

ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ У ДЕВУШЕК ПРИ ЛОКАЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ КОЖИ

© 2019 г. Е. В. Коробицына, А. Б. Гудков, О. Н. Попова

ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск

Цель работы – выявить особенности реакции центральной гемодинамики на локальное холодное воздействие на кожу кисти и стопы у девушек 17–20 лет. *Методы:* с помощью Системы интегрального мониторинга «СИМОНА 111» определены показатели преднагрузки, сократимости миокарда, постнагрузки, работы левого желудочка и показатели гемодинамического статуса после воздействия на кожу кисти и стопы различной температуры (24, 15 и 8 °С). *Результаты.* Охлаждение кисти водой температурой 15 и 8 °С вызывает снижение сократимости миокарда (индекс состояния инотропии – ИСИ на 6,3 % ($p = 0,012$) и 8,2 % ($p = 0,007$), индекс сократимости миокарда – ИСМ на 2,5 % ($p = 0,033$) и 1,5 % ($p = 0,010$), коэффициент напряжения миокарда – КНМ на 6 % ($p < 0,001$) и 5,4 % ($p = 0,002$) соответственно) и работы левого желудочка (минутный индекс работы левого желудочка – МИРЛЖ на 7,0 % ($p = 0,003$) и 8,0 % ($p = 0,002$) соответственно). Охлаждение стопы приводит к понижению сократимости миокарда при температуре 24 °С (ИСМ на 1,5 % ($p = 0,031$), КНМ на 7,4 % ($p = 0,025$)), 15 и 8 °С (ИСИ на 12,1 % ($p = 0,002$) и на 14,7 % ($p = 0,003$), ИСМ на 7,6 % ($p < 0,001$) и 10,2 % ($p < 0,001$) соответственно), а также работы левого желудочка (МИРЛЖ на 3,5 % ($p = 0,007$)) при 24 °С и возрастанию среднего артериального давления на 4,2 % ($p = 0,013$) при 8 °С. *Выводы.* Локальное холодное воздействие приводит к снижению сократимости миокарда и работы левого желудочка и к возрастанию показателей гемодинамического статуса. Наибольшая реактивность сердечно-сосудистой системы отмечается после локального охлаждения кожи стопы в воде температурой 15 и 8 °С.

Ключевые слова: локальное охлаждение, кисть, стопа, сердечно-сосудистая система

CHANGES IN CENTRAL HEMODYNAMICS AFTER LOCAL SKIN COOLING IN FEMALES

E. V. Korobitsyna, A. B. Gudkov, O. N. Popova

Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

Aim: we studied changes in central hemodynamics after localized cold exposure in females aged 17–20 years. *Methods:* We exposed the skin (hand and foot) of female to water at temperatures 24, 15 and 8 degrees Celsius. SIMONA 111 Integrated Monitoring System was used to assess indicators of preload, myocardial contractility, afterload, left ventricular function and hemodynamic status indicators. *Results.* The hand cooling with water at a temperature of 15 and 8 degrees Celsius decreased inotropy index by 6.3 % ($p = 0.012$) and 8.2 % ($p = 0.007$), respectively. Corresponding reductions in myocardial contractility index were 2.5 % ($p = 0.033$) and 1.5 % ($p = 0.010$), in myocardial stress coefficient - by 6 % ($p < 0.001$) and 5.4 % ($p = 0.002$), respectively), and the cardiac index of the work of the left ventricle - by 7.0 % ($p = 0.003$) and 8.0 % ($p = 0.002$). Foot cooling at 24 degrees Celsius decreased myocardial contractility index by 1.5 % ($p = 0.031$) and myocardial stress coefficient by 7.4 % ($p = 0.025$), while exposure to 15 and 8 degrees Celsius (decreased notropy index by 12.1 % ($p = 0.002$) and by 14.7 % ($p = 0.003$), myocardial contractility index by 7.6 % ($p < 0.001$) and 10.2 % ($p < 0.001$), respectively). Cardiac index of the work of the left ventricle decreased by 3.5 % ($p = 0.007$) following foot exposure to 24 degrees Celsius. Mean blood pressure increased by 4.2 % ($p = 0.013$) following exposure to 8 degrees Celsius. *Conclusions.* Local cold exposure leads to a decrease in myocardial contractility and left ventricular function and to an increase in hemodynamic status. The greatest reactivity of the cardiovascular system is stated after local cooling of the foot skin in water at a temperature of 15 and 8 degrees Celsius.

Key words: local cooling, hand, foot, cardiovascular system

Библиографическая ссылка:

Коробицына Е. В., Гудков А. Б., Попова О. Н. Изменения центральной гемодинамики у девушек при локальном охлаждении кожи // Экология человека. 2019. № 11. С. 20–23.

Korobitsyna E. V., Gudkov A. B., Popova O. N. Changes in Central Hemodynamics after Local Skin Cooling in Females. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 11, pp. 20-23.

В естественных природно-климатических районах с холодным климатом [1, 7], а также в условиях производственных процессов, выполняемых на открытой территории или в неотопливаемых помещениях, влиянию локального холодного воздействия у человека подвержены не только верхние дыхательные пути и лицо, но и кисти рук и стопы, что отражается на функциональном состоянии кардиореспираторной системы и может приводить к различным повреждениям здоровья [3, 10]. В настоящее время в литературе

имеются сведения о влиянии локального охлаждения рук и стоп на показатели функции внешнего дыхания [2, 4]. Между тем исследования по влиянию локального охлаждения кожи на сердечно-сосудистую систему носят единичный характер, и проводились они только у мужчин [6, 9], в то время как сведения о реакции сердечно-сосудистой системы на локальное охлаждение рук у женщин, а также сведения о влиянии на сердечно-сосудистую систему локального охлаждения стопы практически отсутствуют. Известны

различные методики проведения локальной холодовой пробы с использованием как одной температуры, так и нескольких разных температур. Применительно к охлаждению конечностей, по мнению J. Holmer [11], различают три уровня напряжения организма при различных температурах: лёгкое напряжение (температура 24 °С), умеренное напряжение (15 °С) и сильное напряжение (8 °С). В интервале этих температур и проводилось нами локальное охлаждение.

Цель исследования — выявить особенности реакции центральной гемодинамики на локальное холодовое воздействие на кожу кисти и стопы у девушек.

Методы

Обследованы 30 девушек в возрасте от 17 до 20 лет, родившихся и постоянно проживающих в условиях Арктической зоны Российской Федерации. Обследовались только здоровые лица, которых отбирали по официальным критериям Всемирной организации здравоохранения.

У испытуемых оценивались следующие функциональные показатели центральной гемодинамики:

- показатели преднагрузки — отклонение от нормы волемиического статуса (ВОЛ, %);
- сократимости миокарда — индекс состояния инотропии (ИСИ, 1/сек²), индекс сократимости миокарда (ИСМ, 1 000/сек), отклонение от нормы сократимости левого желудочка (ИНО, %), коэффициент напряжения миокарда (КНМ, у.е.);
- постнагрузки — пульсовой индекс периферического сосудистого сопротивления (ПИПСС, 10⁻³ ×дин×сек/см⁵/м²);
- работы левого желудочка (минутный индекс работы левого желудочка (МИРЛЖ, кг·м/мин/м²), ударный индекс работы левого желудочка (УИРЛЖ, г×м/уд/м²);

- основные показатели гемодинамического статуса: среднее артериальное давление (АДср, мм рт. ст.), ударный индекс (УИ, мл/уд/м²).

Артериальное давление измерялось с помощью встроенного электронно-измерительного блока методом сфигмоманометрии.

Исследование осуществлялось с помощью аппаратно-программного комплекса Система интегрального мониторинга «СИМОНА 111». В качестве модельной нагрузки использовалась холодовая проба с локальной гипотермией кисти и стопы в воде в течение 1 мин с температурной градацией 24, 15 и 8 °С [11]. После каждой из проб период восстановления составлял 25 мин [8].

Анализировались результаты исследования с помощью статистического пакета SPSS 21.0. Нормальность распределения данных проводилась при помощи критерия Шапиро — Уилка (для выборок до 50 наблюдений). Так как данные не подчинялись закону нормального распределения, результаты описательной статистики для них представлялись в виде медианы (Me), первого и третьего (Q₁ и Q₃) квартилей. Для сравнения групп применялся непараметрический критерий Фридмана, для попарных сравнений — одновыборочный критерий Вилкоксона для зависимых выборок с поправкой Бонферрони. Критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Обследование проводилось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609 ЕС).

Результаты

В условиях локального охлаждения кожи кисти у девушек статистически значимые изменения произошли с показателями, характеризующими сократимость

Таблица 1

Изменение показателей центральной гемодинамики у девушек (n = 30) в ответ на локальное охлаждение кожи кисти

Показатель	Этап исследования				p	p 1-2	p 1-3	p 1-4	p 2-3	p 2-4	p 3-4
	1	2	3	4							
ВОЛ, %	8,50 (-12,75-18,50)	3,50 (-6,75- 17,00)	2,50 (-7,00-19,25)	2,50 (-10,00-15,00)	0,947						
ИСИ, 1/с ²	1,90 (1,47-2,34)	1,89 (1,49-2,46)	1,78 (1,43-2,09)	1,74 (1,32-2,09)	<0,001	0,143	0,012	0,007	0,007	0,002	0,414
ИСМ, 1000/с	98,50 (86,00-116,50)	97,50 (87,25-119,25)	96,00 (78,00-108,25)	97,00 (70,50-107,75)	0,001	0,096	0,033	0,010	0,002	<0,001	0,290
ИНО, %	52,00 (18,50-99,25)	50,50 (22,75-89,25)	54,00 (17,00-82,75)	55,50 (22,50-79,75)	0,274						
КНМ, у. е.	74,50 (66,75-86,25)	72,50 (62,50-82,25)	70,00 (60,00-75,50)	70,50 (60,75-77,50)	<0,001	0,069	<0,001	0,002	0,005	0,031	0,873
ПИПСС, 10 ⁻³ ×дин×сек/см ⁵ /м ²	88,50 (65,75-114,25)	88,00 (69,75-107,75)	80,50 (67,00-110,25)	81,50 (69,25-109,50)	0,123						
УИРЛЖ, г×м/уд/м ²	84,50 (62,50-105,75)	79,50 (63,00-106,25)	75,50 (60,75-104,25)	79,00 (62,75-98,75)	0,122						
МИРЛЖ, кг×м/мин/м ²	5,70 (4,35-7,72)	5,60 (4,25-7,55)	5,30 (4,00-6,95)	5,25 (3,95-6,45)	0,028	0,298	0,003	0,002	0,006	0,007	0,530
АДср, мм рт. ст.	83,00 (77,00-89,00)	82,50 (78,00-88,00)	81,00 (74,75-87,00)	81,50 (75,00-86,25)	0,095						
УИ, мл/уд/м ²	73,50 (55,75-91,00)	73,00 (59,75-89,25)	76,50 (59,25-88,75)	76,50 (57,25-89,25)	0,462						

Примечания для табл. 1 и 2: Сравнение зависимых выборок осуществлялось непараметрическим критерием Т-Вилкоксона, Md (Q1-Q3). 1 — исходное состояние до охлаждения, 2 — охлаждение при 24 °С, 3 — охлаждение при 15 °С, 4 — охлаждение при 8 °С.

Таблица 2

Изменение показателей центральной гемодинамики у девушек (n=30) в ответ на локальное охлаждение кожи стопы

Показатель	Этап исследования				P	P 1-2	P 1-3	P 1-4	P 2-3	P 2-4	P 3-4
	1	2	3	4							
ВОЛ, %	8,50 (-12,75-18,50)	2,00 (-8,25-13,25)	2,50 (-5,25-19,50)	8,50 (-5,00-27,75)	0,001	0,765	0,166	0,106	0,016	0,003	0,023
ИСИ, 1/с ²	1,90 (1,47-2,34)	1,93 (1,54-2,06)	1,67 (1,30-2,00)	1,62 (1,31-2,09)	0,001	0,524	0,002	0,003	0,004	0,014	0,882
ИСМ, 1000/с	98,50 (86,00-116,50)	97,00 (77,25-108,50)	91,00 (72,50-105,25)	88,50 (72,00-103,50)	<0,001	0,031	<0,001	<0,001	0,009	<0,001	0,294
ИНО, %	52,00 (18,50-99,25)	54,50 (20,50-81,00)	57,00 (15,75-73,25)	51,50 (14,00-77,75)	0,001	0,238	0,054	0,043	0,016	0,013	0,262
КНМ, у. е.	74,50 (66,75-86,25)	69,00 (62,75-78,00)	71,00 (65,50-77,25)	74,50 (66,75-84,00)	0,038	0,025	0,228	0,957	0,164	0,010	0,053
ПИПСС, 10 ⁻³ × дин×с/ см ⁵ /м ²	88,50 (65,75-114,25)	86,00 (69,25-107,75)	93,00 (71,50-108,75)	85,50 (75,00-120,50)	0,034	0,393	0,688	0,163	0,027	0,002	0,021
УИРЛЖ, г×м/ уд/м ²	84,50 (62,50-105,75)	79,50 (61,00-102,75)	78,00 (58,75-101,75)	83,00 (62,75-110,50)	0,112						
МИРЛЖ, кг×м/мин/м ²	5,70 (4,35-7,72)	5,50 (4,15-6,70)	5,65 (4,18-7,10)	5,45 (4,52-7,65)	0,003	0,007	0,087	0,399	0,077	0,001	0,017
АДср, мм рт. ст.	83,00 (77,00-89,00)	81,00 (75,75-90,00)	83,00 (77,75-89,25)	86,50 (80,00-93,50)	<0,001	0,477	0,855	0,013	0,060	<0,001	<0,001
УИ, мл/уд/м ²	73,50 (55,75-91,00)	73,50 (60,00-91,00)	71,50 (57,50-88,75)	71,50 (55,50-88,00)	0,576						

миокарда (ИСИ, ИСМ, КНМ) и работу левого желудочка (МИРЛЖ) (табл. 1). Так, при температуре воды 15 и 8 °С статистически значимо снизились ИСИ на 6,3 % (p = 0,012) и 8,2 % (p = 0,007), ИСМ на 2,5 % (p = 0,033) и 1,5 % (p = 0,010), КНМ на 6 % (p < 0,001) и 5,4 % (p = 0,002) и МИРЛЖ на 7,0 % (p = 0,003) и 8,0 % (p = 0,002).

Следует подчеркнуть, что указанные выше изменения в деятельности центральной гемодинамики произошли в ответ на локальное воздействие воды только температурой 15 и 8 °С.

Анализ полученных результатов показал, что локальное холодное воздействие на кожу стопы вызывает ответные физиологические реакции со стороны центральной гемодинамики. При этом у девушек статистически значимые изменения произошли с показателями сократимости миокарда (ИСИ, ИСМ, ИНО, КНМ), работы левого желудочка (МИРЛЖ) и АДср (табл. 2). Так, локальное охлаждение кожи стопы водой температурой 24 °С привело к статистически значимому понижению ИСМ на 1,5 % (p = 0,031), КНМ на 7,4 % (p = 0,025) и МИРЛЖ на 3,5 % (p = 0,007). Примечательно, что погружение стопы в холодную воду при температуре 15 °С вызвало статистически значимое понижение ИСИ на 12,1 % (p = 0,002) и ИСМ на 7,6 % (p < 0,001). Следует отметить, что после холодного воздействия водой температурой 8 °С отмечалось статистически значимое понижение ИСИ на 14,7 % (p = 0,003), ИСМ на 10,2 % (p < 0,001), ИНО, характеризующего процентное отклонение от нормы сократимости левого желудочка, на 0,5 % (p = 0,043) и возрастание АДср на 4,2 % (p = 0,013).

Обсуждение результатов

Как известно, локальное холодное воздействие вызывает возбуждение α-адренорецепторов [5]. Пе-

риферические термочувствительные рецепторы кожи (окончания центростремительных нейронов) служат отправной точкой афферентных сигналов в условиях локального воздействия холодного фактора на организм. Терморегуляторные центры активируются при возбуждении терморецепторов, реагирующих на холод, что ведет к повышению активности симпатического отдела нервной системы.

Выполненная работа показала, что локальное холодное воздействие на периферические терморецепторы кожи кисти и стопы водой различной температуры (24, 15 и 8 °С) приводит к изменениям со стороны центральной гемодинамики у девушек.

Так, установлено, что при локальном охлаждении кожи кисти и стопы отмечается статистически значимое снижение индекса состояния инотропии, отражающего максимальное ускорение крови при выбросе из левого желудочка в аорту, индекса сократимости миокарда, отражающего максимальную скорость выброса крови из левого желудочка в аорту, а также коэффициента напряжения миокарда, характеризующего эффективность сердечных сокращений. Снижение этих показателей указывает на ухудшении сократимости миокарда при локальном охлаждении, в связи с чем снижается и минутный индекс работы левого желудочка, характеризующий насосную функцию сердца (мощность сердечного насоса).

Установленные изменения центральной гемодинамики у девушек в данных условиях, указывающие на напряжение адаптационных механизмов, которые проявляются интенсификацией кровообращения, следует отнести к компенсаторно-приспособительным реакциям организма, обусловленным холодным воздействием.

Таким образом, в условиях локального охлаждения кожи у девушек отмечается нарастание напряженно-

сти функционирования центрального звена системы кровообращения. Локальное холодное воздействие приводит к снижению сократимости миокарда и насосной функции сердца. По сравнению с кистью охлаждение стопы вызывает более выраженную реакцию со стороны центральной гемодинамики.

Авторство

Коробицына Е. В. участвовала в наборе первичного материала, анализе и интерпретации результатов, подготовила первый вариант статьи; Гудков А. Б. внес существенный вклад в концепцию и дизайн исследования, отредактировал и окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись; Попова О. Н. существенно переработала статью на предмет важного интеллектуального содержания.

Коробицына Елена Владимировна – SPIN 5430-7390; ORCID 0000-0002-6622-2699

Гудков Андрей Борисович – SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0914

Попова Ольга Николаевна – SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Ермакова Н. В. Экологический портрет человека на Севере. М.: КРУК, 1997. 208 с.
2. Гудков А. Б., Попова О. Н., Скрипаль Б. А. Реакция системы внешнего дыхания на локальное охлаждение у молодых лиц трудоспособного возраста // Медицина труда и промышленная экология. 2009. № 4. С. 26–30.
3. Ким Л. Б. Транспорт кислорода при адаптации человека к условиям Арктики и кардиореспираторной патологии. Новосибирск: Наука, 2015. 216 с.
4. Козырева Т. В., Симонова Т. Г., Гришин О. В. Влияние локального охлаждения кожи на спирометрические показатели человека // Бюллетень СО РАМН. 2002. № 1 (103). С. 71–73.
5. Козырева Т. В., Евтushenko А. А., Воронова И. П., Храмова Г. М., Козарук В. П. Влияние активации периферического ионного канала TRPM8 на экспрессию генов термочувствительных TRP ионных каналов в гипоталамусе. Сравнение с воздействием холода // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2018. Т. 166, № 8. С. 141–145.
6. Лукманова Н. Б. Возрастные изменения гемодинамики у мужчин при локальных холодных воздействиях: дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2000. 110 с.
7. Никанов А. Н., Скрипаль Б. А. Тепловизионный метод исследования в диагностике профессиональных болезней у работников промышленного комплекса Крайнего Севера. Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2011. 136 с.
8. Орлов Г. А. Хроническое поражение холодом. М.: Медицина, 1978. 168 с.
9. Рэйляну Р. И. Особенности кровообращения человека при реакции на разные по мощности локальные холодные воздействия // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2007. № 5. С. 21–26.
10. Чащин В. П., Гудков А. Б., Чащин М. В., Попова О. Н. Предикивтивная оценка индивидуальной восприим-

чивости организма человека к опасному воздействию холода // Экология человека. 2017. № 5. С. 3–13.

11. Holmer I. Risk assessment in cold environment // Barents. 1998. Vol. 1, N 3. P. 77–79.

References

1. Agadzhanian N. A., Ermakova N. V. *Ekologicheskiy portret cheloveka na Severe* [Environmental portrait of a man in the North]. Moscow, 1997, 208 p.
2. Gudkov A. B., Popova O. N., Skripal' B. A. External respiration system reaction to local cooling of skin of young able-bodied persons. *Meditcina truda i promyshlennaia ekologiya*. 2009, 4, pp. 26-30 [In Russian]
3. Kim L. B. *Transport kisloroda pri adaptatsii cheloveka k usloviyam Arktiki i kardiorespiratornoi patologii* [The transport of oxygen in human adaptation to Arctic conditions, and cardiorespiratory diseases]. Novosibirsk, 2015, 216 p.
4. Kozyreva T. V., Simonova T. G., Grishin O. V. Influence of local cooling of the skin on human spirometric indices. *Byulleten' SO RAMN* [Bulletin of Siberian Branch of Russian Academy of Medical Sciences]. 2002, 1 (103), pp. 71-73. [In Russian]
5. Kozyreva T. V., Evtushenko A. A., Voronova I. P., Khramova G. M., Kozaruk V. P. Effect of activation of peripheral ion channel TRPM8 on gene expression of thermosensitive TRP ion channels in the hypothalamus. Comparison with the effect of cooling. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2018, 166 (2), pp. 188-191. [In Russian]
6. Lukmanova N. B. *Vozrastnye izmeneniya gemodinamiki u muzhchin pri lokal'nykh kholodovykh vozdeystviyakh*. Kand. dis. [Age-related changes of hemodynamics in men with local cold exposure. Cand. Diss.]. Arkhangelsk, 2000, 110 p.
7. Nikanov A. N., Skripal' B. A. *Teplovizionnyi metod issledovaniya v diagnostike professional'nykh boleznei u rabotnikov promyshlennogo kompleksa Krainego Severa* [The thermal imaging research method in the diagnosis of occupational diseases among workers of the industrial complex of the Far North]. Apatity, 2011, 136 p.
8. Orlov G. A. *Khronicheskoe porazhenie kholodom* [Chronic cold damage]. Leningrad, 1978, 168 p.
9. Reilyanu R. I. Features of human blood circulation in response to different power local cold exposure. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: biologiya i ekologiya* [Herald of Tver State University. Series: Biology and Ecology]. 2007, 5, pp. 21-26. [In Russian].
10. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Chashchin M. P., Popova O. N. Predictive assessment of individual human susceptibility to damaging cold exposure. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 5, pp. 3-13. [In Russian]
11. Holmer I. Risk assessment in cold environment. *Barents*. 1998, 1 (3), pp. 77-79.

Контактная информация:

Коробицына Елена Владимировна – преподаватель кафедры клинической биохимии, микробиологии и лабораторной диагностики ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Адрес: 163051, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51
E-mail: korobicyna.elena@mail.ru