

Панина Н.Г., Николаев Е.В., Кузнецова Н.В.

УДК 612.13:796.015.6
10.25694/URMJ.2019.04.24

Информативность показателей церебрального кровообращения в оценке степени напряжения организма спортсмена при сочетанном действии физической и тепловой нагрузок

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Волгоград

Panina N.G., Nikolaev E.V., Kuznetsova N.V.

The informativeness of indices of cerebral blood flow to assess the degree of stress the body of an athlete, with the combined effect of physical and thermal loads

Резюме

В результате проведенных исследований установлено, что динамика и абсолютные величины показателей церебрального кровообращения являются высоко информативными критериями для оценки степени напряжения в работе регуляторных механизмов организма человека при физической нагрузке возрастающей мощности до отказа в различных температурно-влажностных условиях.

Ключевые слова: тепловое состояние, церебральная гемодинамика, физическая работоспособность

Summary

Past research findings show that the dynamics and absolute value of cerebral blood circulation measurements are highly informative criteria to assess the quality of performance of the regulatory mechanisms of the human body during escalating physical exercise until failure in various temperature and humidity conditions.

Key words: thermal state, cerebral hemodynamics, exercise capacity

Введение

В летних видах спорта соревновательная и тренировочная деятельность зачастую проходит в условиях сочетанного действия на организм спортсменов физических и термических нагрузок. Возникающие при этом нарушение теплового и водно-солевого обмена ведет к перегреванию, дегидратации и падению функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы [1, 2, 3]. В результате «неконтролируемая гипертермия» становится фактором, лимитирующим двигательную деятельность и нередко приводящим к тепловым травмам у спортсменов [4].

В условиях гипертермии особый интерес представляет влияние двигательной деятельности на церебральный кровоток и адаптацию сосудов к ней, поскольку головной мозг, являясь органом, регулирующим функции всего организма, отличается, кроме прочего, наличием ауторегуляции, а также очень высоким уровнем метаболизма [5, 6, 7]. Однако, до настоящего времени сведения об изменениях пульсового кровенаполнения и

тонуса церебральных артерий различного диаметра при ступенчато возрастающих физических нагрузках имеют противоречивый характер. Информация об изменениях мозгового кровообращения при выполнении мышечной работы нарастающей мощности в условиях нагревающего микроклимата в литературе вообще отсутствует. По этой причине затрудняется функциональная диагностика таких негативных последствий чрезмерных физических нагрузок, как снижение адаптационного потенциала организма, развитие перетренированности в условиях повышенной, высокой температуры воздуха и ее относительной влажности [4].

Цель работы - изучение реакций церебральной гемодинамики спортсменов на ступенчато возрастающую велоэргометрическую нагрузку в различных температурно-влажностных условиях.

Материалы и методы

Обследованы 52 спортсмена (возраст 20-22 лет, квалификация до уровня 1 разряд - кандидат в мастера

спорта), тренирующиеся на выносливость. Все спортсмены прошли предварительное клинико-физиологическое обследование, были соблюдены основные биотические правила, от спортсменов получено информированное согласие на участие в исследованиях.

Обследуемые в микроклиматической камере выполняли ступенчато возрастающую велоэргометрическую нагрузку для достижения максимального уровня МПК [8]. Методика заключалась в том, что при постоянной скорости педалирования (60 об/мин) начальная нагрузка мощностью 50 Вт ступенчато увеличивалась на эту же величину вплоть до отказа от продолжения работы. Длительность каждой ступени - 5 мин, паузы отдыха между ними - 1 мин. Чтобы с большей четкостью выявить ответные реакции церебральной гемодинамики на заданную физическую нагрузку при различных условиях теплоотдачи, в термокамере создавали 3 микроклиматических режима с температурой (Т) и относительной влажностью (φ) соответственно 18±1°C и 68±1% (режим 1), 25±1°C и 75±1% (режим 2), 31±1°C и 85±1% (режим 3) при одинаковой во всех случаях скорости движения (v) воздуха, равной 0,3±0,1 м/с.

В покое и через каждые 5 мин работы вплоть до момента отказа от ее дальнейшего продолжения методом тетраполярной реоэнцефалографии определялись величины реографического систолического индекса (РСИ, Ом); максимальной скорости быстрого (МСБН, Ом/с) и средней скорости медленного кровенаполнения артерий головного мозга (ССМН, Ом/с); диастолического и реографического диастолического индексов (ДИ, %, РДИ, % соответственно). Рассчитывались характеризующее тонус церебральных артериол венозно-артериальное (систолическое) отношение (В/А, %) и показатель венозного оттока крови из сосудистой системы головного мозга (ВО, %) [9]. Статистический анализ полученных результатов проводился с помощью программного пакета «EXCEL 2013». Вычислялись средние арифметические значения параметров (М), ошибка средних (m). Достоверность различий параметров оценивалась по t-критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение

В ходе проведения первого этапа было выявлено, что в условиях комфортного (Т=18±1°C, φ=68±1%, v=0,3±0,1 м/с), теплого влажного (Т= 25±1°C, φ=75±1%, v=0,3±0,1 м/с) и жаркого влажного (Т=31±1°C, φ=85±1%, v=0,3±0,1 м/с) микроклимата предельная длительность ступенчато возрастающей по мощности (от 50 до 100, 150, 200 и 250 Вт) мышечной работы с минутным отдыхом после каждого 5-минутного цикла оказалась в среднем одинаковой (28,5±0,3 мин). Такая физическая нагрузка вызывала напряжение в работе регуляторных механизмов сердечно-сосудистой системы, степень выраженности которого возрастала по мере повышения температуры и относительной влажности окружающей среды от уровня комфортных, что нашло отражение в динамике показателей церебрального кровообращения.

При сопоставлении исходных данных установлено,

что по мере одновременного повышения температуры и относительной влажности воздуха возникали отчетливые изменения показателей РЭГ в состоянии двигательного покоя обследуемых. Так, при режиме 2 (по сравнению с режимом 1) ССМН средних артерий головного мозга и МСБН крупных артерий увеличились на 40 и 59 Ом/с (p<0,05). При режиме 3 (по сравнению с режимом 2) указанные показатели продолжали повышаться (прирост 51 и 105 Ом/с соответственно, p<0,05). Одновременно регистрировалось уменьшение ДИ с 76±2 (режим 1) до 67±1,7 (p<0,01, режим 2) и 61±2% (p<0,05, режим 3); РДИ с 82±1,7 (режим 1) до 77±1,5 (p<0,05, режим 2) и 72±1% (p<0,05, режим 3); вено-артериального (В/А) отношения с 79±2 (режим 1) до 70±1,6 (p<0,01, режим 2) и 61±2% (p<0,01, режим 3). На таком фоне РСИ с 0,66±0,03 (режим 1) возросло до 0,77±0,02 (p<0,01, режим 2) и 0,98±0,04 Ом (p<0,01, режим 3), а ВО с 28,5±1,0 (режим 1) увеличился до 33±1 (p<0,01, режим 2) и 38±2 усл. ед. (p<0,05, режим 3).

Следовательно, если взять за основу величины показателей РЭГ, полученные в условиях комфортного, то очевидно, что с повышением этих параметров микроклимата до 25±1°C и 75±1%, 31±1°C и 85±1% у человека в состоянии относительного покоя возрастают суммарное кровенаполнение мозговых сосудов и венозный отток крови из бассейна головного мозга на фоне понижения тонуса крупных и средних артерий, артериол и вен. В целом это можно расценить как проявление ауторегуляции мозгового кровотока на совместное действие разных по величине температуры и относительной влажности воздуха [10, 11].

В результате дальнейших исследований установлено, что при работе на велоэргометре до отказа в исследуемых микроклиматических режимах показатели РЭГ характеризовались однонаправленными изменениями (рис. 1). Из рисунка видно, что на протяжении четырех 5-минутных циклов физической нагрузки нарастающей мощности ССМН кровью средних мозговых артерий непрерывно увеличивалась при выполнении всех ступеней возрастающей нагрузки (режим 3), или в течение 1-й, 2-й и 3-й ступеней нагрузки (режимы 1 и 2). В дальнейшем отмечалась стабилизация данного показателя на повышенном уровне до конца работы. МСБН кровью крупных мозговых артерий в ходе выполнения работы неуклонно возрастала. Однако, несмотря на неодинаковые исходные значения этого показателя, прирост его к моменту отказа оказался практически одинаковым: 530±50 (режим 1), 532±41 (режим 2) и 564±40 Ом/с (режим 3).

Одновременно регистрировались отчетливо выраженные в сторону повышения изменения среди показателей РЭГ, отражающих артериальный приток (реографический систолический индекс) и венозный отток (ВО) крови из региона (рис. 2). Как видно из рисунка, несмотря на разные исходные уровни РСИ изменения характеризовались непрерывным подъемом в течение всех 5-и ступеней нагрузки с 0,98±0,04 до 1,3±0,05 Ом (режим 3) или только до конца 3-й ступени с 0,77±0,02 до 1,1±0,04 Ом (режим 2) и с 0,66±0,03 до 1,04±0,05 Ом (режим 1),

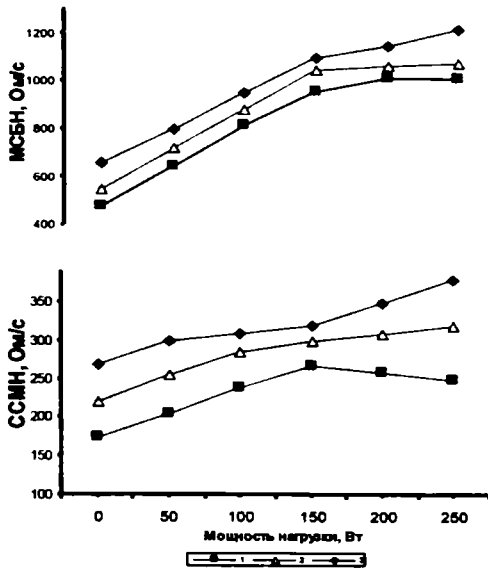


Рис. 1. Динамика МСБН и ССМН при велоэргометрической нагрузке нарастающей мощности в 3-х микроклиматических режимах. Обозначения: 1 - комфортный микроклимат ($T=18\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=68\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$); 2 - теплый влажный микроклимат ($T=25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=75\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$); 3 - жаркий влажный микроклимат ($T=31\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=85\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$).

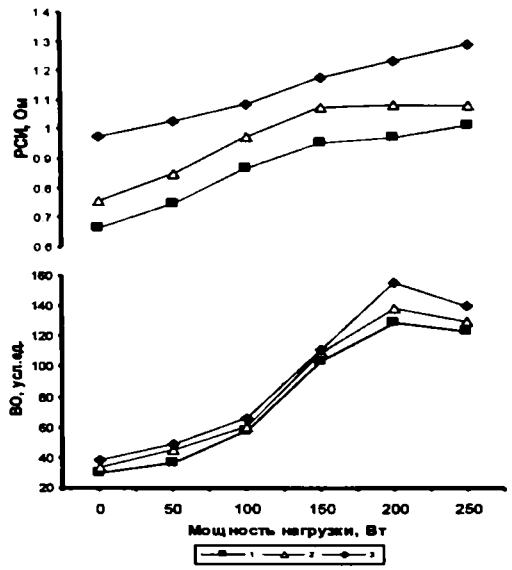


Рис. 2. Динамика РСИ и ВО при велоэргометрической нагрузке нарастающей мощности в 3-х микроклиматических режимах. Обозначения: 1 - комфортный микроклимат ($T=18\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=68\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$); 2 - теплый влажный микроклимат ($T=25\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=75\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$); 3 - жаркий влажный микроклимат ($T=31\pm 1^{\circ}\text{C}$, $\phi=85\pm 1\%$, $v=0,3\pm 0,1\text{ м/с}$).

после чего отмечалась стабилизация показателя на повышенном уровне до конца нагрузки.

При сопоставлении прироста реографического систолического индекса в конце 5-й ступени нагрузки мощностью 250 Вт обнаружено, что величина его находилась в зависимости от исходной: чем она меньше, тем больше прирост, и напротив, чем она больше, тем меньше прирост. В частности, при наименьшей величине, равной $0,66\pm 0,03$ Ом (режим 1), прирост РСИ в момент отказа от продолжения работы составил $0,40\pm 0,02$ Ом. При наибольшей величине, равной $0,98\pm 0,03$ Ом (режим 3), прирост показателя статистически достоверно ($p<0,01$) уменьшился до $0,32\pm 0,02$ Ом.

Непрерывное увеличение РСИ в процессе физической нагрузки нарастающей интенсивности указывало на усиление пульсового кровенаполнения артерий головного мозга. Это происходило одновременно с быстрым подъемом венозного оттока крови из региона вплоть до конца 4-й ступени нагрузки мощностью 200 Вт. Максимальная величина ВО крови была равна $130\pm 6,7$ (режим 1), $139\pm 6,5$ (режим 2) и $156\pm 5,7$ (режим 3) усл. ед., после чего она начинала снижаться и в конце 5-й ступени нагрузки мощностью 250 Вт достигала 124 ± 5 (режим 1), $130\pm 5,4$ (режим 2) и $140\pm 5,2$ (режим 3) усл.ед. Однако во всех случаях к моменту наступления отказа от продолжения работы его прирост к исходному уровню оказался практически одинаковым.

Среди таких показателей РЭГ, как реографический

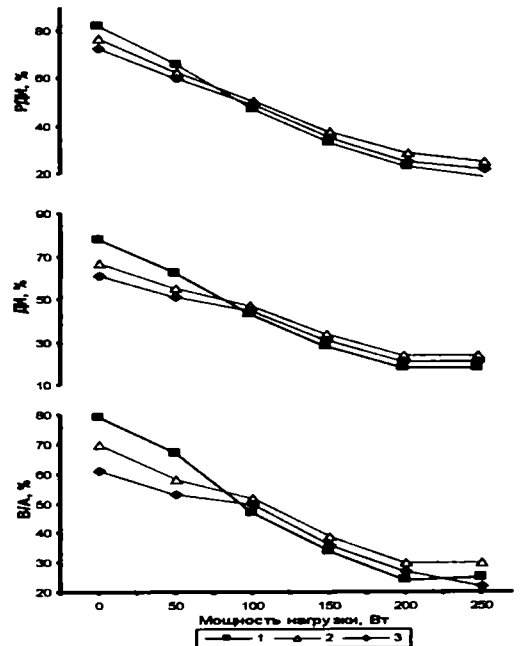


Рис. 3. Динамика РДИ, ДИ и индекса В/А отношения при велоэргометрической нагрузке нарастающей мощности в 3-х микроклиматических режимах. Обозначения см. на рис. 1 и рис. 2

диастолический и реографический дикротический индексы, индекс вено-артериального отношения регистрировались изменения в сторону уменьшения (рис. 3).

Согласно рисунку, при всех заданных параметрах микроклимата выполнение одной и той же физической работы сопровождалось непрерывным падением РДИ, ДИ, индекса В/А отношения вплоть до окончания 4-го цикла нагрузки в 200 Вт и последующим сохранением на достигнутом уровне. К этому времени абсолютные значения перечисленных показателей существенно не различались между собой. Однако, величины снижения реографического диастолического индекса, реографического дикротического индекса и индекса вено-артериального отношения были достоверно больше ($p < 0,05$) при режиме 1 относительно режимов 2 и 3.

Заключение

Совокупность обнаруженных сдвигов со стороны церебрального кровообращения свидетельствует о развитии в условиях жаркого влажного микроклимата к концу заданной работы резко выраженной гипотонии крупных, средних и мелких артерий, артериол и вен, об избыточном кровенаполнении мозговых сосудов и ухудшении венозного оттока крови из бассейна головного мозга. Анализ полученных результатов, согласующихся с имеющимися в литературе сведениями [12, 13, 14, 15, 16], позволяет заключить, что по динамике и абсолютным величинам рассмотренных реоэнцефалографических показателей можно судить о степени напряжения механизмов ауторегуляции мозгового кровообращения при данном виде

физической нагрузке до отказа в различных микроклиматических условиях. Стабилизация основных показателей РЭГ на повышенном или пониженном уровне в условиях комфортного и теплого влажного микроклимата свидетельствует о сохранении ауторегуляции мозгового кровотока, тогда как их непрерывное увеличение или падение является признаком приближающейся утраты этой ауторегуляции.

Описанные изменения дают основание считать, что динамика и абсолютные величины комплекса рассмотренных показателей церебрального кровообращения являются высоко информативными критериями для оценки степени напряжения в работе регуляторных механизмов организма человека при физической нагрузке возрастающей мощности до отказа в условиях жаркого влажного, тепло влажного и комфортного микроклимата. ■

Панина Наталья Геннадьевна, к.м.н., врач по спортивной медицине кафедры «Физическое воспитание» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г.Волгоград, Николаев Евгений Владимирович, и.о. заведующий кафедрой «Физическое воспитание» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г.Волгоград, Кузнецова Наталья Викторовна старший преподаватель кафедры «Физическое воспитание» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», г.Волгоград, Автор, ответственный за переписку — Панина Наталья Геннадьевна, г.Волгоград, 400005, им. В.И. Ленина пр-кт, 28. Э/адрес: nat-antiv2012@yandex.ru

Литература:

1. Солопов И.Н. Изменение параметров гемодинамики у спортсменов при предельных физических нагрузках в жарком климате с помощью эргогенических средств / Солопов И.Н., Катунцев В.П., Камчатников А.Г., Сентябрев Н.Н., Горбанева Е.П., Джураев А.Р. // *Современные проблемы науки и образования*. - 2014. - № 2.
2. Crandall C.G., Gonzalez-Alonso J. Cardiovascular function in the heat-stressed human // *Acta Physiol (Oxf)*. Aug 2010; 199(4): 407-423.
3. Уильмор Д.Х. Физиология спорта и двигательной активности / Д.Х. Уильмор, Д.Л. Костил // В кн.: *Олимпийская литература*. - Киев. - 2001. - С. 310-400.
4. Панина Н.Г. Физиологические особенности функционального состояния организма человека при физической работе в условиях ограничения теплоотдачи: автореф. дисс. ... канд. мед. наук: 03.03.01 / Панина Наталья Геннадьевна. - Волгоград, 2010.
5. Бурцев Е.М. Нарушения мозгового кровообращения в молодом возрасте: моногр. / Е.М. Бурцев. - М.: Медицина, 2015.
6. Кедров А. А. Вопросы физиологии внутричерепного кровообращения с клиническим их освещением / А.А. Кедров, А.И. Науменко. - М.: Государственное изда-
7. тельство медицинской литературы, 2012.
7. Фанарджян Рубен Клинико-физиологическая характеристика мозгового кровообращения / Рубен Фанарджян. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2013.
8. Аулик И.В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте / И.В. Аулик. - М.: Медицина. - 1990.
9. Исупов И.Б. Церебральное кровообращение молодых лиц в условиях комбинированных возмущающих воздействий на организм / Исупов И.Б., Мандриков В.Б., Лиходеева В.А., Букова К.А., Климанова М.Н. // *Вестник ВолгГМУ*. - Выпуск 2 (62). - 2017.
10. Мчедlishvili Г.И. Кровообращение и его значение в жизни организмов / Г.И. Мчедlishvili. - М.: Издательство Академии Наук Грузинской ССР, 2016.
11. Механика кровообращения / К. Каро и др. - М.: Мир, 2013.
12. Уизгерс К. Динамика кровообращения / К. Уизгерс. - М.: Издательство иностранной литературы, 2014.
13. Murrell CJ, Cotter JD, Thomas KN, Lucas SJ, Williams MJ, Ainslie PN. Cerebral blood flow and cerebrovascular reactivity at rest and during sub-maximal exercise: effect of age and 12-week exercise

- training // Age (Dordr). 2013 Jun; 35 (3): 905-20.*
14. *Tian S, Zhang Y, Tian S, Yang X, Yu K. et al. Early exercise training improves ischemic outcome in rats by cerebral hemodynamics. Brain Res. 2013 2; 1533: 114-21.*
 15. *Edwards M.R. Dynamic modulation of cerebrovascular resistance as an index of autoregulation under tilt and controlled Pco2 / M.R. Edwards, J.K. Shoemaker, R.L. Hughson // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. - 2002. - V.283. - P.653.*
 16. *Schondorf R., Stein R., Roberts R. et al. Dynamic cerebral autoregulation is preserved in neurally mediated syncope / R. Schondorf , R. Stein, R. Roberts et al. // J. Appl. Physiol. - 2001. - V.91. - P.2493.*