответствует кластеру II.

Воздействие холода по-разному отразилось на топографических изменениях СМ ЭЭГ у обследованных лиц. У молодых людей кластера I изменения биоэлектрической активности головного мозга были минимальны. У лиц кластера II отмечалось снижение СМ  $\alpha$ -активности в теменной области. Предполагается, что снижение  $\alpha$ -активности связано с повышенной возбудимостью клеток в таламокортикальной системе, с процессами внимания к охлаждению [13].

Спектральная мощность  $\alpha$ -активности увеличилась в передневисочных отделах мозга (F7, F8), тета-активность — справа в лобных (F4), передневисочных (F8), задневисочных (T6) отделах и слева в передневисочном (F7) отделе головного мозга в ответ на холод. Выявлены корреляционные связи СМ  $\theta$ -активности в отделах С4 ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,006$ ), F4 ( $r = -0,75$ ,  $p = 0,03$ ), F8 ( $r = -0,81$ ,  $p = 0,004$ ) с ЧСС. Спектральная мощность  $\alpha$ -активности в отделах F7 коррелировала с рNN50% ( $r = 0,67$ ,  $p = 0,03$ ), SI ( $r = -0,75$ ,  $p = 0,01$ ). Активность парасимпатической и симпатической нервной системы опосредуется корково-подкорковыми путями, которые включают префронтальную кору, переднюю поясную кору, островок, гипоталамус и ствол мозга. Повышенная активация префронтальной коры снижает симпатическую активность, что приводит к преобладанию парасимпатической нервной системы, тогда как сниженная активация префронтальной коры сопровождается увеличением симпатической активности [15].

Повышение  $\theta$ -активности и выявленные корреляции отражают снижение тормозного контроля со стороны коры головного мозга на подкорковые структуры. По литературным данным, имеет место церебральная латерализация в вегетативном контроле сердечно-сосудистой деятельности. Правое полушарие, как сообщается [19], модулирует симпатический тонус, в то время как парасимпатическая нервная система преимущественно регулируется левым полушарием.

Таким образом, проведенное исследование показало, что у молодых лиц выявлены два варианта реакций функциональных систем на холод. В первом варианте отмечались большее снижение температуры кожи, повышение АД, показателей ВСР (RMSSD, рNN50%, TP) и минимальные изменения биоэлектрической активности мозга. После прекращения воздействия холода САД не снижалось, показатели ВСР восстанавливались медленным темпом. Данные изменения первого варианта свидетельствуют о напряжении функционирования регуляторных систем организма в ответ на холод. Во втором варианте при охлаждении температура кожи менее выражено снижалась, повышались АД, параметры ВСР (SDNN, RMSSD, рNN50%, TP) и СМ  $\alpha$ -активности в передневисочных отделах мозга и  $\theta$ -активности справа в лобных, передневисочных, задневисочных отделах и слева в передневисочном отделе головного мозга в ответ на холод. После прекращения воздействия

холода АД, показатели ВСР и биоэлектрическая активность мозга восстановились до исходных значений, что отражает более успешную приспособительную реакцию на холод.

*Работа выполнена по программе ФНИР лаборатории биоритмологии ИФПА ФГБУН ФИЦКИА РАН, № 115050610141*

#### Благодарности

Выражаем благодарность заведующей лаборатории регуляторных механизмов иммунитета ИФПА ФИЦКИА РАН А. В. Самодовой за возможность использования в исследовании холодильной камеры «УШЗ-25Н»

#### Авторство

Кривоногова Е. В. разработала дизайн исследования, получила, проанализировала и интерпретировала данные, написала текст статьи; Демин Д. Б. разработал дизайн исследования, получил данные, принял участие в написании статьи; Кривоногова О. В. получила, проанализировала и интерпретировала данные, написала текст статьи; Поскотинова Л. В. разработала дизайн исследования, научно отредактировала текст статьи.

Авторы статьи заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Кривоногова Елена Вячеславовна — ORCID 0000-0003-4225-5872; SPIN 9022-9696

Демин Денис Борисович — ORCID 0000-0001-7912-9226; SPIN 6565-4657

Кривоногова Ольга Вячеславовна — ORCID 0000-0002-7267-8836; SPIN 1086-3008

Поскотинова Лилия Владимировна — ORCID 0000-0002-7537-0837; SPIN 3148-6180

#### Список литературы

1. Баевский Р. М., Кириллов О. И., Кляцкин С. З. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе. М.: Наука, 1984. 222 с.
2. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодовых воздействиях // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. 2015. № 1. С. 5–16.
3. Власова О. С., Бичкаева Ф. А., Скворцова В. Ю., Нестерова Е. В., Шенгоф Б. А. Содержание катехоламинов (адреналина, норадреналина) у детей и подростков Архангельской области в зависимости от географической широты проживания, пола и возраста // Адаптация человека к экологическим и социальным условиям Севера / отв. ред. Е. Р. Бойко. Сыктывкар; Екатеринбург: УрО РАН, 2012. С. 108–115.
4. Горенко И. Н., Типисова Е. В., Попкова В. А., Елфинова А. Э. Соотношение гормонов гипоталамо-тиреоидной системы, дофамина и цАМФ у жителей Европейского и Азиатского Севера // Журнал медико-биологических исследований. 2019. Т. 7, № 2. С. 140–150.
5. Грибанов А. В., Джос Ю. С., Рысина Н. Н. Изменение параметров биоэлектрической активности головного мозга у школьников-северян 16–17 лет в различных условиях естественной освещенности // Экология человека. 2013. № 6. С. 42–48.
6. Пудков А. Б., Коробицына Е. В., Мелькова Л. А., Грибанов А. В. Реакция показателей гемодинамики на локальное охлаждение кисти и стопы у лиц юношеского возраста // Экология человека. 2015. № 11. С. 13–18.

7. Кротова И. Г., Ведясова О. А., Комарова М. В., Ширяева О. И. Анализ и прогнозирование резервных возможностей организма студентов по параметрам вариабельности сердечного ритма // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96, № 6. С. 556–561.

8. Максимов А. Л., Борисенко Н. С., Максимова Н. Н., Королев Ю. Н., Голубев В. Н. Индивидуальные следовые реакции показателей кардиоритма и температуры поверхности кисти после тренировок с ререспирацией при локальном охлаждении // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2015. № 4. С. 95–100.

9. Михайлов В. М. Вариабельность ритма сердца (новый взгляд на старую парадигму). Иваново: ООО «Нейрософт», 2017. 516 с.

10. Сороко С. И., Андреева С. С., Бекшаев С. С. Перестройки параметров электроэнцефалограммы у детей – жителей о. Новая Земля // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. 2009. № 2. С. 49–59.

11. 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 имени И. М. Сеченова. 2012. Т. 98, № 1. С. 3–26.

12. Chang P. F., Arendt-Nielsen L., Chen A. C. Dynamic changes and spatial correlation of EEG activities during cold pressor test in man // Brain Res. Bull. 2002. Vol. 57, N 5. P. 667–675.

13. Hansen T. M., Mark E. B., Olesen S. S., Gram M., Frøkjær J. B., Drewes A. M. Characterization of cortical source generators based on electroencephalography during tonic pain // J. Pain Res. 2017. N 10. P. 1401–1409.

14. Harinath K., Malhotra A. S., Pal K., Prasad R., Kumar R., Sawhney R. C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica // Wilderness Environ. Med. 2005. Vol. 16, N 2. P. 81–91.

15. Jung W., Jang K. I., Lee S. H. Heart and Brain Interaction of Psychiatric Illness: A Review Focused on Heart Rate Variability, Cognitive Function, and Quantitative Electroencephalography // Clin. Psychopharmacol. Neurosci. 2019. Vol. 17, N 4. P. 459–474.

16. Levitt J., Choo H. J., Smith K. A., LeBlanc B. W., Saab C. Y. Electroencephalographic frontal synchrony and caudal asynchrony during painful hand immersion in cold water // Brain Res. Bull. 2017. N 130. P. 75–80.

17. Mäkinen T. M., Mäntysaari M., Pääkkönen T., Jokelainen J., Palinkas L. A., Hassi J., Leppäluoto J., Tahvanainen K., Rintamäki H. Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation // Aviat. Space Environ. Med. 2008. Vol. 79, N 9. P. 875–882.

18. Stewart J. C., France C. R. Cardiovascular recovery from stress predicts longitudinal changes in blood pressure // Biol. Psychol. 2001. Vol. 58, N 2. P. 105–120.

19. Guo C. C., Sturm V. E., Zhou J., Gennatas E. D., Trujillo A. J., Hua A. Y., Crawford R., Stables L., Kramer J. H., Rankin K., Levenson R. W., Rosen H. J., Miller B. L., Seeley W. W. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia // Proc. Nat. Acad. Sci USA. 2016. Vol. 113, N 17. P. E2430–9.

## References

1. Baevskii R. M., Kirillov O. I., Klyatskin S. Z. *Matematicheskii analiz izmeneniya serdechnogo ritma*

*pri stresse* [Mathematical analysis of changes in heart rate during stress]. Moscow, 1984, 222 p.

2. Bocharov M. I. Thermoregulation of the body under cold influences. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Mediko-biologicheskiye nauki* [Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series: Medical and biological sciences]. 2015, 1, pp. 5–16. [In Russian]

3. Vlasova O. S., Bichkaeva F. A., Skvortsova V. Yu., Nesterova E. V., Shengof B. A. Soderzhanie katekholaminov (adrenalina, noradrenalina) u detei i podrostkov Arkhangel'skoi oblasti v zavisimosti ot geograficheskoi shiroti prozhivaniya, pola i vozrasta [The Content of Catecholamines (Adrenaline, Norepinephrine) in Children and Adolescents of the Arkhangelsk Region, Depending on the Geographical Latitude, Sex and Age]. *Adaptatsiya cheloveka k ekologicheskim i sotsial'nym usloviyam Severa* [Human Adaptation to Environmental and Social Conditions in the North], ed. Boyko E. R. Syktyvkar, 2012, pp. 108–115.

4. Gorenko I. N., Tipisova E. V., Popkova V. A., Elfimova A. E. Ratios of the hormones of the pituitary-thyroid axis, dopamine and cAMP in residents of the European and Asian North of Russia. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of medical and biological research]. 2019, 7 (2), pp. 140–150. [In Russian]

5. Gribanov A. V., Dzhos Yu. S., Rysina N. N. Changes of settings of brain bioelectrical activity in northern schoolchildren aged 16–17 in different ambient light conditions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 6, pp. 42–48. [In Russian]

6. Gudkov A. B., Korobitsyna E. V., Mel'kova L. A., Gribanov A. V. Response of hemodynamics indices to hand and foot local cooling in young people. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 11, pp. 13–18. [In Russian]

7. Kretova I. G., Vedyasova O. A., Komarova M. V., Shiryayeva O. I. Analysis and forecasting of reserve capabilities of the organism of students according to indices of heart rate variability. *Gigiena i Sanitaria* [Hygiene and Sanitation]. 2017, 96 (6), pp. 556–561. [In Russian]

8. Maksimov A. L., Borisenko N. S., Maksimova N. N., Korolev Yu. N., Golubev V. N. Individual Trace Responses of Heart Rate and Hand Surface Temperatures after Rerespiration Training at Local Cold Exposure. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN* [Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch]. 2015, 4, pp. 95–100. [In Russian]

9. Mikhailov V. M. *Variabel'nost' ritma serdtsa (novyi vzglyad na staruyu paradigmu)* [Heart rate variability (a new look at the old paradigm)]. Ivanovo, 2017, 516 p.

10. Soroko S. I., Andreeva S. S., Bekshaev S. S. The EEG parameters changes in children on Novaya Zemlya Island. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN* [Bulletin of the North-East Scientific Center, Russian Academy of Sciences Far East Branch]. 2009, 2, pp. 49–59. [in Russian]

11. Soroko S. I., Bekshaev S. S., Rozhkov V. P. EEG correlates of geno-phenotypical features of the brain development in children of the native and newcomers' population of the russian north-east. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I. M. Sechenova* [Russian journal of physiology]. 2012, 98 (1), pp. 3–26. [In Russian]

12. Chang P. F., Arendt-Nielsen L., Chen A. C. Dynamic changes and spatial correlation of EEG activities during cold pressor test in man. *Brain Res. Bull.* 2002, 57 (5), pp. 667–675.

13. Hansen T. M., Mark E. B., Olesen S. S., Gram M., Frøkjær J. B., Drewes A. M. Characterization of cortical source generators based on electroencephalography during tonic pain. *J. Pain Res.* 2017, 10, pp. 1401–1409.

14. Harinath K., Malhotra A. S., Pal K., Prasad R., Kumar R., Sawhney R. C. Autonomic nervous system and adrenal response to cold in man at Antarctica. *Wilderness Environ. Med.* 2005. 16 (2), pp. 81-91.
15. Jung W., Jang K. I., Lee S. H. Heart and Brain Interaction of Psychiatric Illness: A Review Focused on Heart Rate Variability, Cognitive Function, and Quantitative Electroencephalography. *Clin. Psychopharmacol. Neurosci.* 2019, 17 (4), pp. 459-474.
16. Levitt J., Choo H. J., Smith K. A., LeBlanc B. W., Saab C. Y. Electroencephalographic frontal synchrony and caudal asynchrony during painful hand immersion in cold water. *Brain Res. Bull.* 2017, 130, pp. 75-80.
17. Mäkinen T. M., Mäntysaari M., Pääkkönen T., Jokelainen J., Palinkas L. A., Hassi J., Leppäluoto J., Tahvanainen K., Rintamäki H. Autonomic nervous function during whole-body cold exposure before and after cold acclimation. *Aviat. Space Environ. Med.* 2008, 79 (9), pp. 875-882.
18. Stewart J. C., France C. R. Cardiovascular recovery from stress predicts longitudinal changes in blood pressure. *Biol. Psychol.* 2001, 58 (2), pp. 105-120.
19. Guo C. C., Sturm V. E., Zhou J., Gennatas E. D., Trujillo A. J., Hua A. Y., Crawford R., Stables L., Kramer J. H., Rankin K., Levenson R. W., Rosen H. J., Miller B. L., Seeley W. W. Dominant hemisphere lateralization of cortical parasympathetic control as revealed by frontotemporal dementia. *Proc. Natl. Acad. Sci USA.* 2016, 113 (17):E2430-9.

**Контактная информация:**

Кривоногова Елена Вячеславовна — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоритмологии ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лавёрова УрО РАН».

Адрес: 163061, г. Архангельск, пр. Ломоносова, д. 249  
E-mail: elena200280@mail.ru