

УДК 796.01:612

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЖИ У СТУДЕНТОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Романов Ю. Н., Гомжина Ю. А., Байгужин П. А.

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, Россия
E-mail: romanovyn@susu.ru*

Применение немедикаментозных средств, в частности криофактора, является эффективным средством в практике спортивной тренировки. *Организация и методы.* До и после стандартной физической нагрузки – разминки, проведено бесконтактное инфракрасное термографирование 20 студенток – кандидатов в мастера спорта в различных видах фитнеса и 20 студенток – занимающихся фитнесом два раза в неделю по программе кафедры «Физическая культура и здоровье». Термография проходила стационарно в течение 170 секунд. *Результаты* позволяют предположить наличие у девушек сравниваемых групп локализацию симпатозависимых структур, ассоциируемых с бурой жировой тканью, воздействуя на которые холодом можно повысить уровень работоспособности. Интенсивность термогенеза, определяется различной степенью вегетативной реактивности организма обследованных студенток и зависит от уровня спортивной квалификации.

Ключевые слова: термогенез, симпатозависимая ткань, термометрия, физиологическая реакция, фитнес, студентки.

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная терморегуляция имеет первостепенное значение для оптимизации спортивных результатов и сведения к минимуму риска гипертермии организма вследствие выраженных тепловых эффектов физических тренировок.

Применение немедикаментозных средств, в частности охлаждающего фактора, является эффективным средством в практике спортивной тренировки, восстановления и реабилитации. Применяемый метод общего охлаждения тела низкими температурами зарекомендовал себя как эффективный в стабилизации и росте высоких спортивных результатов [1, 2]. Охлаждение дифференцируют на внешнее («ледяная» вода, холодные компрессы, охлаждающая одежда), внутреннее (прием холодной воды или льда) и смешанное воздействие.

Имеются результаты исследований, в которых авторы рекомендуют к охлаждению относиться осторожно и избирательно. Так, показано, что среди эффектов гипотермии отмечается повышенная жесткость мышцы, что ведёт к потере пластичности, ее повреждениям, а в итоге в снижении ловкости, координации движений, снижению результатов в спринте [3]. В работе М. Altun (2017) показано, что после местного воздействия холода на икроножную мышцу, подколенное сухожилие, четырехглавую мышцу и коленный сустав легкоатлетов (n = 161) результативность спринта на 30 метров значительно снизилась [4].

Исследователи полагают, что вызванные гипотермией изменения биомеханических свойств кожи связаны с усилением кровотока, а также с обратимым увеличением содержания межклеточной и внутриклеточной жидкости, термическим сокращением и расширением коллагена – все из которых являются предвестниками необратимого повреждения [5].

В спортивной практике предпочтительны средства охлаждения участков тела, обеспечивающие возможность удерживать в тренировочном процессе необходимый объем и интенсивность нагрузки, предотвращению перегрева организма спортсмена, оптимальное протекание восстановительных процессов [6]. Однако при использовании локальных холодных аппликаций не учитывается расположение симпатозависимых тканей под кожей человека. При этом, установлено, что любые варианты внешней гипотермии эффективно стимулируют вегетативную нервную систему – инициируют активацию парасимпатического тонуса [7]. Метод термографии позволяет, в том числе, оценить интенсивность энергетических процессов во внутренних органах организма [8, 9], в частности, термогенную активность коричневой жировой ткани [10].

Цель исследования – выявить особенности динамики температуры кожи над трапециевидной мышцей у студенток.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В обследовании принимали участие студентки 17-19 лет Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ). Первая группа ($n_1 = 20$) – кандидаты в мастера спорта в различных видах фитнеса (фитнес-аэробика, степ-аэробика, черлидинг, хип-хоп и др.), вторая группа ($n_2 = 20$) – студентки без спортивной квалификации, занимающиеся фитнесом два раза в неделю по программе кафедры «Физическая культура и здоровье» ЮУрГУ.

Принимая во внимание определяющий термогенез фактор – содержание в организме жировой ткани [11], при дифференциации групп обследования учитывалось значение процентного содержания жировой ткани (ПСЖТ), определяемое с помощью анализатора Tanita BC-418 MA. Так, средняя величина ПСЖТ в первой группе составила $21,83 \pm 1,91 \%$; во второй – $22,07 \pm 0,75 \%$ (при $p > 0,05$).

Обследование включало бесконтактное инфракрасное термографирование студенток обеих групп до разминки (первая экспозиция) и экспозиции через каждые 10 секунд в паузах отдыха после 15-ти минутной разминки, вызывающей умеренное потообразование. Содержание разминки: пульсовой режим – 100–140 уд/мин; 5-минутный бег на месте и комплекс общеразвивающих упражнений, выполняемых со средней и малой амплитудой движений, растяжка. Термография проходила в течение 170 секунд стационарно – в температурно нейтральной среде ($19,30 \pm 0,95$ °C); обследуемый находился стоя в нижнем белье. Использовали тепловизор BALTECH TR-01500, позволяющий получать динамические ряды кадров инфракрасной съемки всей поверхности тела (рис. 1). Время на адаптацию кожного покрова к температуре окружающей среды у обследуемых перед первой экспозицией тепловизором составляло 10 минут [12].

С целью минимизации влияния циркадных колебаний, термографию проводили в период с 08:00 до 10:00 часов. Предварительный инструктаж обследованных включал указания исключить до лабораторного исследования употребление психоактивных веществ (алкоголь, кофеин и др.).

Дизайн обследования. Регистрацию данных нулевой экспозиции тепловизором у обследуемых выполняли после разминки, лицом к экспериментатору. Последующие экспозиции проводились последовательно после поворота испытуемых на 180° относительно вертикальной оси тела через каждые 10 секунд (съемка осуществлялась в этом случае со стороны спины).

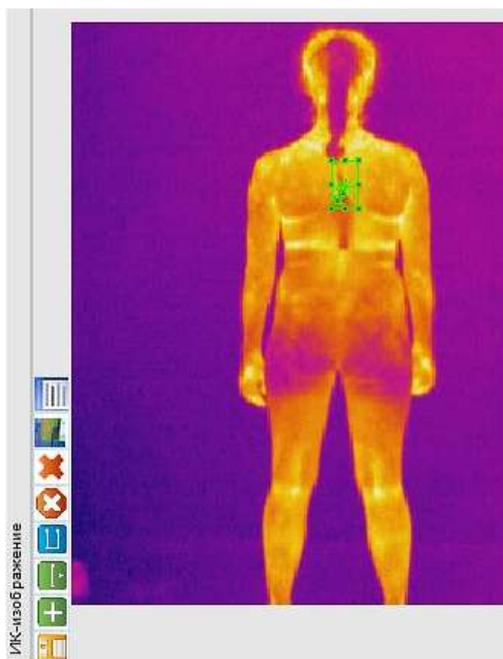


Рис. 1. Термография обследуемой в интерфейсе программного обеспечения тепловизора BALTECH TR-01500

Исключение факторов из исследования. Очевидно, что при выполнении физических упражнений, входящих в разминку, одежда влияла на теплообмен, увеличивая изоляцию и уменьшая тепловую потерю конвекции, излучения и испарения [13]. Терморегуляторные аспекты, связанные со спортивной одеждой, нами не рассматривались в связи с большим разнообразием видов ткани спортивной одежды, использованной студентками в наших исследованиях. Кроме того, нами не учитывался текущий гормональный фон обследуемых, что, в определенной мере отражается на вариабельности температуры кожных покровов [14].

Математико-статистическая обработка данных проводилась при помощи программного обеспечения SPSS v. 17 с использованием общепринятых методов вариационной статистики. Соответствие распределения значений температуры

закону нормального распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка; уровень значимости различий между средними значениями температуры кожи сравниваемых групп обследованных – U-критерия Манна-Уитни. Результаты считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 2 представлено изменение температурного баланса кожного покрова над трапециевидной мышцей у студенток двух групп обследования.

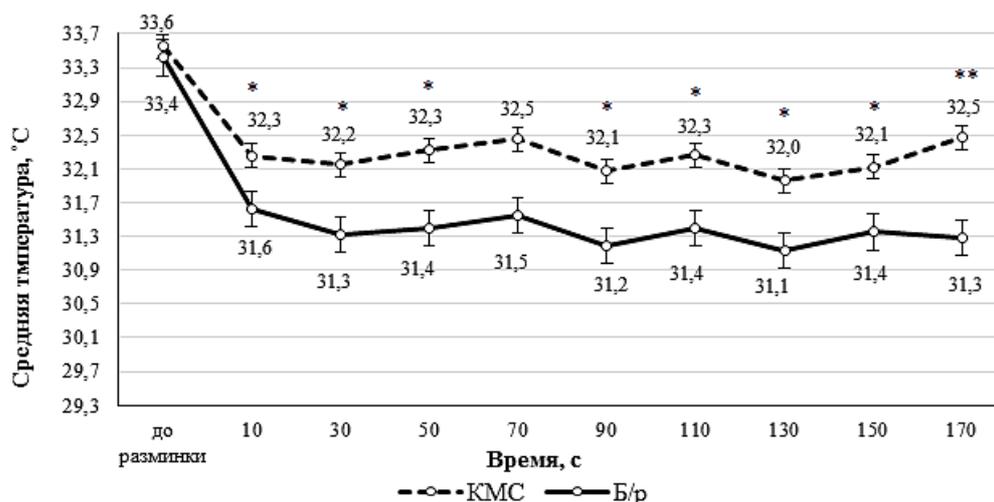


Рис. 2. Изменение средней температуры кожи, расположенной над трапециевидной мышцей (слева) после окончания разминки в двух группах сравнения в период отдыха в состоянии мышечного покоя.

Примечание: * – значимость различий при $p < 0,05$; ** – то же, при $p < 0,01$.

Обращает на себя внимание факт идентичности изменения во времени средних температур в группах сравнения, начиная с момента начала термографирования. Температурная кривая при пассивном охлаждении тела студенток-спортсменок находилась статистически значимо на более высоком уровне, при этом процессы термогенеза включались и отражаются синхронно с температурной кривой группы студенток, не занимающихся спортом.

Основным механизмом наращивания теплопродукции в организме при слабом холодом воздействии является несократительный термогенез. При этом увеличение теплопродукции в данных условиях у спортсменок выражено меньше по сравнению с девушками, занимающимися физической культурой.

Объяснением полученных данных, отражающих различия в интенсивности компенсаторной реакции, является известный эффект, возникающий при воздействии холодом и выражающийся в увеличении расхода энергии за счет

активации несократительного термогенеза и метаболизма симпатически активируемой коричневой жировой ткани. По данным литературы известно, что несократительный термогенез обладает ограниченными возможностями поддержания нормального теплового баланса организма в диапазоне понижения температуры среды ниже комфортной [15]. Полученные данные характеризуют специфичность несократительного термогенеза у квалифицированных спортсменок в условиях пассивного охлаждения и свидетельствуют об относительно высокой готовности их автономной нервной системы к обеспечению возрастающих энергообменных потребностей организма. Выявленная динамика средних температур у нетренирующихся лиц отражает относительно низкий уровень функциональной готовности организма к стресс-факторам внешней среды, что обусловлено относительной инертностью реагирования со стороны вегетативной нервной системы [16].

Полученные нами результаты, в целом, согласуются с концепцией термогенерации, в основе которой находится активация морфологических симпатозависимых структур – термогенераторов, ассоциируемых с бурой жировой тканью и способных к несократительному термогенезу в ответ на стимулы стрессогенного характера [17]. В данном контексте, под термогенератором авторы понимают «расположенное подкожно или в более глубоких слоях тканей скопление однородных клеток, обладающих повышенной теплопродукцией, поток инфракрасного излучения которых достигает поверхности тела и формирует термопортрет».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивность термогенеза, выраженная в температурной кривой, определяется различной степенью вегетативной реактивности организма обследованных студенток и зависит от их уровня физической подготовленности.

Перспектива дальнейших исследований в этой области будут сосредоточены на поиске (установлении) оптимальной модальности температурного воздействия, продолжительности и частоте охлаждения, направленного на повышение работоспособности и адаптации мышц. Не менее важным для практики спортивной тренировки является ответ на вопрос: «Насколько морфофункциональные изменения в мышцах в ответ на охлаждение определяют результативность выполнения целевого упражнения?».

Список литературы

1. Портнов В. В. Общие экстремальные холодовые воздействия и результативность спортсменов / В. В. Портнов, Р. Х. Медалиева // Доктор РУ. – 2009. – №7. – С. 46–52.
2. Hylldahl R. D. Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations / R. D. Hylldahl, J. M. Peake // Journal of applied physiology. – 2020. – Vol. 129 (2). – S. 353–365. DOI: 10.1152/jappphysiol.00322.2020.
3. Point M. Cryotherapy induces an increase in muscle stiffness / M. Point, G. Guilhem, F. Hug, A. Nordez, A. Frey, L. Lacourpaille // Scandinavian Journal Medicine & Science in Sports. – 2018. – Vol. 20, № 1. – P. 260–266.

4. Altun M. Effects of local cold applications to leg muscles and knee joint on 30-m sprint performance / M. Altun // *Gazzetta medica Italiana archivio per le scienze mediche*. – 2017. – Vol. 176 (4). – P. 154–161. DOI: 10.23736/S0393-3660.16.03389-1
5. Held M. Changes in the biomechanical properties of human skin in hyperthermic and hypothermic ranges / M. Held, S. Tweer, F. Medved et al. // *Wounds*. – 2018. – Vol. 30 (9). – P. 257–262.
6. Полиевский С. А. Обоснование и перспективы использования местных термопроцедур в спорте / С. А. Полиевский, Б. А. Подливаев, В. А. Заборова, С. В. Волохова // *Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта*. – 2017. – № 6 (148). – С. 179–185.
7. Hausswirth C. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation / C. Hausswirth, K. Schaal, Y. Le Meur et al. // *PLOS ONE*. – 2013. – Vol. 8 (8). – Art. № e72658. DOI: 10.1371/journal.pone.0072658.
8. Акимов Е. Б. Кожная температура и лактатный порог во время мышечной работы у спортсменов / Е. Б. Акимов, В. Д. Сонькин // *Физиология человека*. – 2011. – Т. 37, № 5. – С. 120–128.
9. Иваницкий Г. Р. Современное матричное тепловидение в биомедицине / Г. Р. Иваницкий // *Успехи физиологических наук*. – 2006. – Т. 176, № 12. – С. 1293–1320.
10. Martinez-Tellez B. Concurrent validity of supraclavicular skin temperature measured with iButtons and infrared thermography as a surrogate marker of brown adipose tissue / B. Martinez-Tellez, A. Perez-Bey, G. Sanchez-Delgado et al. // *J Therm Biol*. – 2019. – Vol. 82. – P. 186–196. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.04.009
11. Bouzigon R. Thermal sensations during a partial-body cryostimulation exposure in elite basketball players / R. Bouzigon, G. Ravier, B. Dugue et al. // *Journal of human kinetics*. – 2018. – Vol. 62 (1). – P. 55–63. DOI: 10.1515/hukin-2017-0158.
12. Valenza A. Thermosensory mapping of skin wetness sensitivity across the body of young males and females at rest and following maximal incremental running / A. Valenza, A. Bianco, D. Filingeri // *Journal of physiology-London*. – 2019. – Vol. 597 (13). – P. 3315–3332. DOI: 10.1113/JP277928.
13. Hinde K. The effect of temperature, gradient, and load carriage on oxygen consumption, posture, and gait characteristics / K. Hinde, R. Lloyd, C. Low et al. // *Eur J Appl Physiol*. – 2017. – Vol. 117 (3). – P. 417–430. DOI: 10.1007/s00421-016-3531-7
14. Singhal V. Effect of chronic athletic activity on brown fat in young women / V. Singhal, G. D. Maffazioli, K. E. Ackerman et al. // *PLOS ONE*. – 2016. – Vol. 11 (5). – Art. № e0156353. DOI: 10.1371/journal.pone.0156353
15. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях(обзор). Сообщение II / М. И. Бочаров // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки*. – 2015. – № 2. – С. 5–16.
16. Ерохин А. Н. Влияние локальной гипотермии на величину электрического потенциала биологически активных точек у ортопедо-травматологических больных, спортсменов и здоровых не тренирующихся юношей / А. Н. Ерохин, А. В. Попков // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 3. – С. 257.
17. Козлов А. В. Инфракрасная тепловизионная диагностика подкожных термогенераторов несократительного теплообразования / А. В. Козлов, В. Д. Сонькин // *Физиология человека*. – 2019. – Т. 45, № 6. – С. 86–102. DOI 10.1134/S0131164619060079.

CHANGES IN SKIN TEMPERATURE IN FEMALE STUDENTS WHEN EXPOSED TO PASSIVE COOLING

Romanov Yu. N., Gomzhina Yu. A., Baiguzhin P. A.

*South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia
E-mail: romanovyn@susu.ru*

A preliminary analysis of the results obtained showed that the use of non-pharmacological means, in particular cold exposure, was effective for rehabilitation and recovery in sports training. This study aims to describe the features of temperature dynamics in the area above the trapezius muscle in female students.

20 female students with a rank of the candidate for Master of sport (fitness aerobics, step aerobics, cheerleading, hip-hop) and 20 female non-athletes attending PE classes at university (Department of Physical Education and Health) twice a week participated in the study. Non-contact infrared thermography was performed before and after standard physical activity (warm-up activities). 170-second temperature measurements were performed stationary in a temperature neutral environment (19.30 ± 0.95); all participants were naked to underwear. The BALTECH TR-01500 infrared camera was used, which allowed obtaining a series of infrared images of the entire body surface. Before the first temperature measurements participants had a 10-minute adaptation period. Baseline temperature data were recorded after warm-up activities in participants facing the researcher. Subsequent temperature measurements were performed with a 180° rotation relative to the vertical axis of the body every 10 seconds (imaging was performed from the back side). The Shapiro-Wilk test was used to identify the correspondence of temperature values to normal distribution; the Mann-Whitney U test was used to identify the significance of difference between mean temperature values of the groups. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

The results obtained allowed to identify the same changes in mean temperature values in the comparison groups from the beginning of thermography. In female athletes, the temperature curve during passive cooling was at a significantly higher level, while thermogenesis was activated and identified synchronously with the temperature curve of female non-athletes. The main mechanism for increasing heat production under mild cold exposure was nonshivering thermogenesis. At the same time, the increase in heat production under these conditions was less pronounced among athletes compared to female non-athletes. The difference in the intensity of the compensatory reaction can be associated with an increase in energy consumption associated with nonshivering thermogenesis and adipose tissue metabolism.

Further research can be focused on optimal regimens of cold exposure, their duration and frequency to enhance muscle adaptation and athletic performance.

Keywords: thermogenesis, sympatho-dependent tissue, thermometry, physiological reaction, fitness, female students.

References

1. Portnov V. V., Medalieva R. Kh. Obshchie ekstremal'nye kholodovye vozdeistviya i rezul'tativnost' sportsmenov, *Doktor RU*, **7**, 46 (2009).
2. Hyldahl R. D., Peake J. M., Combining cooling or heating applications with exercise training to enhance performance and muscle adaptations, *Journal of applied physiology*, **129** (2), 353 (2020). DOI: 10.1152/jappphysiol.00322.2020
3. Point M., Guilhem G., Hug F., Nordez A., Frey A., Lacourpaille L. Cryotherapy induces an increase in muscle stiffness. *Scandinavian Journal Medicine & Science in Sports*, **20** (1), 260 (2018).
4. Altun M. Effects of local cold applications to leg muscles and knee joint on 30-m sprint performance, *Gazzetta medica Italiana archivio per le scienze mediche*, **176** (4), 154 (2017). DOI: 10.23736/S0393-3660.16.03389-1
5. Held M., Tweer S., Medved F. et al. Changes in the biomechanical properties of human skin in hyperthermic and hypothermic ranges, *Wound*, **30** (9), 257 (2018).
6. Polievskii S. A., Podlivaev B. A., Zaborova V. A., Volokhova S. V. Obosnovanie i perspektivy ispol'zovaniya mestnykh termoprotsecur v sporte, *Uchenye zapiski universiteta imeni P. F. Lesgafta*, **6** (148), 179 (2017).
7. Hausswirth C., Schaal K., Meur Y. Le et al. Parasympathetic activity and blood catecholamine responses following a single partial-body cryostimulation and a whole-body cryostimulation, *PLOS ONE*, **8** (8), e72658 (2013). DOI: 10.1371/journal.pone.0072658
8. Akimov E. B. Son'kin V. D. Kozhnaya temperatura i laktatnyi porog vo vremya myshechnoi raboty u sportsmenov, *Fiziologiya cheloveka*, **37** (5), 120 (2011).
9. Ivanitskii G. R. Sovremennoe matrichnoe teplovidenie v biomeditsine, *Uspekhi fiziologicheskikh nauk*, **176** (12), 1293 (2006).
10. Martinez-Tellez B., Perez-Bey A., Sanchez-Delgado G. et al. Concurrent validity of supraclavicular skin temperature measured with iButtons and infrared thermography as a surrogate marker of brown adipose tissue, *J Therm Biol.*, **82**, 186 (2019) DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.04.009
11. Bouzigon R., Ravier G., Dugue B. et al. Thermal sensations during a partial-body cryostimulation exposure in elite basketball players, *Journal of human kinetics*, **62** (1), 55 (2018). DOI: 10.1515/hukin-2017-0158
12. Valenza A., Bianco A., Filingeri D. Thermosensory mapping of skin wetness sensitivity across the body of young males and females at rest and following maximal incremental running, *Journal of physiology-London*, **597** (13), 3315 (2019). DOI: 10.1113/JP277928
13. Hinde K., Lloyd R., Low C. et al. The effect of temperature, gradient, and load carriage on oxygen consumption, posture, and gait characteristics, *Eur J Appl Physiol*, **117** (3), 417 (2017). DOI: 10.1007/s00421-016-3531-7
14. Singhal V., Maffazioli G. D., Ackerman K. E. et al. Effect of chronic athletic activity on brown fat in young women, *PLOS ONE*, **11** (5), e0156353 (2016). DOI: 10.1371/journal.pone.0156353
15. Bocharov M. I. Thermoregulation in cold environments (review). Report II, *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: mediko-biologicheskie nauki*, **2**, 5 (2015).
16. Erokhin A. N., Popkov A. V. Vliyanie lokal'noi gipotermii na velichinu elektricheskogo potentsiala biologicheskii aktivnykh toчек u ortopedo-travmatologicheskikh bol'nykh, sportsmenov i zdorovykh ne treniruyushchikhsya yunoshei, *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, **3**, 257 (2015).
17. Kozlov A. V., Son'kin V. D. Infrakrasnaya teplovizionnaya diagnostika podkozhnykh termogeneratorov nesokratitel'nogo teploobrazovaniya, *Fiziologiya cheloveka*, **45** (6), 86, (2019). DOI 10.1134/S0131164619060079