

Иван Михайлович БЕСЕДИН¹
Александр Сергеевич БАЖИН²
Владимир Павлович МЕЛЬНИКОВ³
Людмила Федоровна КАЛЁНОВА⁴

УДК 57.056

**МОДЕЛИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ СЛАБОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
НА ПСИХОНЕРВНОИММУНОЭНДОКРИННУЮ
СИСТЕМУ ТЕПЛОКРОВНОГО ОРГАНИЗМА**

¹ научный сотрудник
Тюменского научного центра СО РАН
teriolog@mail.ru

² младший научный сотрудник
Тюменского научного центра СО РАН
aleksandrbazhin@mail.ru

³ академик РАН, председатель
Тюменского научного центра СО РАН
melnikov@ikz.ru

⁴ доктор биологических наук,
главный научный сотрудник
Тюменского научного центра СО РАН
lkalenova@mail.ru

Аннотация

Исследование выполнено на мышах BALB/c, массой 20-22 г. Локальные температурные воздействия на область грудной клетки осуществлялись с помощью программируемого термоэлектрического устройства «Терцик» («ДНК-Технология», Россия) с температурным модулем $S = 1 \text{ см}^2$. Использовались 3 программы воздействия:

Цитирование: Беседин И. М. Моделирующий эффект температурных воздействий слабой интенсивности на психонервноиммуноэндокринную систему теплокровного организма / И. М. Беседин, А. С. Бажин, В. П. Мельников, Л. Ф. Калёнова // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2016. Том 2. № 2. С. 144-159. DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-144-159

температура модуля +8°C, длительность 5 с («Холод»); +42°C, 30 с («Тепло»); +33°C, 15 с («Контроль стресса»).

Установлено, что температурные воздействия слабой интенсивности могут вызывать системные реакции в теплокровном организме — активировать деятельность ЦНС, модулировать психоэмоциональное состояние животных, изменять мышечную активность, влиять на пищевой инстинкт и эффекторные механизмы иммунной системы. Так, при воздействии пониженной температуры («Холод») происходит преимущественная активация правого полушария головного мозга, увеличение мышечной активности и пищевого инстинкта животных, рост активности иммунной системы преимущественно с Th1-зависимой (провоспалительной) направленностью иммунного ответа. При воздействии повышенной температуры («Тепло») отмечается умеренное снижение мышечной активности и подавление пищевого инстинкта, стимуляция реакций иммунной системы с преимущественно Th2-зависимой (противовоспалительной) направленностью иммунного ответа.

Кратковременное локальное воздействие холода активирует кататоксическую направленность адаптационного ответа и функциональную активность клеточного иммунитета без подавления активности гуморального иммунитета. Кратковременное локальное воздействие тепла активирует синтоксическую направленность адаптационного ответа и функциональную активность гуморального иммунитета без снижения активности клеточного иммунитета.

Таким образом, температурные воздействия слабой интенсивности способны модулировать активность нервной, иммунной и эндокринной регуляторных систем организма, а также влиять на психоэмоциональное состояние животных, что еще больше расширяет представление о системе терморегуляции как «надсистеме» в организменной архитектонике.

Ключевые слова

Терморегуляторная система, регуляторные системы, открытое поле, неспецифическая иммунорезистентность, клеточный и гуморальный иммунитет.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-144-159

Введение

В ходе эволюционного процесса у теплокровных животных и человека была сформирована терморегуляторная система, основная задача которой состоит в поддержании температурного режима организма на оптимальном уровне. Т. к. система терморегуляции не имеет собственных эффекторных органов, а использует для сохранения температуры тела механизмы других физиологических систем (в частности, может целенаправленно изменять деятельность систем кровообращения, дыхания, выделения, обмена веществ и других систем, участвующих в сохранении гомеостаза), ее называют «надсистемой» [11, 17]. Установлена тесная взаимосвязь между системами иммунногенеза и терморегуляции. Так, с помощью температурных воздействий можно модулировать актив-

ность синтеза про- и противовоспалительных цитокинов, факторов неспецифической иммунорезистентности, клеточного и гуморального иммунитета [4, 9, 10, 12, 16]. В свою очередь, иммунная система находится в тесном взаимодействии с нервной. Так у гипоталамических нейросекреторных клеток обнаружена способность экспрессировать рецепторы к ИЛ-1. Сам ИЛ-1, в свою очередь, стимулирует у клеток астроцитарной глии секрецию интерферона и повышает в нервных структурах головного мозга экспрессию ИЛ-2 [14]. Так же показано [13] действие ИЛ-1 на афферентные окончания периферических нервов. Эти и другие факты дали основу для формирования представлений о нейроиммуно-эндокринологической системе организма. Некоторые авторы расширяют границы этой системы до психонервноиммуноэндокринной [18].

В научном сообществе не раз обсуждался вопрос о взаимосвязях между системами терморегуляции и иммуногенеза посредством неспецифических закономерностей адаптации [4, с. 16], нейроэндокринной [6] и цитокиновой [16, с. 161] регуляций. С позиций теории функциональных систем, сформулированной П. К. Анохиным [1, 2, 3, 15], организм представляет собой слаженное взаимодействие множества функциональных систем гомеостатического, метаболического, поведенческого, а у человека — и психического уровня, искусственное вычленение которых и рассмотрение их в качестве изолированных систем вряд ли целесообразно [14, с. 82]. Однако, несмотря на обилие проведенных исследований, воздействие температурного фактора на функциональную активность физиологических систем организма, на наш взгляд, изучено недостаточно.

Представляется актуальным изучение влияния температурных воздействий на теплокровный организм не только с теоретической точки зрения, но и с практических позиций — в частности, для определения температурных режимов, способных целенаправленно изменять функциональную активность различных физиологических систем.

Цель исследования

Изучить влияние локальных кратковременных тепловых и холодových аппликаций с помощью опытного образца аппарата «Терцик» на поведенческие реакции, психоэмоциональное состояние, мышечную активность, пищевой инстинкт и структурно-функциональные параметры иммунной системы в эксперименте на лабораторных мышах.

Материалы и методы

Все исследования проведены в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных» (Пр. МЗ СССР от 12.08.1977 г. №755) и «Европейской конвенцией о защите позвоночных животных» от 18.03.1986. Эксперимент выполнен на 60 инбредных мышах BALB/c массой 20-22 г. Локальное воздействие температурного фактора осуществлялось с помощью программируемого термоэлектрического устройства «Терцик» (марка RS-232С, «ДНК-Технология», Россия) с выносным температурным модулем

площадью 1 см². Использовались 3 программы температурного воздействия. Для группы «Холод» температура выносного модуля составляла +8°C, длительность воздействия — 5 с; для группы «Тепло» — +42°C в течение 30 с; для группы «Контроль стресса» — +33°C (индифферентная для теплокровного организма, контроль стресса) и 15 с. Температурные аппликации проводились местно на область грудной клетки. Для улучшения теплопроводности область грудины смачивали водой и мышь фиксировали на выносном модуле.

Манипуляции с мышами проводились индивидуально, один раз в день через 2 часа после кормления 5 дней подряд. До и после температурных аппликаций вели измерение ректальной температуры животных термометром AMDT-10 (Япония), показавшее, что температура ядра тела животных сохраняется в пределах физиологической нормы. Ежедневно, в течение 5 суток через 2 часа после манипуляции и однократно на 8 сутки, проводили исследование деятельности центральной нервной системы (ЦНС) по характеру поведенческих реакций животных в психоневрологическом тесте «Открытое поле». По числу актов груминга (ухаживание за телом) и дефекации в «открытом поле» оценивали эмоциональное состояние животных. Наблюдение за животными на полигоне проводилось в течение 5 мин [5]. «Мышечную силу» животных оценивали по описанной нами ранее методике «Поднятие груза» [7]. Для увеличения точности оценки мышечной силы вес поднятого груза пересчитывали на 1 грамм веса животного. После 5 воздействия температурного фактора проверили пищевой инстинкт (тест «Дозированное голодание») и структурно-функциональные параметры иммунной системы [7, с. 6].

Активность иммунной системы оценивали следующими методами: рассчитывали индексы тимуса и селезенки (отношение веса органа к весу тела, %); оценивали поглотительную (ФП, %) и метаболическую (НСТ-тест, %) активность макрофагов селезенки, состояние клеточного иммунитета в реакции гиперчувствительности замедленного типа (ГЗТ, %) по Crowle (1975) и гуморального иммунитета методом Cunningham (1968) по числу ядросодержащих клеток в селезенке (ЯСК/сел), антителообразующих клеток в 1×10^6 ЯСК (АОК/ 10^6) и в селезенке (АОК/сел). Для иммунизации использовали Т-зависимые гетерологичные эритроциты, которые вводили внутрибрюшинно в дозах, необходимых для стимуляции клеточного (преимущественно Th1-зависимого, ГЗТ) и гуморального (преимущественно Th2-зависимого, АОК) иммунитета [8]. Достоверность различий между группами оценивали по t-критерию Стьюдента в русифицированной программе SPSS 11,5 for Windows.

Результаты и обсуждение

Известно, что первой реакцией организма на действие стресс-факторов является активация ЦНС посредством изменения поведенческих реакций, направленных на поиск выхода из создавшейся ситуации. Наиболее распространенным и удобным методом оценки деятельности ЦНС у животных является психоневрологический тест «Открытое поле». Он позволяет оценить двигательную ак-

тивность по общему числу пересеченных квадратов полигона; преодоление чувства страха и стимуляцию ориентировочно-исследовательского поведения по числу выходов в центральные квадраты полигона и вертикальные стойки, во время которых животное изучает новое пространство, в том числе за пределами полигона; превалирование активности одного из полушарий головного мозга по соотношению числа поворотов налево и направо; психо-эмоциональное состояние по числу актов груминга (ухаживание за телом) и дефекации.

Исследование показало, что локальное воздействие температурного фактора оказывает влияние на деятельность ЦНС у животных (табл. 1).

Таблица 1

Поведенческие реакции животных

Группы/сутки	1	2	3	4	5	8
Общее число пересеченных квадратов						
«Контроль стресса»	24,75±2,6	23,8±2,5	12,75±2,9	13,5±2,1	3,25±0,6	1±0,24
«Холод»	41,8±3,2**	33,8±3,1*	16±2,2	23,4±2,7**	22,2±3,3**	21±3,1**
«Тепло»	26,2±3,4	26,2±2,9	23,6±2,3*	21,8±2,2*	18,6±2,7**	24±3,2**
Число пересеченных квадратов налево						
«Контроль стресса»	10,75±2,7	10±2,1	6,75±2,2	9,25±3,1	1,5±0,7	0,75±0,4
«Холод»	24,4±2,6**	18,6±2,9*	5,4±1,3	15±2,2	11,8±3**	9,8±3,1**
Тепло	16,4±2,9	15,4±3,5	9,6±1,4	12±3	8,6±2,1**	11,6±3,9**
Число выходов в центр						
«Контроль стресса»	1±0,7	0,8±0,5	1,25±0,9	1±1	0	0
«Холод»	3,8±0,7**	2,4±0,6*	1,6±0,9	0,8±0,5	1,4±0,7	1±0,4
«Тепло»	2,2±0,7	3,4±0,9*	2,2±1	4,2±0,6*	1,2±0,5	2,6±0,9
Число вертикальных стоек						
«Контроль стресса»	0	4±1,6	5,25±3,1	3,5±1,7	0,25±0,25	0
«Холод»	5,8±1,6	10,6±2*	5,8±1,5	5,4±1,1	5,8±1,6**	5,6±1,1
«Тепло»	9,2±1	8±1,7	8±2,3	7,8±1,6*	4±0,8**	4,4±2

Примечание: достоверность отличия показателей в опытной группе от контрольного уровня * — $p < 0.05$ и ** — $p < 0.01$

Под воздействием индифферентной температуры (группа «Контроль стресса») общая двигательная активность животных была высокой только первые двое суток — $24,75 \pm 2,6$ и $23,8 \pm 2,5$ пересеченных квадратов, к 8 суткам она снизилась до $1 \pm 0,24$ квадратов. Внутренние квадраты полигона животные посещали редко на протяжении всего исследования, а в вертикальные стойки вставали по 3-5 раз на 2-4 сутки эксперимента. Соотношение числа поворотов налево и направо колебалось вокруг «1» в диапазоне от $0,87 \pm 0,07$ до $1,06 \pm 0,09$, что является свидетельством относительного равновесия между активностью правого и левого полушарий головного мозга. Данные показатели являются типичными реакциями животных на полигоне «Открытого поля» [8].

Первая аппликация холода резко стимулировала общую двигательную активность мышей ($41,8 \pm 3,2$ пересеченный квадрат), которая сохранялась на повышенном уровне весь период наблюдения ($21 \pm 3,1$ квадрат на 8-е сутки) и значительно превышала контрольные показатели ($p < 0,01$). Первые двое суток активность посещения центральных квадратов полигона была в 2-3 раза выше контрольного уровня, а число вертикальных стоек было стабильно более 5 стоек на всем протяжении исследования. Эти данные свидетельствуют о снижении уровня страха и стимуляции у животных ориентировочно-исследовательского поведения под влиянием холодовых аппликаций. Первые четверо суток у животных из группы «Холод» соотношение числа поворотов налево превалировало над числом поворотов направо в $1,47 \pm 0,11 \div 1,79 \pm 0,14$ раза, что достоверно выше контрольного уровня и свидетельствует о превалировании активности правого полушария.

Под воздействием тепловых аппликаций двигательная активность животных была высокой первые двое суток, хотя и не превышала контрольный уровень ($26,2 \pm 3,4 \div 24 \pm 3,2$ пересеченный квадрат), а после 3 воздействия она стала значительно превышать контрольный уровень ($p < 0,01$). Т. е. аппликации тепла способствовали сохранению двигательной активности мышей на стабильно высоком уровне в течение всего периода наблюдения. Активность посещения центральных квадратов полигона и особенно выхода в вертикальные стойки (от $9,2 \pm 1$ до $4 \pm 0,8$ раз) также была статистически выше контрольных показателей, что свидетельствует о преодолении страха и стимуляции у животных ориентировочно-исследовательского поведения. На первые аппликации тепла в большей степени отреагировало правое полушарие головного мозга — число поворотов налево в $1,82 \pm 0,15$ (1-я аппликация) и $1,42 \pm 0,11$ (2-я аппликация) раз превысило число поворотов направо, что было достоверно выше контрольного уровня ($p < 0,01$ в обоих случаях).

По характеру поведенческих реакций опытные группы несколько различались между собой. Первые 2-е суток мыши из группы «Холод» были почти в 2 раза более активны ($41,8 \pm 3,2$ пересеченный квадрат против $26,2 \pm 3,4$, $p < 0,01$), а затем (3-4-е сутки) стали поворачивать налево чаще ($1,79 \pm 0,14$ раз против $1,33 \pm 0,12$, $p < 0,05$), чем мыши из группы «Тепло». Анализ полученных данных свидетельствует о том, что локальные и кратковременные аппликации темпера-

туры, отличной в ту или иную сторону от индифферентной для теплокровного организма, способствуют активации правого полушария головного мозга и ориентировочно-исследовательского поведения животных. Причем активность ЦНС под влиянием холода выше, чем под воздействием тепла.

Акты груминга (ухаживание за своим телом) и дефекации характеризуют психо-эмоциональное состояние животных. Число актов груминга (рис. 1) достоверно превышало контрольный уровень практически на всем протяжении исследования под влиянием тепловых аппликаций. Под влиянием холодовых аппликаций активность груминга была достоверно снижена относительно контроля на 2-3-е сутки исследования. Эти данные могут свидетельствовать о том, что только под влиянием тепловых аппликаций на область грудной клетки животные чувствуют себя комфортнее относительно контрольной группы под влиянием холодовых аппликаций.

Анализ дефекационной активности животных не выявил особенностей данного показателя (рис. 2) относительно контрольного уровня под влиянием как холодовых, так и тепловых аппликаций.

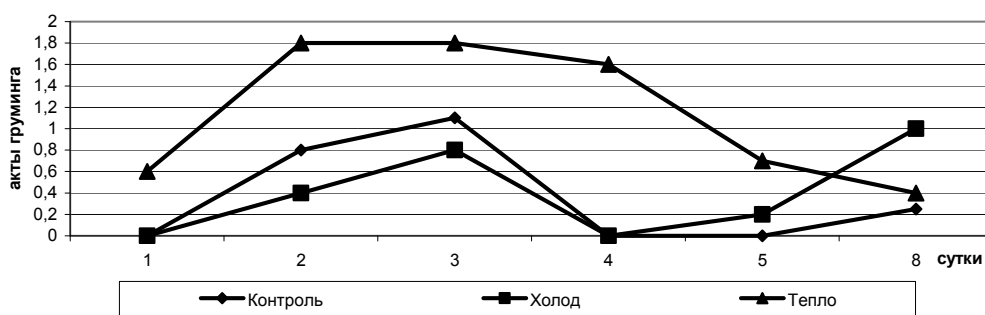


Рис. 1. Число актов груминга

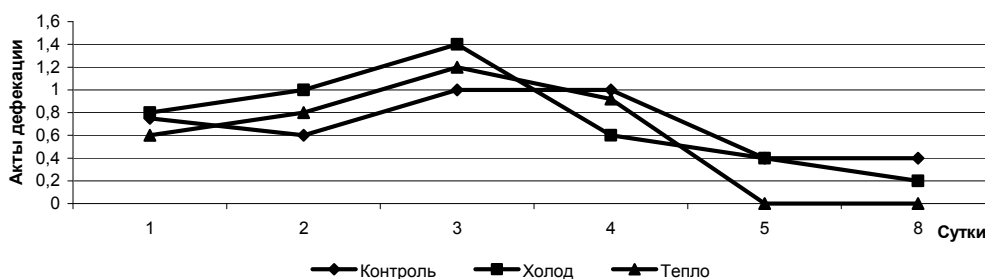


Рис. 2. Число актов дефекации

Известно, что в поддержании температурного гомеостаза значительную роль играет мышечная ткань: при увеличении ее активности увеличивается и выработка тепла в организме.

Исследование мышечной активности в тесте «Поднятие груза» (рис. 3) показало, что животные в норме (группа «Контроль стресса») способны удерживать груз в 4-5 раз больше веса тела.

Первая аппликация холода резко стимулировала мышечную активность животных, и они смогли поднять груз в 8 раз больше собственного веса, а во все последующие дни поднимали груз в 6 раз больше веса тела. Под влиянием тепловых аппликаций отмечается тенденция к снижению мышечной активности, а достоверное ее снижение ($p < 0,05$) выявлено на 2-е сутки. Полученные данные являются свидетельством регуляторной деятельности системы терморегуляции и говорят, что даже локальное воздействие пониженной температуры может стимулировать мышечную активность у теплокровного организма.

Пищевой инстинкт в значимой степени отражает состояние обмена веществ в организме. Исследование пищевого инстинкта проводилось в тесте «Дозированное голодание» — мышей оставляли без пищи на 18 часов, что равносильно недельному голоданию для человека. Взвешивание животных проводилось трижды — перед тем, как убрали корм, перед тем, как вернули корм в клетку и через 2 часа после кормления. Рассчитывали потерю веса за время голодовки и прибавку веса после кормления в процентах к исходному весу тела (рис. 4).

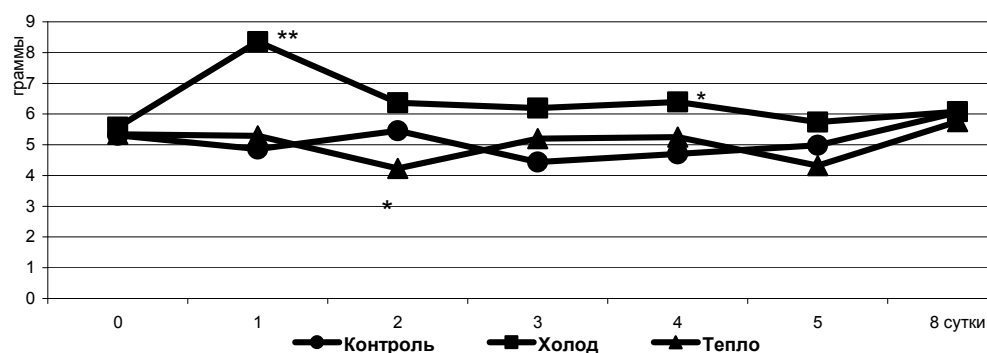


Рис. 3. Вес поднятого груза в пересчете на 1 грамм веса тела животного

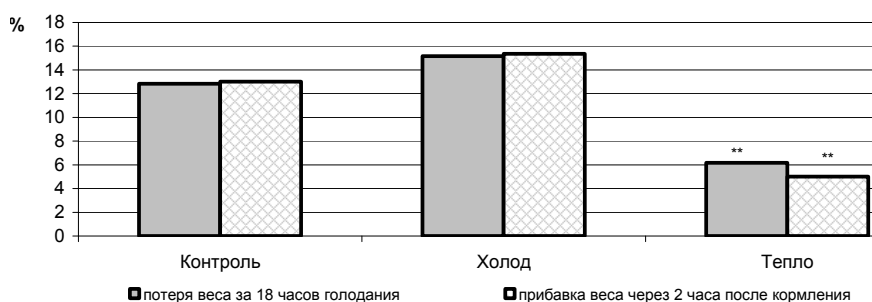


Рис. 4. Влияние локального воздействия температурного фактора на пищевое поведение животных

Из результатов, отраженных на рис. 4, видно, что 5-секундные аппликации холода сопровождаются большей потерей веса на фоне голодания животных ($p < 0,05$) и его прибавкой через 2 часа после кормления относительно контрольного уровня ($p > 0,05$). Под влиянием 30-секундных аппликаций тепла животные в 2 раза меньше теряют вес за 18 часов вынужденного голодания и, соответственно, в меньшей степени его набирают после кормления, чем контрольные и животные из группы «Холод» ($p < 0,01$ во всех случаях). Данные об активности пищевого инстинкта, на наш взгляд, наглядно демонстрируют реципрокность и специфичность влияния вектора температурного воздействия «холод — тепло» на процессы катаболизма и анаболизма, и в целом характеризуют активность обмена веществ в организме.

Комплекс полученных данных — рост активности ориентировочно-исследовательского поведения и деятельности правого полушария головного мозга, увеличение мышечной активности и обмена веществ под влиянием аппликаций холода отражают активацию эффекторных механизмов системы терморегуляции, направленных на повышение устойчивости организма к холоду и, соответственно, активацию кататоксической направленности адаптационного ответа.

Комплекс данных — активация деятельности ЦНС, умеренное снижение мышечной активности и значимое снижение активности обмена веществ под влиянием аппликаций тепла свидетельствует о поддержании в организме функций, направленных на «сопереживание» с предъявленным раздражителем — тепловыми воздействиями, а также об активации синтоксической направленности адаптационного ответа.

Иммунная система, как одна из основных регуляторных систем организма и непосредственная участница реализации программ адаптации, отвечает неспецифическими реакциями на физические воздействия. Исследование показало, что локальное воздействие температурного фактора способно оказывать влияние на ее структурно-функциональные параметры (табл. 2).

Под влиянием холодových аппликаций отмечается увеличение индекса тимуса, числа лейкоцитов в периферической крови, метаболической активности макрофагов и практически двукратное повышение функциональной активности клеточного иммунитета (уровень реакции ГЗТ в контроле равен $26,2 \pm 1,3\%$, а в опыте — $57,6 \pm 4,3\%$, $p < 0,01$). В своем комплексе эти данные свидетельствуют об активации преимущественно Th1-зависимого типа иммунного ответа. Под влиянием тепловых аппликаций отмечается увеличение индексов тимуса и селезенки, снижение уровня нейтрофильных гранулоцитов и увеличение доли лимфоцитов в периферической крови, повышение поглотительной и метаболической активности макрофагов, значимое увеличение показателей гуморального (АОК/ 10^6 , ЯСК/сел, АОК/сел) иммунитета и тенденция к повышению активности клеточного (ГЗТ) иммунитета относительно их контрольных уровней. Эти данные говорят о повышении активности Т-хелперов обоих типов — Th1 и Th2 с превалированием активности Th2-лимфоцитов. В пользу активации

Таблица 2

Структурно-функциональные параметры иммунной системы

Показатели/группы	«Контроль стресса»	«Холод»	«Тепло»
Индекс тимуса	0,21±0,02	0,28±0,03*	0,30±0,03*
Индекс селезенки	0,65±0,05	0,73±0,08	0,96±0,12*
Лейкоциты (тыс. в 1 мм ³)	5,55±0,5	6,94±0,13*	5,66±0,15
Нейтрофилы, %	17,9±2,0	15,2±1,7	12,4±1,4*
Лимфоциты	79,4±2,2	82,8±3,1	85,6±1,4*
Моноциты	2,7±0,4	2,0±0,4	2,0±0,2
ФП, %	16,3±2,3	14,4±2,3	28,2±3,2**
НСТ, %	12,6±0,6	20,8±3,2**	20,4±3,1**
ГЗТ, %	26,2±1,3	57,6±4,3*	31,0±2,4*
АОК/106	726±81	712±56	1304±219*
ЯСК/сел (x106)	327±35	368±10	507±24**
АОК/сел (x103)	237±37	261±20	662±112**

Примечание: достоверность отличия показателей в опытной группе от контрольного уровня * — p<0.05 и ** — p<0.01

Th1-зависимого типа иммунного ответа свидетельствуют увеличение индекса тимуса, метаболической активности макрофагов и умеренное повышение активности клеточного иммунитета. В пользу Th2-зависимого — увеличение индекса селезенки, снижение уровня нейтрофильных гранулоцитов в периферической крови, рост поглотительной активности макрофагов и 2-кратное повышение активности гуморального иммунитета (1304±151 АОК в 1×106 ЯСК против 726±81 и 662±92×103 АОК в селезенке против 237±37 в контроле, p<0.01 в обоих случаях).

Полученные данные свидетельствуют, с одной стороны, о неспецифической стимуляции иммуногенеза под влиянием температурного фактора, с другой — о селективной модуляции типа иммунного ответа в зависимости от вектора температурного воздействия («холод — тепло»).

Заключение

Общим проявлением воздействия температурного фактора вне зависимости от его вектора является активация деятельности ЦНС и ориентировочно-исследовательского поведения. При воздействии пониженной температуры («Холод») идет преимущественная активация правого полушария, увеличение мышеч-

ной активности и пищевого инстинкта животных, рост активности иммунной системы преимущественно с Th1-зависимой (провоспалительной) направленностью иммунного ответа. При воздействии повышенной температуры («Тепло») отмечается умеренное снижение мышечной активности и подавление пищевого инстинкта, стимуляция реакций иммунной системы с преимущественно Th2-зависимой (противовоспалительной) направленностью иммунного ответа.

При воздействии стрессоров в виде чужеродных антигенов направленность типа иммунного ответа в сторону Th1- или Th2-зависимого зависит от профиля цитокинов, секретируемых антигенпрезентирующими клетками (в частности, от баланса ИЛ-6 и ИЛ-12).

По-нашему мнению возможны два пути модуляции активности иммунокомпетентных клеток под влиянием физического фактора — температуры. Во-первых, за счет активации иммунокомпетентных клеток, представленных в кожных покровах, в том числе клеток Лангерганса и интраэпителиальных Т-лимфоцитов, на синтез цитокинов с про- (под воздействием пониженной температуры) или противовоспалительной (под воздействием повышенной температуры) активностью. Во-вторых, за счет специфической активации холодовых или тепловых терморцепторов кожных покровов и активации соответствующих зон центра терморегуляции с последующим синтезом цитокинов с про- или противовоспалительной активностью. Т. е. в основе регуляторной роли системы терморегуляции могут лежать не только неспецифические механизмы адаптации, но и специфическое использование системой терморегуляции эффекторных механизмов иммунной системы для поддержания температурного гомеостаза теплокровного организма.

Активация деятельности ЦНС, обмена веществ и иммуногенеза с провоспалительной направленностью иммунного ответа под влиянием холодовых аппликаций может говорить об активации функций, направленных на формирование устойчивости организма к пониженной температуре, т. е. об активации кататоксической направленности адаптации. Активация деятельности ЦНС, снижение активности обмена веществ и стимуляция иммуногенеза с противовоспалительной направленностью иммунного ответа под влиянием тепловых аппликаций свидетельствуют об активации функций, направленных на соперение с повышенной температурой — об активации синтоксической направленности адаптационного ответа.

Таким образом, температурные воздействия слабой интенсивности способны модулировать активность нервной, иммунной и эндокринной регуляторных систем организма, а также влиять на психоэмоциональное состояние животных, что еще больше расширяет представление о системе терморегуляции как о «надсистеме» в организменной архитектонике.

Выводы

Температурные воздействия слабой интенсивности могут вызывать системные реакции в теплокровном организме, активировать деятельность ЦНС, изменять

мышечную активность, влиять на пищевой инстинкт, модулировать активность эффекторных механизмов иммунной системы. Кратковременное локальное воздействие холода активирует кататоксическую направленность адаптационного ответа и функциональную активность клеточного иммунитета без подавления активности гуморального иммунитета. Краткое локальное воздействие тепла активирует синтоксическую направленность адаптационного ответа и функциональную активность гуморального иммунитета без снижения активности клеточного иммунитета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохин П. К. Избранные труды. Кибернетика функциональных систем / П. К. Анохин. М.: Медицина, 1998. 410 с.
2. Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса / П. К. Анохин. М.: Медицина, 1968. 546 с.
3. Анохин П. К. Теория функциональной системы / П. К. Анохин // Успехи физиол. наук. 1970. Т. 1. № 1. С. 19-38.
4. Аржакова Л. И. Влияние адаптогенов на функциональную активность клеток иммунной и кроветворной систем при холодовом воздействии: автореф. дисс. канд. биол. наук / Л. И. Аржакова. Новосибирск, 2000. 23 с.
5. Буреш Я. Методики и основные эксперименты по изучению мозга и поведения / Я. Буреш, О. Бурешова, Д. П. Хьюстон; пер. с англ. М.: Высш. школа, 1991. 399 с.
6. Ветрова Ю. В. Неспецифические (синтоксические и кататоксические) механизмы адаптации к длительному воздействию холодового раздражения / Ю. В. Ветрова, О. В. Гуськова-Алексеева, В. Н. Морозов, А. А. Хадарцев // Вестник новых медицинских технологий. 2000. № 3. С. 100-105.
7. Калёнова Л. Ф. Влияние микроорганизмов вечной мерзлоты на качество и продолжительность жизни лабораторных животных / Л. Ф. Калёнова, Ю. Г. Суховой, А. В. Брушков, В. П. Мельников, Т. А. Фишер, И. М. Беседин, М. В. Новикова, Ю. А. Ефимова // Российский физиологический журнал имени И. М. Сеченова. 2010. Т. 96, № 1. С. 89-97.
8. Калёнова Л. Ф. Влияние микроорганизмов вечной мерзлоты на морфофункциональную активность иммунной системы в эксперименте / Л. Ф. Калёнова, Ю. Г. Суховой, А. В. Брушков, В. П. Мельников, Т. А. Фишер, И. М. Беседин, М. А. Новикова, Ю. А. Ефимова, А. М. Субботин // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2011. Т. 151, № 2. С. 164-167.
9. Козырева Т. В. Охлаждающее воздействие в разные периоды иммуногенеза и антигенсвязывающая функция клеток селезенки у крыс / Т. В. Козырева, Л. С. Елисеева, С. В. Злыгостева // Рос. физиолог. журн. 2003. № 1. С. 83-88.
10. Козырева Т. В. Адаптация к холоду и структура терморегуляторного ответа при медленном и быстром охлаждении / Т. В. Козырева // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 1997. Т. 83. С. 1571-1586.
11. Лизунова И. И. Особенности терморегуляции жителей разных климатогеографических регионов при адаптации к умеренному климату / И. И. Лизунова // Сборник научных трудов. М.: Издательство Университета дружбы народов, 1985. 117 с.

12. Морозов В. Н. Диагностика адаптивных процессов у лиц, подверженных длительному холодовому воздействию / В. Н. Морозов, А. А. Хадарцев, Ю. В. Карасева, В. И. Морозова, А. В. Хапкина // Клиническая лабораторная диагностика. 2001. № 11. С. 45-46.
13. Пальцев М. А. Руководство по нейроиммуноэндокринологии / М. А. Пальцев, И. М. Кветной. М.: Медицина, 2006. 382 с
14. Судаков К. В. Иммунные звенья системной организации поведения / К. В. Судаков, Е. А. Иванова, Е. В. Коплик, А. В. Котов, А. Н. Кравцов, А. Ф. Мещеряков, С. С. Перцов, С. В. Сотников, С. М. Толпыго, А. Е. Умрюхин, П. Е. Умрюхин // Успехи Физиологических наук. 2011. Т. 42. № 3. С. 81-96.
15. Судаков К. В. Теория функциональной системы. Постулаты и принципы построения организма человека / К. В. Судаков // Журн. пат. физиология и эксперимент. терапия. 2007. № 4. С. 2-11.
16. Трунова Г. В. Сравнительная оценка продукции цитокинов спленocyтaми мышей линий C57/Black-6 и BALB/C при холодовом воздействии / Г. В. Трунова, О. В. Макарова, С. Н. Серебряков, М. Е. Диатроптов // International journal on immunorehabilitation. Физиология и патология иммунной системы. 2003. Т. 5. № 2. С. 160-161.
17. Филимонов В. И. Руководство по общей и клинической физиологии / В. И. Филимонов. ООО «Медицинское информационное агентство», 2002. 958 с.
18. Rosch P. J. Future directions in psychoneuroimmunology: Psychoelectroneuroimmunology / P. J. Rosch; B. Leonard, K. Miller (Eds.) // Stress, the Immune. System and Psychiatry. New York: 1995. Pp. 207-231.

Ivan M. BESEDIN¹
Alexander S. BAZHIN²
Vladimir P. MELNIKOV³
Lyudmila F. KALENOVA⁴

SIMULATING EFFECT OF LOW INTENSITY TEMPERATURE ACTIONS ON PSYCHO-NEURO-IMMUNO-ENDOCRINE SYSTEM OF WARM-BLOODED ORGANISMS

- ¹ Researcher of the Tyumen Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
teriolog@mail.ru
- ² Junior Researcher of the Tyumen Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
aleksandrbazhin@mail.ru
- ³ Academician of the Russian Academy
of Sciences, Chairman of the Tyumen Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
melnikov@ikz.ru
- ⁴ Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher,
Tyumen Scientific Center,
Russian Academy of Sciences
lkalenova@mail.ru

Abstract

The study has been performed in mice BALB/c, weighing 20-22 g. Tertsik (DNA Technology, Russia) programmable thermoelectric device with a temperature module $S=1\text{ cm}^2$ affected the chest locally. The authors use three impact programs: + 8 °C module temperature, 5 seconds duration (“Cold”); + 42 °C, 30 seconds (“Warmth”); + 33 °C, 15 seconds (“Control stress”). It is found that the low intensity temperature actions can cause systemic

Citation: Besedin I. M., Bazhin A. S., Melnikov V. P., Kalenova L. F. 2016. “Simulating effect of low intensity temperature actions on psycho-neuro-immuno-endocrine system of warm-blooded organisms”. Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 2, no. 2, pp. 144-159.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-144-159

reactions in warm-blooded animals to activate the central nervous system, to modulate the emotional state of animals, to change muscle activity, to influence the food instinct and effector mechanisms of the immune system. Thus, when low temperature (“Cold”), the right hemisphere of the brain is activating mainly, muscle activity and animal food instinct are increasing, the immune system predominantly with Th1-dependent (pro-inflammatory) immune response is increasing. When high temperature (“Warmth”), muscle activity is decreasing moderately, food instinct is suppressing, the stimulation of the immune system with predominantly Th2-dependent (anti-inflammatory) immune response is decreasing. Short-term local exposure to cold activates katatoxic orientation of adaptive response and the functional activity of cellular immunity without humoral immune activity suppression.

Short-term local effects of heat activate sintooxic orientation of adaptive response and the functional activity of humoral immunity without reducing the activity of cellular immunity. Thus, the temperature effects of low intensity are capable to modulate the activity of the nervous, immune and endocrine regulatory systems as well as to influence the psycho-emotional condition of the animals. It evaluates the idea of thermoregulation system as a “super-system” in the organismic architectonics.

Keywords

Thermoregulatory system, regulatory system, open field, nonspecific immunoresistance, cellular and humoral immunity.

DOI: 10.21684/2411-7927-2016-2-2-144-159

REFERENCES

1. Anokhin P. K. 1968. *Biologiya i neyrofiziologiya uslovnogo refleksa* [Biology and Neurophysiology of Conditioned Reflex], 546 p. Moscow: Medicina.
2. Anokhin P. K. 1970. *Teoriya funktsionalnoy sistemy* [The Theory of Functional Systems]. *Uspehi Fiziologicheskikh nauk* [Advances of Physiological Sciences], vol. 1, no. 1, pp. 19-38.
3. Anokhin P. K. 1998. *Izbrannyye trudy. Kibernetika funktsionalnykh sistem* [Selected Works. Cybernetics of Functional Systems], 410 p. Moscow: Medicina.
4. Arzhakova L. I. 2000. *Vliyanie adaptogenov na funktsionalnuyu aktivnost kletok immunnoy i krovetvornoy sistem pri holodovom vozdeystvii* [Influence of Adaptogens on Functional Activity of Cells of the Immune and Hematopoietic Systems During Cold Exposure]. The synopsis of Cand. Sci. (Biol.) diss., Novosibirsk.
5. Buresh J., Bureshova O., Houston D. P. 1991. *Metodiki i osnovnyye eksperimenty po izucheniyu mozga i povedeniya* [Techniques and Basic Experiments on the Brain and Behavior], 399 p. Moscow: Vysshaya shkola.
6. Filimonov V. I. 2002. *Rukovodstvo po obschey i klinicheskoy fiziologii* [Guide to General and Clinical Physiology], 958 p. Medical News Agency Ltd.
7. Kalyonova L. F., Sukhovey Y. G., Brushkov A. V., Melnikov V. P., Fischer T. A., Besedin I. M., Novikova M. V., Efimova J. A. 2010. *Vliyanie mikroorganizmov vechnoy mertzloty na kachestvo i prodolzhitelnost zhizni laboratornykh zhivotnykh* [Influence of Permafrost Microorganisms on the Quality and Life Expectancy of Laboratory Animals]. *Rossiyskiy*

- fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova [I. M. Sechenov Physiological Journal], vol. 96, no. 1, pp. 89-97.
8. Kalyonova L. F., Sukhovey Y. G., Brushkov A. V., Melnikov V. P., Fischer T. A., Bese-din I. M., Novikova M. A., Efimova J. A., Subbotin A. M. 2011. Vliyaniye mikroorganizmov vechnoy merzloty na morfofunkcionalnuyu aktivnost immunnnoy sistemy v eksperimente [Influence of Permafrost Microorganisms on Morphofunctional Activity of the Immune System in the Experiment]. Byulleten eksperimentalnoy biologii i mediciny [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], vol. 151, no. 2, pp. 164-167.
 9. Kozyreva T. V., Yeliseeva L. S., Zlygosteva S. V. 2003. Ohlazhdayuschee vozdeystvie v raznye periody immunogeneza i antigensvyazyvayuschaya funkciya kletok selezenki u kry-s [The Cooling Effects in Different Immunogenesis Periods and Antigen-binding Function of Spleen Cells in Rats]. Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal [Russian Journal of Physi-ology], no. 1, pp. 83-88.
 10. Kozyreva T. V. 1997. Adaptaciya k holodu i struktura termoregulyatornogo otveta pri medlennom i bystrom ohlazhdenii [Adapting to the Cold and the Structure of Thermoregu-latory Response at Slow and Fast Cooling]. Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova [I. M. Sechenov Physiological Journal], vol. 83, pp. 1571-1586.
 11. Lizunova I. I. 1985. Osobennosti termoregulyacii zhiteley raznykh klimatogeograficheskikh regionov pri adaptacii k umerennomu klimatu [Thermoregulation Features of the Population from Different Climatic Regions in Adapting to Moderate Climate]. Sbornik nauchnykh trudov [Collection of scientific works], 117 p. Moscow: RUDN University.
 12. Morozov V. N., Khadartsev A. A., Karaseva Y. V., Morozova V. I., Hapkina A. V. 2001. Di-agnostika adaptativnykh processov u lic, podverzhennykh dlitelnomu holodovomu vozdeyst-viyu [Diagnosis of Adaptive Processes in the Individuals Exposed to Prolonged Cold Exposure]. Klinicheskaya laboratornaya diagnostika [Clinical Laboratory Services], no. 11, pp. 45-46.
 13. Paltsev M. A., Kvetnoy I. M. 2006. Rukovodstvo po neyroimmunoendokrinologii [Guide of Neuro-immune-endocrinology], 382 p. Moscow: Medicina.
 14. Rosch P. J. 1995. Future Directions in Psychoneuroimmunology: Psychoelectroneuroim-munology. Stress, the Immune. System and Psychiatry, New York, pp. 207-231.
 15. Sudakov K. V. 2007. Teoriya funktsionalnoy sistemy. Postulaty i principy postroeniya orga-nizma cheloveka [The Theory of Functional Systems. The Postulates and Principles of the Human Body]. Patologicheskaya fiziologiya i eksperimentalnaya terapiya, no. 4, pp. 2-11.
 16. Sudakov K. V., Ivanova E. A., Koplik E. V., Kotov A. V., Kravtsov A. N., Meshcheryak-ov A. F., Pertcev S. S., Sotnikov S. V., Tolpygo C. M., Umriukhin A. E., Umriukhin P. E. 2011. Immunnye zvenya sistemnoy organizacii povedeniya [Immune Units of the system organization behavior]. Uspehi Fiziologicheskikh nauk [Advances of Physiological Sci-ences], vol. 42, no. 3, pp. 81-96.
 17. Trunova G. V., Makarova O. V., Serebryakov S. N., Diatroptov M. E. 2003. Sravnitel'naya ocenka produktsii citokinov splenocitami myshey liniy C57/Black-6 i BALB/C pri holodovom vozdeystvii [Comparative Evaluation of Cytokine Production by Mice Splenocytes of Lines C57/Black-6 and BALB/C During Cold Exposure]. International journal on immunoreha-bilitation. Physiology and pathology of the immune system, vol. 5, no. 2, pp. 160-161.
 18. Vetrova J. V., Guskova-Alekseeva O. V., Morozov V. N., Khadartsev A. A. 2000. Nespeci-ficheskie (sintoksicheskie i katatoksicheskie) mekhanizmy adaptacii k dlitelnomu vozdey-stviyu holodovogo razdrazheniya [Non-specific (Sintoxic and Katatoxic) Mechanisms of Adaptation to Prolonged Exposure to Cold Stimulation]. Vestnik novykh medicinskih teh-nologiy [Journal of New Medical Technologies], no. 3, pp. 100-105.