

УЧАСТИЕ МЕХАНИЗМОВ ТРАНСПОРТА КИСЛОРОДА В ПОВЫШЕНИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ЦИКЛОВЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Д.Д. Жадзько, Вл.В. Зинчук

Гродненский государственный медицинский университет, Беларусь, zhadzko@mail.by

Введение. Суховоздушные тепловые процедуры являются специальной формой физического воздействия на организм человека, безопасность и положительные эффекты которой подтверждены многочисленными исследованиями [1]. Рост температуры тела опосредует снижение общего периферического сосудистого сопротивления, определяющее увеличение емкости сосудистого русла, что наряду с относительным уменьшением объема циркулирующей крови в результате дегидратации, снижением диастолического и среднего динамического давления, инициирует повышение минутного объема кровообращения и частоты сердечных сокращений [2]. Использование тепловых воздействий на организм нашло применение в спорте в качестве средства восстановления функционального состояния и повышения работоспособности. Тепловые сеансы используют для снижения массы тела, улучшения скоростно-силовых качеств, роста общей тренированности [3]. Ряд исследований свидетельствует, что эффект регулярных тепловых воздействий проявляется повышением общей выносливости, работоспособности, улучшением толерантности к физической нагрузке [4]. Показано, что мышечная работа, характеризующаяся повышением ЧСС до 170 уд/мин, вызывает весьма значительные сдвиги в деятельности систем дыхания и кровообращения, составляющие в среднем 75-80% от максимально изменений при мышечных нагрузках [5]. Тепловое воздействие также обуславливает увеличение сердечного ритма более чем в два раза [6], что может обеспечивать тренирующий эффект высокотемпературных экспозиций. В свою очередь известно, что функциональная подготовленность является характеристикой, отражающей физиологическое и функциональное состояние организма, прежде всего систем и механизмов, обеспечивающих транспорт кислорода [7]. В этой связи представляется целесообразным исследование состояния

механизмов транспорта кислорода и обоснование их вклада в повышение функционального состояния организма при тепловом воздействии.

Методы. Экспериментальную группу составили спортсмены (n=16) – представители спортивных единоборств (вольная, греко-римская борьба, дзюдо, самбо). Проводили курс тепловых воздействий (две экспозиции по 5 и 10 мин с интервалом отдыха 5 мин при температуре 85-90°C, влажности воздуха – 10-15%), состоящий из 20 процедур с интервалом в одну неделю. До курса и после его завершения у испытуемых был определен уровень физической работоспособности по тесту PWC₁₇₀ [5]. На первой и заключительной процедуре до и после тепловых экспозиций из локтевой вены выполняли забор крови. В исследуемых образцах при температуре 37°C на газоанализаторе “Synthesis-15” фирмы “Instrumentation Laboratory” измеряли напряжение кислорода (pO₂), напряжение углекислого газа (pCO₂), насыщение крови кислородом (SO₂), содержание кислорода (C_vO₂), уровень гемоглобина (Hb), метгемоглобина (metHb), кислородную емкость крови (KE) и концентрацию ионов водорода (pH). Исследование одобрено комитетом по биомедицинской этике Гродненского государственного медицинского университета, добровольное участие испытуемые подтверждали письменным информируемым согласием.

Статистическую обработку полученных результатов проводили в программной среде Statistica 5.5. Для определения статистической значимости различий использовали критерий парных сравнений Вилкоксона.

Результаты и их обсуждение. После острого теплового сеанса в начале исследования наблюдается повышение температуры тела испытуемых на 2,6 °C (p<0,001). После проведения курса тепловых воздействий, на заключительном жаровоздушном сеансе температура организма увеличивается на 1,9 °C (p<0,002).

Эффект однократной термальной экспозиции на кислотно-основное состояние крови характеризуется увеличением pH на 0,8% (p<0,001). Отмечается уменьшение напряжения углекислого газа на 22,2% (p<0,001), концентрации общей углекислоты на 6,5% (p<0,001), концентрации гидрокарбоната на 6,01% (p<0,005), стандартного избытка буферных оснований на 20,3% (p<0,039). Данные изменения, по-видимому, обусловлены тем, что увеличение температуры тела при проведении жаровоздушной процедуры, сопровождается ростом легочной вентиляции и повышением выделения CO₂ из организма. Указанные процессы обеспечивают респираторно детерминированный сдвиг pH в щелочную сторону и развитие респираторного алкалоза, что, наряду с другими факторами, изменяет кислородное обеспечение организма.

Так, после тепловой нагрузки наблюдается повышение содержания кислорода в венозной крови на 53,3% (p<0,001), напряжения кислорода на 42,6% (p<0,001), что, очевидно, опосредовано увеличением минутного объема дыхания, имеющим место при проведении жаровоздушных процедур [1].

Наблюдается рост насыщения венозной крови кислородом на 49,4% (p<0,002), что свидетельствует о не адекватной утилизации кислорода тканями вследствие перераспределения кровообращения и, соответственно, доставки O₂. Развитие дегидратации и некоторое уменьшение объема плазмы крови, опосредованное действием теплового фактора, обуславливает увеличение концентрации гемоглобина на 5,2% (p<0,017), кислородной емкости крови – на 5,2% (p<0,018). Уровень метгемоглобина, в свою очередь, повышается на 18,8% (p<0,017).

Действие высокой температуры внешней среды обуславливает снижение сродства гемоглобина к кислороду: p50 в стандартных условиях возрастает на 3,3% (p<0,020). При этом следует отметить, что p50 при реальных pH, pCO₂ и температуре увеличивается на 10,99% (p<0,001), что отражает существенные компенсаторно-приспособительные сдвиги в протекании процессов доставки и утилизации кислорода тканями в организме в условиях действия высокой температуры среды.

Состояние кислородтранспортной функции крови на заключительном тепловом сеансе характеризуется менее существенными изменениями в сравнении с первым посещением. Как показывают результаты, после тепловой нагрузки pH смещается в щелочную сторону на 0,7% (p<0,006), напряжение углекислого газа снижается на 17,4% (p<0,005), концентрация общей углекислоты – на 8,2% (p<0,011), уровень гидрокарбоната – на 7,3% (p<0,015). Содержание кислорода в венозной крови повышается на 60,0% (p<0,041), при этом напряжение кислорода – на 34,6% (p<0,041), уровень гемоглобина повышается на 5,4% (p<0,050), а кислородная емкость крови – на 5,1% (p<0,041). В свою очередь содержание метгемоглобина возрастает на 46,7% (p<0,050). Наблюдается увеличение насыщения крови кислородом на 41,7% (p<0,041).

Следует также отметить изменения сродства гемоглобина к кислороду: величина p50_{станд} возрастает в сравнении с значением до тепловой нагрузки на 4,8% (p<0,034), что отражает сдвиг

кривой диссоциации оксигемоглобина вправо и улучшение условий отдачи гемоглобином кислорода. Однако, при исключении феномена температурной компенсации и оценке $p50$ в реальных условиях, данный показатель увеличивается по отношению к исходному уровню на 10,6% ($p<0,004$), что свидетельствует о более значительном снижении сродства гемоглобина к кислороду. Как видно, изменения параметров кислородтранспортной функции крови на заключительном жаровоздушном сеансе исследования схожи, однако менее выражены в сравнении с первой процедурой.

Физическая работоспособность испытуемых после проведения курса термопроцедур повысилась на 16,4% ($p<0,006$).

Поток кислорода в ткани в организме зависит от ряда условий: сродства гемоглобина к кислороду, легочной вентиляции, степени местной микрососудистой тканевой перфузии и др. [8]. Кислородсвязывающие свойства гемоглобина определяют процесс оксигенации крови в легких и деоксигенацию на уровне тканевых капилляров [9]. Направленность сдвига кривой диссоциации оксигемоглобина носит компенсаторно-приспособительный характер при гипоксии [10]. В условиях высоких энергозатрат в связи с интенсификацией гликолитических реакций при физических нагрузках аэробно-анаэробного характера более эффективному поступлению кислорода в ткани способствует снижение сродства гемоглобина к кислороду [11]. В то же время в некоторых случаях наиболее эффективным для транспорта кислорода является повышение сродства гемоглобина к кислороду [12].

Как видно из полученных нами данных, в результате увеличения потребления кислорода и перераспределения кровотока в пользу кожного кровообращения в условиях действия теплового фактора, имеет место повышение концентрации, напряжения и насыщения гемоглобина O_2 в венозной крови. Наблюдаемое увеличение $p50$ и других показателей кислородтранспортной функции крови после процедуры содействует увеличению потока O_2 в ткани после теплового воздействия.

Выводы. Таким образом, эффект курса тепловых воздействий, обуславливающий повышение общей физической работоспособности организма, во многом обеспечивается влиянием теплового фактора на кислородзависимые процессы, в частности, механизмы транспорта кислорода кровью.

Литература:

1. Kukkonen-Harjula K. Health effects and risks of sauna bathing / K. Kukkonen-Harjula, K. Kauppinen // *Circ. Health Int J.* – 2006. – №3. – P. 195-205.
2. Бакулин, В.С. Физиологические критерии регламентации уровня гипертермического воздействия сауны / В.С. Бакулин [и др.] // *Вестник ВолГМУ.* – 2007. – Т. 23, №3. – С. 6-9.
3. Scoon, G.S. Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners / G.S. Scoon [et al.] // *J Sci Med Sport.* – 2007. – Vol.10, №4. – P. 259-262.
4. McCarty, M. Regular thermal therapy may promote insulin sensitivity while boosting expression of endothelial nitric oxide synthase--effects comparable to those of exercise training / M. McCarty, J. Barroso-Aranda, F. Contreras // *Med Hypotheses.* – 2009. – Vol. 73, №1. – P. 103-105.
5. Карпман В.Л., Белоцерковский З.Б., Гудков И.А. Тестирование в спортивной медицине. М.: Физкультура и спорт, 1988. 208с.
6. Crinnion, W.J. Sauna as a valuable clinical tool for cardiovascular, autoimmune, toxicant- induced and other chronic health problems / W. Crinnion // *Altern. Med. Rev.* – 2011. – Vol.16., №3. – P.215-225.
7. Иорданская, Ф.А. Мониторинг функциональной подготовленности высококвалифицированных спортсменов при подготовке / Ф.А. Иорданская // *Вестник спортивной науки.* – 2008. – №4. – С. 73-82.
8. Winslow, R.M. The role of hemoglobin oxygen affinity in oxygen transport at high altitude / R.M. Winslow // *Respir. Physiol. Neurobiol.* – 2007. – Vol. 158, №2-3. – P. 121-127.
9. Samaja, M. Impact of Hemoglobin Concentration and Affinity for Oxygen on Tissue Oxygenation: The Case of Hemoglobin-based Oxygen Carriers / M. Samaja, L. Terraneo // *Artif. Organs.* – 2011. – Vol. 36, №2. – P. 210-215.
10. Samaja, M. Oxygen transport in blood at high altitude: role of the hemoglobin-oxygen affinity and impact of the phenomena related to hemoglobin allosterism and red cell function / M. Samaja [et al.] // *Eur J Appl Physiol.* – 2003. – Vol.90, №3-4. – P. 351-359.
11. Попичев, М.И. Внутриэритроцитарный метаболизм и сродство гемоглобина к кислороду у спортсменов различной квалификации при воздействии интенсивных физических нагрузок / М.И. Попичев [и др.] // *Физиология человека.* – 1999. – Т. 25, №6. – С. 123-125.
12. Kwasiborski, P.J. Role of hemoglobin affinity to oxygen in adaptation to hypoxemia / P.J. Kwasiborski [et al.] // *Pol Merkur Lekarski.* – 2010. – Vol. 28, №166. – P. 260-264.