

**РОЛЬ СЕАНСОВ КАРДИОБИОУПРАВЛЕНИЯ  
В ФОРМИРОВАНИИ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ  
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБЩЕЕ ОХЛАЖДЕНИЕ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА<sup>1</sup>**

Д.Б. Дёмин\*, Л.В. Поскотинова\*, Е.В. Кривоногова\*,  
О.В. Кривоногова\*, М.А. Овсянкина\*\*

\*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова РАН  
(г. Архангельск)

\*\*Архангельский педагогический колледж  
(г. Архангельск)

Рассмотрен характер изменения параметров центральной гемодинамики, вариабельности сердечного ритма и электроэнцефалограммы у 30 здоровых мужчин-добровольцев в возрасте 18–20 лет при кардиобиоуправлении с целью повышения резервов парасимпатической регуляции сердца, а также в условиях воздушного общего охлаждения. Испытуемые были разделены на две группы: проходившие сеанс кардиобиоуправления ( $n = 15$ ) и контроль ( $n = 15$ ). Электроэнцефалограмму регистрировали во время каждого этапа исследования на портативном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-СМ», одновременно регистрировали вариабельность сердечного ритма, артериальное давление, частоту сердечных сокращений и температуру в правом слуховом проходе. Эксперимент включал пять этапов: I – пребывание в состоянии покоя при температуре +20 °С; II – сеанс биоуправления параметрами вариабельности сердечного ритма (патент № 2317771) для группы кардиобиоуправления (для контрольной группы – пребывание в состоянии покоя); III – нахождение в условиях холодной камеры при температуре –20 °С в течение 10 мин; IV и V этапы после охлаждения – аналогичны I и II соответственно. Показано, что за время охлаждения температура тела испытуемых значительно снижалась в среднем на 2,2–2,7 °С. Показатели центральной гемодинамики изменялись идентично в обеих группах лиц: артериальное давление значительно снижалось на II и V этапах, возрастало при охлаждении; частота сердечных сокращений значительно снижалась на III этапе, затем постепенно возрастала при согревании. У всех испытуемых при охлаждении показано снижение индекса напряжения регуляторных систем на фоне повышения общей мощности спектра вариабельности сердечного ритма. Проведение предварительного сеанса кардиобиоуправления способствовало сохране-

---

<sup>1</sup>Работа выполнена согласно ФНИР ФГБУН ФИЦКИА РАН, № государственной регистрации 115050610141.

**Ответственный за переписку:** Дёмин Денис Борисович, адрес: 163000, г. Архангельск, просп. Ломоносова, д. 249; e-mail: denisdemin@mail.ru

**Для цитирования:** Дёмин Д.Б., Поскотинова Л.В., Кривоногова Е.В., Кривоногова О.В., Овсянкина М.А. Роль сеансов кардиобиоуправления в формировании нейрофизиологических реакций на экспериментальное общее охлаждение организма человека // Журн. мед.-биол. исследований. 2019. Т. 7, № 3. С. 261–271. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.261

нию вагусных влияний на ритм сердца после холодового воздействия. Изменение амплитудно-частотных характеристик электроэнцефалограммы при охлаждении проявлялось усилением активности подкорковых регуляторных механизмов (значимое увеличение тета-активности); при этом у лиц из группы кардиобиоуправления выявлено усиление альфа-активности, а у лиц контрольной группы – снижение в 60 % случаев, что демонстрирует десинхронизацию основного ритма.

**Ключевые слова:** электроэнцефалография, вариабельность сердечного ритма, биоуправление, воздушное охлаждение организма, гипотермия.

Механизмы вегетативной регуляции сердечной деятельности у человека на Севере подвержены влиянию неблагоприятных климатических факторов, в т. ч. чрезвычайно низких температур окружающей среды, что нередко приводит к возникновению нейровегетативных расстройств (нейроциркуляторная дистония, артериальная гипертензия) [1]. Вегетативная нервная система (ВНС) интегрирует функции всех внутренних органов, в т. ч. опосредованно – через модуляцию активности высших корковых центров. Выраженность и реактивность основных ритмов биоэлектрической активности головного мозга может отражать характер функционирования таламокортикальных, таламоретикулярных и нейровисцеральных связей при реализации программ саморегуляции. Одним из перспективных методов немедикаментозной коррекции сосудистой дистонии является метод адаптивного биоуправления параметрами вариабельности сердечного ритма (ВСР), при котором происходит усиление вагусных влияний на ритм сердца и снижение явлений симпатикотонии [2]. В настоящее время остается открытым вопрос о реактивности структур головного мозга и сердца на общее охлаждение с учетом эффектов биоуправления. Цель исследования заключалась в комплексном определении показателей биоэлектрической активности головного мозга и сердечно-сосудистой системы человека при кардиобиоуправлении (КБУ) в условиях экспериментального общего охлаждения организма на основе новой методологии.

**Материалы и методы.** Проведено поперечное контролируемое исследование, в котором приняли участие 30 здоровых мужчин в возрасте 18–20 лет, проживающих в г. Архангельске. Испытуемых выбирали на добровольной основе, получено письменное информированное согласие на участие в эксперименте. Критерием исключения было наличие в анамнезе травм головного мозга и неврологических нарушений. Исследование проводили с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и директивах Европейского сообщества (8/609ЕС). Добровольцы случайным образом были разделены на две равные по количеству группы: «КБУ» (15 человек,  $18,8 \pm 0,9$  лет) и «Контроль» (15 человек,  $19,2 \pm 0,8$  лет).

Эксперимент включал пять этапов. На I этапе (5 мин) регистрировали фоновые показатели биоэлектрической активности головного мозга, сердечно-сосудистой системы и температуры тела обследуемых – в покое сидя при температуре воздуха  $+20$  °С.

На II этапе (5 мин), также при комнатной температуре, испытуемые группы «КБУ» проходили однократный сеанс кардиобиоуправления по авторской методике Л.В. Поскотиновой, Ю.Н. Семенова [2]. Для реализации принципа биоуправления в процессе регистрации электрокардиограммы во втором стандартном отведении на аппаратно-программном комплексе «Варикард» («Рамена», г. Рязань) обследуемый получал на экране монитора информацию о состоянии общей мощности спектра ВСР (дисперсии кардиоинтервалов) [3] в виде

линейного графика и цифровых показателей. В динамике сеанса обновление указанных показателей происходило каждые 4 с по принципу скользящего окна. Перед началом исследования испытуемого инструктировали о том, что изменение графика на экране монитора зависит от его внутреннего состояния, цель тренинга – увеличение общей мощности спектра ВСП (повышение графика). Состояние, отражающее изменение выбранного параметра, формировалось посредством стратегии «свободного поиска» – создания положительно окрашенных мысленных образов в сочетании со спокойным глубоким дыханием с эффективным плавным выдохом и мышечной расслабленностью. При последующей обработке результатов успешность выполнения процедуры биоуправления оценивали по динамике показателей ВСП: общей мощности спектра (*Total Power*, мс<sup>2</sup>) и индекса напряжения регуляторных систем (*Stress Index*, усл. ед.). Испытуемые из группы контроля вместо прохождения сеанса биоуправления в течение 5 мин оставались в состоянии спокойного бодрствования.

На III этапе изучаемые показатели добровольцев регистрировали в течение 10 мин в положении сидя с закрытыми глазами в условиях холодной камеры «УШЗ-25Н» («Ксирон-Холод», Москва) при температуре –20 °С, показатели ВСП оценивали с 6-й по 10-ю минуту пробы. При этом все испытуемые лица были одеты в однотипные легкие хлопчатобумажные костюмы, без верхней одежды, головных уборов и перчаток.

IV и V этапы для обеих групп обследуемых были аналогичны I и II этапам, они проводились после выхода из холодной камеры, при этом изучаемые показатели регистрировали во время согревания в покое сидя при температуре воздуха +20 °С.

Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали в течение заключительных 2 мин каждого этапа исследования, в положении сидя, в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами, на портативном электроэнцефалографе «Нейрон-Спектр-СМ» («Нейрософт»,

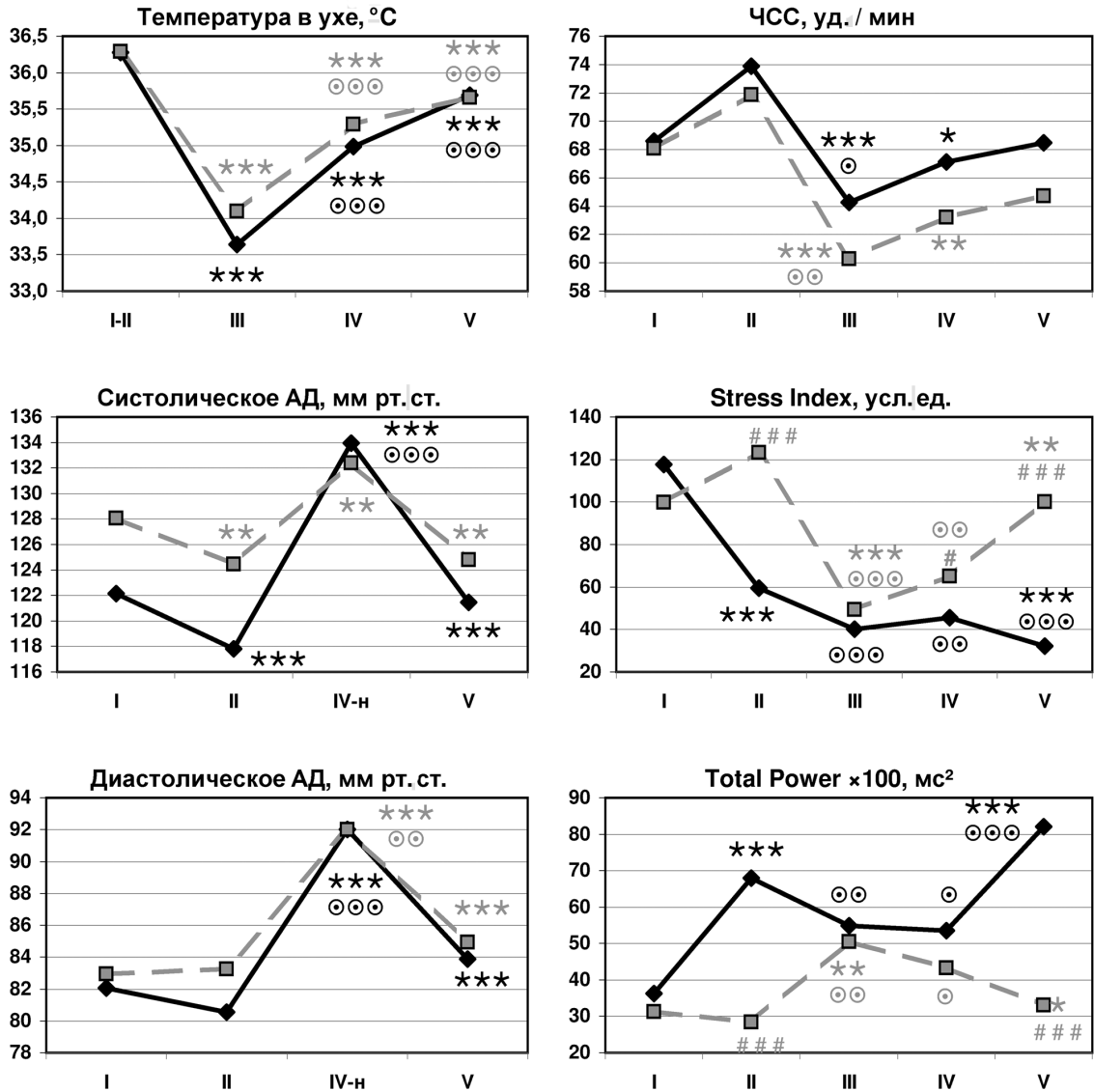
г. Иваново) монополярно от 16 стандартных отведений, электроды устанавливали по международной системе «10-20», с ушными референтными электродами. При оценке ЭЭГ выделяли безартефактные отрезки записи длительностью 60 с на каждом этапе исследования, спектр анализировали по тета- (4,0–6,9 Гц), альфа- (7,0–12,9 Гц), бета<sub>1</sub>- (13–24 Гц) диапазонам. Для количественной оценки спектра ЭЭГ в каждом частотном диапазоне проводили усредненную для каждого испытуемого оценку амплитуды (мкВ) и индекса (%) анализируемых ритмов. Одновременно в течение каждого 5-минутного этапа осуществляли регистрацию ВСП при помощи кардиоинтервалографического исследования с использованием того же прибора и программного обеспечения. Система предусматривала автоматическую обработку замеров длительности RR-интервалов электрокардиограммы во втором стандартном отведении с расчетом показателей ВСП. Фиксацию артериального давления (АД, мм рт. ст.) и частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин) производили трехкратно с последующим усреднением показателей, при помощи метрологически аттестованного автоматического измерителя артериального давления (тонометра) A&D Medical UA-668 (Япония). Измерение температуры условного «ядра тела» испытуемых проводили в правом слуховом проходе медицинским электронным инфракрасным термометром V.Well WF-1000 (Швейцария).

Полученные результаты обрабатывали при помощи компьютерного пакета прикладных программ Statistica v. 10.0 (StatSoft Inc., США), учитывали средние значения (*M*) и стандартные отклонения (*SD*). Для проверки статистической гипотезы разности значений использовали критерий Вилкоксона для двух зависимых выборок и критерий Манна–Уитни для двух независимых групп. Критическим уровнем значимости при проверке статистических гипотез принимали  $p < 0,05$ .

**Результаты.** За время холодного воздействия (к окончанию III этапа) температура условного «ядра тела» испытуемых, регистри-

руемая в правом слуховом проходе, значительно снижалась в среднем с  $36,3 \pm 0,2$  до  $33,6 \pm 1,1$  °C в группе КБУ и до  $34,1 \pm 1,3$  °C в группе контро-

ля ( $p < 0,001$ ) (рис. 1). При согревании (на IV и V этапах) температура тела испытуемых в обеих группах значительно возрастала, однако и через



**Рис. 1.** Изменение показателей центральной гемодинамики, variability сердечного ритма и температуры в правом слуховом проходе у мужчин в процессе эксперимента. Обозначения: сплошные черные линии – группа КБУ; пунктирные серые линии – группа контроля; I–V – этапы исследования (IV-н – начало IV этапа). Установлены статистически значимые отличия: в сравнении с предыдущим этапом исследования: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ ; в сравнении с I этапом исследования: ⊙ –  $p < 0,05$ ; ⊙⊙ –  $p < 0,01$ ; ⊙⊙⊙ –  $p < 0,001$ ; между группами КБУ и контроля: # –  $p < 0,05$ ; ### –  $p < 0,001$

10 мин после окончания холодого воздействия не достигала исходного уровня:  $35,7 \pm 0,4$  °C в группе КБУ и  $35,7 \pm 0,7$  °C в группе контроля ( $p < 0,001$ ).

Показатели центральной гемодинамики также идентично изменялись в обеих группах лиц. Систолическое АД значимо снижалось относительно фоновых значений на II и V этапах – при биоуправлении в группе КБУ ( $p < 0,001$ ) и в состоянии покоя в группе контроля ( $p < 0,01$ ). В связи с техническими ограничениями рабочих температур используемого тонометра регистрация АД в условиях холодной камеры (III этап) не проводилась. Сразу после окончания холодого воздействия (этап IV-н – 1-я минута IV этапа) систолическое АД отчетливо возрастало у всех обследованных лиц относительно значений II этапа исследования, наиболее значимые изменения отмечены в группе КБУ ( $p < 0,001$ ), в т. ч. в сравнении с фоновыми значениями I этапа ( $p < 0,001$ ). Динамика диастолического АД в обеих группах лиц в целом была аналогична динамике систолического, однако при этом не было отмечено значимых изменений от I ко II этапу ( $p > 0,05$ ), а разница между I и IV-н этапами была статистически значимой для всех ( $p < 0,01-0,001$ ). Динамика ЧСС в обеих группах лиц выражалась в некотором повышении значений от I ко II этапу ( $p > 0,05$ ), значимом снижении при холодом воздействии (окончание III этапа,  $p < 0,001$ ) и вновь постепенном повышении на этапах согревания – IV и V ( $p < 0,05-0,01$ ).

Динамика изучаемых показателей ВСР ожидаемо была разнонаправленной и значимо отличалась на II и V этапах у испытуемых из групп КБУ и контроля ( $p < 0,001$ ). Индекс напряжения регуляторных систем (*Stress Index*) в группе КБУ значимо снижался на этапе первичного биоуправления (II этап,  $p < 0,001$ ), в дальнейшем он продолжал снижение при холодом воздействии (III этап), достигая минимальных значений на этапе повторного биоуправления (V этап,  $p < 0,001$ ). При этом показатели III, IV и V этапов были значимо ниже фоновых (I этап;  $p < 0,01-0,001$ ). Индекс напряжения

у лиц из группы контроля практически не изменялся на I–II этапах ( $p > 0,05$ ), затем происходило значимое его снижение при холодом воздействии (III этап,  $p < 0,001$ ) и вновь повышение практически до исходных значений к V этапу ( $p < 0,01$ ), причем на IV этапе данный показатель был значимо выше аналогичного в группе КБУ ( $p < 0,05$ ).

Общая мощность спектра ВСР (*Total Power*), как управляемый показатель, у лиц из группы КБУ значимо повышалась в ходе сеансов биоуправления (II и V этапы) в сравнении с фоновыми показателями ( $p < 0,001$ ), достигая к V этапу максимума от исходных значений I этапа ( $p < 0,001$ ). У обследуемых из группы контроля значимое повышение данного показателя происходило лишь при холодом воздействии (III этап,  $p < 0,01$ ), а к окончанию исследования (V этап) он также значимо снижался ( $p < 0,05$ ).

Динамика изучаемых показателей ЭЭГ в рассматриваемых частотных диапазонах отличалась меньшими уровнями статистической значимости – видимо, в связи с большой вариативностью величин в выборках (рис. 2, см. с. 266). В обеих группах амплитуда тета-диапазона имела тенденцию к снижению на II этапе исследования, затем происходило ее незначительное повышение при холодом воздействии (III этап); в дальнейшем отмечено значимое снижение показателя при согревании (IV этап) у лиц из группы КБУ ( $p < 0,05$ ) и некоторое его повышение у лиц из группы контроля к IV–V этапу. Индекс тета-ритма имел сходную динамику в обеих группах: незначительно изменяясь на I–II этапах, он значимо повышался при холодом воздействии (III этап,  $p < 0,05-0,01$ ), а затем также значимо снижался на IV этапе ( $p < 0,05-0,01$ ) и практически не изменялся до окончания исследования (V этап).

Показатели волн альфа-диапазона у обследованных лиц из группы КБУ изменялись аналогично амплитуде и индексу тета-диапазона ЭЭГ. Однако у лиц из группы контроля динамика показателей альфа-ритма была противоположной – с плавным снижением от фоновых

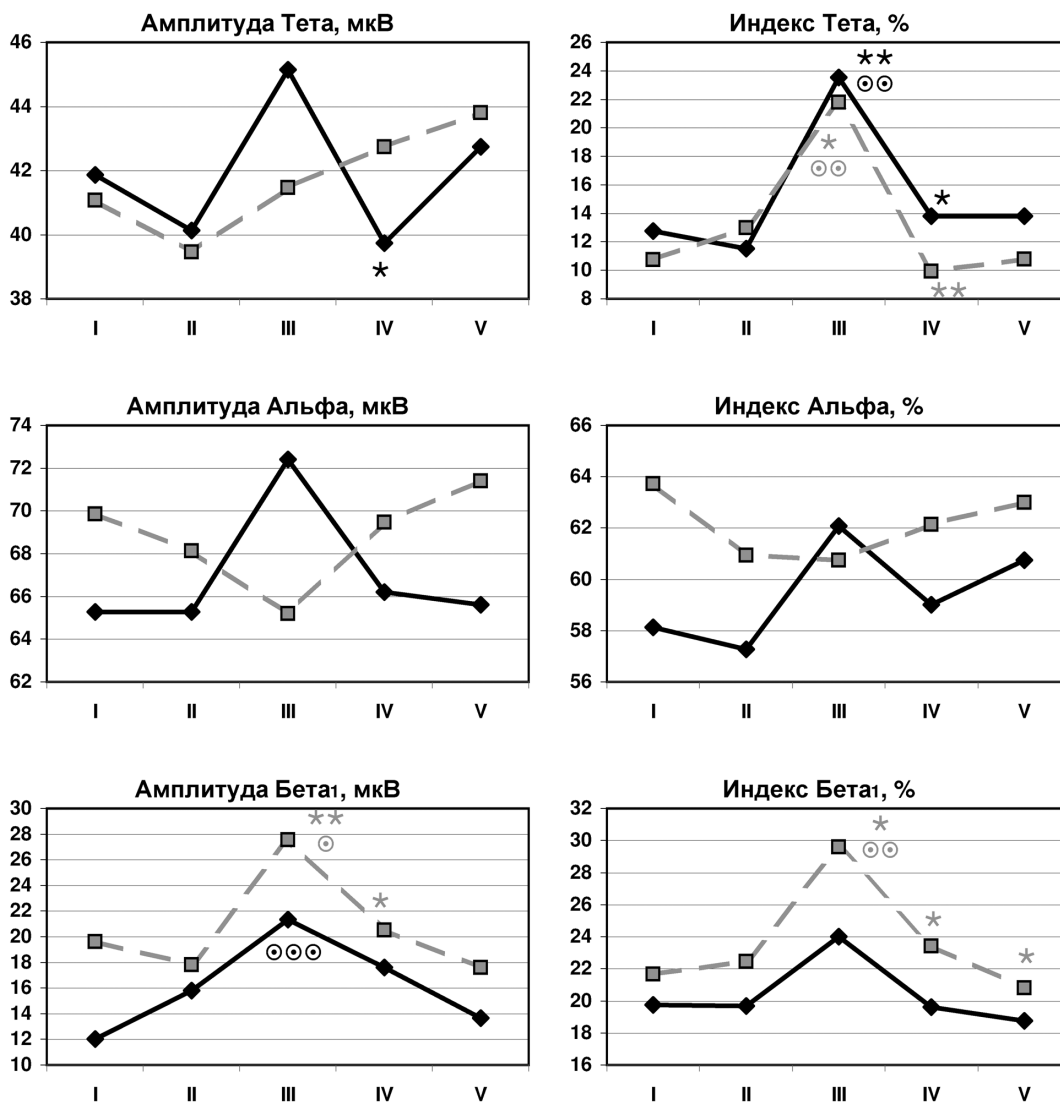


Рис. 2. Изменение показателей биоэлектрической активности головного мозга на различных этапах исследования у мужчин в процессе эксперимента. Обозначения – см. рис. 1

значений (I этап) к этапу холодового воздействия (III этап) и дальнейшим повышением к окончанию исследования (V этап). В целом значимых динамических изменений альфа-диапазона в обеих группах не было выявлено ( $p > 0,05$ ), десинхронизация альфа-ритма ЭЭГ на III этапе отмечена в 60 % случаев.

Показатели высокочастотной активности в нативных записях ЭЭГ также значительно повышались в обеих группах при холодовом воздействии (III этап,  $p < 0,05-0,001$ ), но в половине случаев это происходило за счет присоединения артефакта миограммы, сопутствующего холодовому дрожанию, поэтому изменения бе-

та<sub>1</sub>-активности ЭЭГ в данных условиях нуждаются в отдельном последующем рассмотрении. По окончании холодого воздействия (IV–V этапы) отмечено снижение амплитуды и индекса бета-диапазона, наиболее значимое – в группе контроля ( $p < 0,05$ ).

**Обсуждение.** Гипотермия – состояние организма, при котором температура тела падает ниже, чем необходимо для поддержания нормального обмена веществ и функционирования организма. По степени охлаждения условного «ядра тела» (33,6–34,1 °C) гипотермию, экспериментально созданную у наших испытуемых, можно отнести к мягкой, а по длительности воздействия – к кратковременной [4]. Ключевым звеном, обеспечивающим адекватное функционирование организма в условиях гипотермии, является сердечно-сосудистая система. Охлаждение тела является типичным стрессорным раздражителем, приводящим к активации симпатoadренальной системы, что также сопровождается выделением нейросекретов гипоталамуса, гормонов гипофиза, коры надпочечников, вызывающим в организме классическую картину «реакции напряжения» [5, 6]. Умеренное общее охлаждение, как правило, приводит к нарастанию системного АД крови, сердечного выброса и ЧСС, что связывается с повышением симпатической активности ВНС и общим спазмом сосудов на периферии тела [7]; при этом сосудодвигательные реакции имеют свои регионарные особенности, и даже при мощных холодых воздействиях вазоконстрикция, охватывая бóльшую часть поверхности тела, может не возникать в области головы и шеи.

Показанная нами в ходе эксперимента динамика ЧСС и АД, возможно, вызвана относительной адаптированностью обследуемых к низким температурам вследствие того, что исследование проводилось в конце календарной зимы (февраль). Ранее было выявлено, что у полярников, адаптированных к холоду, в конце зимовки, при воздействии низких температур терморегуляционные механизмы, препятствующие переохлаждению, запускаются раньше и быстрее, чем у неадаптированных лиц. При

холодовом воздействии у адаптированных лиц регистрируются брадикардия, низкие минутный и систолический объемы кровообращения, повышенные АД и периферическое сопротивление сосудов [1]. По мнению других авторов, снижение ЧСС [8, 9] является нормальной физиологической ответной реакцией на кратковременную гипотермию и не нуждается в проведении коррекционных мероприятий.

При умеренном общем охлаждении основные сдвиги в системе кровообращения заключаются в увеличении гемоциркуляции, когда за счет повышения тонуса периферических сосудов и понижения тонуса сосудов висцеральных органов происходит перераспределение крови в центральное гемоциркуляторное русло при постоянстве кровообращения в головном мозге [10]. В то же время имеются и противоположные данные, что при кратковременном (до 10 мин) общем охлаждении при температуре до –13 °C происходит увеличение секреции норадреналина и повышение тонуса парасимпатического отдела ВНС по показателям ВСР [11]. Выявленное нами усиление парасимпатического звена регуляции у испытуемых при умеренном холодом воздействии сопоставимо с результатами экспериментов, проводимых при более экстремальных криогенных воздействиях (до –110 °C) на организм, когда также было показано снижение симпатических влияний по данным ВСР [12].

В рамках текущего исследования все представители группы КБУ смогли успешно выполнить процедуру. В ходе сеанса биоуправления происходило изменение амплитуды и частоты волн кардиоинтервалограммы и увеличение общей мощности спектра ВСР. Учитывая, что *Total Power*, в отличие от стандартного отклонения кардиоинтервалов (*SDNN*), при коротких записях содержит минимальный вклад непериодических (недыхательных) волн, можно полагать, что эффект КБУ достигается за счет увеличения вклада в первую очередь дыхательной и барорефлекторной составляющих спектра ВСР, что свидетельствует об усилении влияния парасимпатического отдела нервной системы

на ритм сердца [3]. У лиц из группы контроля ожидаемо не происходило каких-либо значимых изменений показателей ВСП в динамике I–II и IV–V этапов.

Вследствие действия холодного воздуха происходят рефлекторное сужение гладкомышечного каркаса бронхов и констрикция мелких сосудов легких. Эти изменения приводят к неустойчивости вентиляционно-перфузионных отношений в зонах легких, регионарной гипоксии легочной ткани и проявляются «полярной одышкой», сопровождающейся увеличением синхронизации процессов дыхания и сердечной деятельности [9]. Повышенная барорефлекторная активность также отмечалась у всех испытуемых вследствие кратковременного холодового воздействия, но еще более значимо она возрастала у лиц, первоначально прошедших сеанс КБУ. По сути, представители этой группы подвергались воздействию холода при исходно более низком уровне напряжения сердечной деятельности, сохраняли его значительно низким после воздействия (IV этап) и после повторного КБУ (V этап). В группе контроля после охлаждения вагосимпатические взаимоотношения сразу стали восстанавливаться и вернулись к исходным значениям I этапа.

Пластичность нейродинамических процессов определяет способность организма к адаптации в новых условиях, особенно на первой стадии [1]. Охлаждение организма вызывает активизацию прежде всего диэнцефальных структур мозга, где сосредоточены центры терморегуляции, вегетативной регуляции внутренних органов и т. д. [9], этим обусловлено значимое повышение тета-активности у большинства наших испытуемых на III этапе.

У представителей группы контроля наиболее часто наблюдалась типичная реакция десинхронизации альфа-активности на воздействие холода. Известно, что мягкая степень гипотермии сопровождается прежде всего развитием торможения в коре головного мозга, обусловленным снижением концентрации медиаторов [7]. Однако испытуемые из группы КБУ подвергались охлаждению с уже модифици-

рованным вегетативным статусом и балансом периферических и центральных структур нервной регуляции сердечной деятельности. Некоторое повышение альфа-активности у этих лиц может свидетельствовать, с одной стороны, о большей индивидуальной чувствительности таламо-кортикальной системы к холоду [1], с другой – о предварительной оптимизации корково-подкорковых взаимоотношений, способствующих уменьшению активности симпатического отдела ВНС [2].

Результаты исследования позволяют заключить, что под влиянием экспериментального кратковременного однократного воздушного общего охлаждения у наших испытуемых проявляются однотипные реакции показателей центральной гемодинамики в виде повышения АД и снижения ЧСС. По данным ВСП также были установлены схожие реакции в виде повышения барорефлекторной активности и резервов парасимпатического отдела ВНС. Проведение предварительного обучающего сеанса биоуправления параметрами ВСП активно стимулирует вагусные влияния на ритм сердца при воздействии холода и, по-видимому, в дальнейшем позволит нивелировать возможные проявления излишней симпатикотонии, возникающие при более продолжительном общем охлаждении организма. Изменение амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ, выявленное при охлаждении, детерминировано усилением активности подкорковых регуляторных механизмов (усиление тета-активности), вероятно, отражающим изменение условия управления функциональным состоянием мозга, с ростом доминирования лимбико-ретикулярных влияний. Холодовое воздействие проявляется: у лиц, прошедших КБУ, – усилением синхронизации альфа-активности ЭЭГ, вызванным повышением индивидуальной чувствительности таламо-кортикальной системы к холоду, а у лиц контрольной группы – усилением восходящих активирующих влияний на кору головного мозга, сопровождаемых десинхронизацией альфа-активности.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



## Список литературы

1. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб.: Политехника-принт, 2017. 476 с.
2. Способ коррекции вегетативных дисбалансов с помощью комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variability сердечного ритма «Варикард 2.51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), с использованием биологической обратной связи: пат. 2317771 РФ, МПК А61В 5/0452 (2006.01), А61М 21/00 (2006.01) / Л.В. Поскотинова, Ю.Н. Семенов. Опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6. 13 с.
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин Л.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А., Миронова Т.Ф., Прилуцкий Д.А., Семенов А.В., Федоров В.Ф., Флейшман А.Н., Медведев М.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) // Вестн. аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86.
4. Louie J.P. Hypothermia and Cold-Related Injuries // Comprehensive Pediatric Hospital Medicine / ed. by L.V. Zaoutis, V.W. Chiang. Philadelphia: Elsevier Inc., 2007. P. 1153–1157.
5. Кубасов Р.В., Барачевский Ю.Е., Иванов А.М., Кубасова Е.Д. Симпатоадреналовая и гипофизарно-надпочечниковая активность у сотрудников МВД России при различных уровнях профессиональной напряженности // Экология человека. 2015. № 6. С. 9–14.
6. Туписова Е.В., Елфимова А.Э., Горенко И.Н., Попкова В.А. Эндокринный профиль мужского населения России в зависимости от географической широты проживания // Экология человека. 2016. № 2. С. 36–41.
7. Granberg P.O. Human Physiology Under Cold Exposure // Arctic Med. Res. 1991. Vol. 50, suppl. 6. P. 23–27.
8. Hensel H. Thermoreception and Temperature Regulation. London: Academic Press, 1981. 321 p.
9. Майстрях Е.В. Патологическая физиология охлаждения человека. Л.: Медицина. Ленингр. отд-ние, 1975. 216 с.
10. Бочаров М.И. Терморегуляция организма при холодовых воздействиях (обзор). Сообщение I // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Мед.-биол. науки. 2015. № 1. С. 5–15.
11. Louis J., Schaal K., Bieuzen F., Le Meur Y., Filliard J.-R., Volondat M. Head Exposure to Cold During Whole-Body Cryostimulation: Influence on Thermal Response and Autonomic Modulation // PLoS One. 2015. Vol. 10, № 4. Art. № e0124776.
12. Медалиева Р.Х. Особенности состояния variability сердечного ритма при различных режимах экстремальных криогенных воздействий // Фундам. исследования. 2012. № 9. С. 816–819.

## References

1. Novikov V.S., Soroko S.I. *Fiziologicheskie osnovy zhiznedeyatel'nosti cheloveka v ekstremal'nykh usloviyakh* [Physiological Bases of Human Activity in Extreme Conditions]. St. Petersburg, 2017. 476 p.
2. Poskotinova L.V., Semenov Yu.N. *Sposob korrektsii vegetativnykh disbalansov s pomoshch'yu kompleksa dlya obrabotki kardiointervalogramm i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma "Varikard 2.51", rabotayushchego pod upravleniem komp'yuternoy programmy ISCIM 6.1 (BUILD 2.8), s ispol'zovaniem biologicheskoy obratnoy svyazi* [The Method of Autonomic Imbalances Correction Using the Complex for Cardiointervalogram Processing and HRV Analysis "Varikard 2.51" Controlled by ISCIM 6.1 (BUILD 2.8) Computer Program, with Biofeedback]. Patent RF no. 2317771, 2006.
3. Baevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A., Mironova T.F., Prilutskiy D.A., Semenov A.V., Fedorov V.F., Fleyshman A.N., Medvedev M.M. *Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem (chast' 1)* [Analysis of Heart Rate Variability Using Different Electrocardiographic Systems (Part 1)]. *Vestnik aritmologii*, 2002, no. 24, pp. 65–86.
4. Louie J.P. Hypothermia and Cold-Related Injuries. Zaoutis L.B., Chiang V.W. (eds.). *Comprehensive Pediatric Hospital Medicine*. Philadelphia, 2007, pp. 1153–1157.

5. Kubasov R.V., Barachevskiy Yu.E., Ivanov A.M., Kubasova E.D. Simpatoadrenalovaya i gipofizarnadpochechnikovaya aktivnost' u sotrudnikov MVD Rossii pri razlichnykh urovnyakh professional'noy napryazhennosti [Sympathoadrenal and Hypophysial-Adrenal Activity in Law Enforcement Staff Depending on Professional Load]. *Ekologiya cheloveka*, 2015, no. 6, pp. 9–14.

6. Tipisova E.V., Elfimova A.E., Gorenko I.N., Popkova V.A. Endokrinnyy profil' muzhskogo naseleniya Rossii v zavisimosti ot geograficheskoy shirotы prozhivaniya [Endocrine Profile of the Male Population in Russia Depending on the Geographic Latitude of Occupation]. *Ekologiya cheloveka*, 2016, no. 2, pp. 36–41.

7. Granberg P.O. Human Physiology Under Cold Exposure. *Arctic Med. Res.*, 1991, vol. 50, suppl. 6, pp. 23–27.

8. Hensel H. *Thermoreception and Temperature Regulation*. London, 1981. 321 p.

9. Maystrakh E.V. *Patologicheskaya fiziologiya okhlazhdeniya cheloveka* [Pathological Physiology of Human Cold Stress]. Leningrad, 1975. 216 p.

10. Bocharov M.I. Termoregulyatsiya organizma pri kholodovykh vozdeystviyakh (obzor). Soobshchenie I [Thermoregulation in Cold Environments (Review). Report I]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Mediko-biologicheskie nauki*, 2015, no. 1, pp. 5–15.

11. Louis J., Schaal K., Bieuzen F., Le Meur Y., Filliard J.-R., Volondat M., Brisswalter J., Hauswirth C. Head Exposure to Cold During Whole-Body Cryostimulation: Influence on Thermal Response and Autonomic Modulation. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 4. Art. no. e0124776.

12. Medalieva R.Kh. Osobennosti sostoyaniya variabel'nosti serdechnogo ritma pri razlichnykh rezhimakh ekstremal'nykh kriogennykh vozdeystviy [Features of the Condition of Variability of the Warm Rhythm at Various Modes of Extreme Cryogenic Influences]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no. 9, pp. 816–819.

DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.261

**Denis B. Demin\***, **Liliya V. Poskotinova\***, **Elena V. Krivonogova\***,  
**Ol'ga V. Krivonogova\***, **Marina A. Ovsyankina\*\***

\*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences  
(Arkhangelsk, Russian Federation)

\*\*Arkhangelsk Teacher Training College  
(Arkhangelsk, Russian Federation)

## THE ROLE OF HEART RATE VARIABILITY BIOFEEDBACK SESSIONS IN THE NEUROPHYSIOLOGICAL RESPONSES TO EXPERIMENTAL WHOLE-BODY COLD AIR EXPOSURE IN HUMANS

This article studies the changes in the parameters of central haemodynamics, heart rate variability (HRV) and electroencephalogram (EEG) in 30 healthy male volunteers aged 18–20 years during heart rate variability biofeedback (HRV BF) sessions aimed to increase the parasympathetic regulation of the heart, as well as during whole-body cold air exposure. The subjects were divided into two groups: those undergoing HRV BF ( $n = 15$ ) and the control ( $n = 15$ ). EEG was recorded during each stage of the study using the "Neuron-Spectrum-SM" portable electroencephalograph (Russia). Simultaneously, HRV, blood pressure, heart rate and temperature in the right auditory canal were recorded. The experiment included five stages: I – state at rest at the temperature of +20 °C; II – HRV BF session (patent no. 2317771) for the HRV BF group (the control stays at rest); III – cold chamber at –20 °C for 10 minutes; stages IV and V after

cold exposure – similar to stages I and II, respectively. It was shown that during cold exposure, the human body temperature significantly decreased by an average of 2.2–2.7 °C. Central haemodynamic parameters changed identically in both groups: blood pressure decreased significantly at stages II and V and grew during cold exposure; heart rate declined significantly at stage III, then increased gradually during warming. At cooling, all the subjects showed a decrease in stress index against the background of an increase in total HRV power. The preliminary HRV BF session helped to maintain vagal effects on the heart rhythm after whole-body cold air exposure. The changes in amplitude-frequency EEG characteristics during whole-body cold air exposure were manifested in the increased activity of the subcortical regulatory mechanisms (a significant increase in theta-activity). In subjects undergoing HRV BF, the EEG alpha-activity increased, while in the control group in 60 % of cases it decreased, which indicates desynchronization of the main EEG-rhythm.

**Keywords:** *electroencephalography, heart rate variability, biofeedback, whole-body cold air exposure, hypothermia.*

Поступила 03.04.2019

Принята 16.05.2019

Received 3 April 2019

Accepted 16 May 2019

---

**Corresponding author:** Denis Demin, *address:* prosp. Lomonosova 249, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation;  
*e-mail:* denisdemin@mail.ru

**For citation:** Demin D.B., Poskotinova L.V., Krivonogova E.V., Krivonogova O.V., Ovsyankina M.A. The Role of Heart Rate Variability Biofeedback Sessions in the Neurophysiological Responses to Experimental Whole-Body Cold Air Exposure in Humans. *Journal of Medical and Biological Research*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 261–271. DOI: 10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.261