

УДК 612.06

## ВЛИЯНИЕ АДАПТАЦИИ К ПАССИВНОЙ ГИПЕРТЕРМИИ НА АЭРОБНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И КАРДИОРЕСПИРАТОРНУЮ ВЫНОСЛИВОСТЬ У СПОРТСМЕНОВ-ЛЮБИТЕЛЕЙ

© 2020 г. О. С. Глазачев<sup>1</sup>, \*, В. Кофлер<sup>1</sup>, Е. Н. Дудник<sup>1</sup>, \*\*, М. А. Запара<sup>1</sup>, В. Г. Самарцева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

\*E-mail: glazachev@mail.ru

\*\*E-mail: elenad72@list.ru

Поступила в редакцию 08.02.2019 г.

После доработки 04.03.2019 г.

Принята к публикации 03.06.2019 г.

Проведено исследование влияния адаптации к пассивной гипертермии (ПГ) на физическую работоспособность и кардио-респираторную выносливость у спортсменов-любителей при выполнении тестирующей нагрузки возрастающей интенсивности в лабораторных условиях. 28 спортсменов-любителей (мужчины, средний возраст  $20.2 \pm 2.1$  лет, игровые виды спорта – футбол, гандбол, стаж занятий спортом – 4–7 лет) были рандомизированы на две группы: участники опытной группы (ОГ, 14 чел.), прошедшие в последующем 24 процедуры адаптации к ПГ и группы сравнения (ГС, 14 чел.), прошедшие 24 облегченные тренировочные сессии в интервальном режиме на эллиптическом тренажере. Установлено, что адаптация к ПГ, в отличие от отсутствия достоверных сдвигов работоспособности под влиянием интервальных тренировок в ГС, сопровождается умеренным повышением аэробной работоспособности и кардио-респираторной выносливости у спортсменов-любителей в термо-нейтральных условиях. 10-недельный курс процедур ПГ приводит к повышению пиковых значений потребления кислорода, потребления кислорода на уровне анаэробного порога, повышению сердечной производительности (прирост значений кислородного пульса), а также эффективности легочной вентиляции и бронхиальной проходимости.

*Ключевые слова:* пассивная гипертермия, адаптация, спортсмены-любители, физическая работоспособность, выносливость.

**DOI:** 10.31857/S0131164619060031

Тепловая акклиматизация (ТА) как метод повышения работоспособности спортсменов при последующей тренировочной/соревновательной деятельности в жарком климате хорошо обоснована и широко применяется для подготовки атлетов разных видов спорта [1–3]. ТА развивается при повторном сочетанном предъявлении организму умеренных стрессоров: физических нагрузок (эндогенный метаболический стрессор, повышающий температуру ядра тела) в условиях высокой температуры окружающей среды (28–33°C – экзогенный стрессор, повышающий температуру оболочки тела) [4]. Такой подход базируется на концепции развития адаптационного синдрома и феномене прямых и перекрестных эффектов адаптации, постулирующих, что адаптация к определенному стрессорному фактору среды приводит к повышению устойчивости к

этому стрессору, а также повышает резистентность к другим стрессорным воздействиям [5–7].

Предложены разные протоколы дополнительного (к ТА) применения других факторов (гипоксии, высокой влажности окружающего воздуха и пр.) для потенциации перекрестных адаптационных эффектов и повышения аэробной выносливости спортсменов в условиях среднегорья или в термо-нейтральных условиях [8–11]. Однако результаты этих исследований довольно противоречивы и трудно сопоставимы, поскольку в них применены разные методы ТА. Так, в исследовании S. Lorenzo et al. [12] было показано, что ТА велосипедистов среднего уровня подготовки (10 дней по 90 мин интенсивных тренировок в условиях жаркого климата – 30°C) приводит к 5–8% приросту результатов лабораторных тестирований дистанции 1-часовой гонки, значений максимального потребления кислорода (МПК), анаэ-

робного порога (АТ) при внешней температуре 13°C [12]. В других работах сообщается, что ТА велогонщиков или легкоатлетов, триатлонистов высокого уровня подготовки на пике спортивной формы приводит к повышению их спортивных результатов, тестируемых в жарком климате, но не сопровождается приростом работоспособности, пиковых значений потребления кислорода в условиях средних температур (17–20°C) или в термо-нейтральных условиях в сочетании с гипоксией [11–15].

Сложности в трактовке результатов ТА вызывает также факт одновременного применения 2 стрессоров: физической нагрузки и повышенной температуры, что не позволяет оценить “вклад” каждого из них в последующее повышение работоспособности спортсмена и/или кардиореспираторной экономичности выполнения нагрузок в термонейтральных условиях.

Исследования же влияния адаптации к изолированной повторяющейся гипертермии (без тренировочных нагрузок) на аэробную выносливость, значения МПК у спортсменов не получили должного развития, хотя к этому есть определенные основания. Так, одним из ключевых клеточных механизмов адаптации к гипертермии или ТА является продукция белков теплового шока (БТШ72, БТШ90), а также гипоксия-индуцированного фактора (ГИФ1а), стабилизация и активация которого может происходить и в нормоксических условиях под влиянием БТШ90 и активных форм кислорода (АФК) [6]. Экспрессия синтеза БТШ тесно связана с повышением температуры ядра тела и стимулирует процессы вазодилатации, кожный, мышечный кровоток, а ГИФ1а, в свою очередь, запускает процессы ангиогенеза, эритропоэза, стимулирует продукцию ростовых факторов, гликолитических ферментов, монооксида азота, молекул с антиоксидантными свойствами и пр. [6, 16, 17]. Как следствие, запускаются системные эргогенные механизмы адаптации к гипертермии, включающие увеличение эффективности работы миокарда, сердечного выброса, повышение объема плазмы крови, порога лактатной толерантности, оптимизацию функции эндотелия, автономной регуляции, терморегуляторные перестройки – снижение температурного порога потоотделения, повышение его эффективности при тех же приростах температуры ядра [18–21].

Позитивные эффекты адаптации к пассивной изолированной гипертермии подтверждаются опытом регулярного (1–2 раза в нед.) длительного применения суховоздушных или инфракрасных саун [22, 23]. При этом отмечается снижение риска развития кардиоваскулярной патологии, нормализация повышенного артериального давления, углеводного, липидного обмена, повыше-

ние уровня физической работоспособности у здоровых нетренированных добровольцев среднего возраста [19, 24].

Цель данной работы – оценить влияние адаптации к пассивной гипертермии на кардио-респираторную выносливость и аэробную работоспособность при выполнении тестирующей нагрузки возрастающей интенсивности в лабораторных условиях при комфортной внешней температуре. Гипотеза исследования: адаптация к пассивной повторяющейся гипертермии повышает значения пикового потребления кислорода и кардио-респираторную выносливость у спортсменов-любителей, тестируемых в термо-нейтральных условиях.

## МЕТОДИКА

В рандомизированном контролируемом исследовании принимали участие 28 спортсменов-любителей (мужчины, средний возраст 20.2 ± 2.1 лет, игровые виды спорта – футбол, гандбол, стаж занятий спортом – 4–7 лет).

После предварительного обследования всех участников разделили на 2 группы (блоковая рандомизация 1 : 1 в блоках по 6 на основе листа рандомизации): опытная группа (ОГ, 14 чел.), прошедшие в последующем по 24 процедуры пассивной гипертермической адаптации и группа сравнения (ГС, 14 чел.), прошедшие по 24 тренировочные сессии на эллиптическом тренажере в интервальном режиме. Спортсмены двух групп не различались по основным антропологическим и физиометрическим характеристикам (табл. 1).

*Гипертермические процедуры и интервальные тренировки.* Спортсмены ОГ прошли курс пассивной гипертермической адаптации с применением капсулы “Альфа Бэйсик” (*Sybaritic Inc., Minnesota, США*). Капсула представляет собой эргономичную камеру, в которой может находиться спортсмен в положении лежа и получать процедуры гипертермии (инфракрасного прогревания), при этом голова находится вне камеры с возможностью обдува прохладным воздухом инсталлированными в устройство вентилятором. Предварительно все участники ОГ проходили тестовую процедуру гипертермии (ПГ) в капсуле, с повышением температуры от начальных 40°C на 10°C каждые 10 мин до достижения индивидуального субъективного порога переносимости с измерением температуры ядра. В последующем параметры процедур гипертермической адаптации подбирали индивидуально по результатам тестовой процедуры. В среднем температуру в капсуле устанавливали в диапазоне 65–80°C, исходя из индивидуальной переносимости, определяемой в тестовой процедуре, при этом температура ядра тела спортсмена к концу процедуры повышалась

**Таблица 1.** Основные антропо-физиологические характеристики участников исследования

Показатели	ОГ ( <i>n</i> = 14)	ГС ( <i>n</i> = 11)
Возраст, лет	20.7 ± 2.3	20.0 ± 0.3
Масса тела, кг	78.7 ± 13.4	73.4 ± 10.6
Длина тела, см	182.8 ± 9.8	179.3 ± 7.8
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>	23.7 ± 3.1	22.6 ± 2.9
SpO <sub>2</sub> , %	97.9 ± 1.05	98.1 ± 2.1
ЧСС покоя, уд./мин	68.2 ± 10.7	70.0 ± 8.9
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст.	126.8 ± 13.4	125.1 ± 8.9
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст.	76.5 ± 8.3	79.4 ± 6.7

*Примечание:* ОГ – опытная группа, КГ – контрольная группа, данные представлены как среднее ± SD или *n/N* (%).

на 1.5–2.0°C. Рекомендуемая продолжительность одной процедуры составляла 40 мин, однако не все спортсмены выдерживали такую продолжительность, в связи с чем первые процедуры у отдельных участников сократили по индивидуальным самоотчетам до 25–30 мин.

В целом каждый участник ОГ прошел 24 процедуры гипертермии в следующем режиме: первый период – по 3 процедуры в неделю через день, всего 12 за 4 нед.; второй период – по 2 процедуры в неделю, 12 процедур за 6 нед. Всем спортсменам было рекомендовано посещать процедуры в достаточно гидратированном состоянии, не менее, чем через три часа после приема пищи и кофеина, на весь период участия в исследовании не менять режим питания и тренировочных спортивных нагрузок (2 игровые тренировки в неделю, в дни, когда спортсмены не проходили ПГ).

Участников ГС, учитывая очевидность отсутствия каких-либо воздействий при попытке организации плацебо-процедур в термо-капсуле, приглашали в лабораторию в те же сроки и с той же частотой, что и спортсмены ОГ, для прохождения тренировок на эллиптическом тренажере *HouseFit N-300* (КНР) в интервальном режиме: нагрузка умеренной интенсивности (45–55% от индивидуальных значений ЧСС макс.) в течение 6–7 мин чередовалась с периодами отдыха (вращение педалей с нагрузкой 25–30% ЧСС макс.). Таким образом, участников ГС подвергали умеренному стрессу физической нагрузки (сопоставимому по “пульсовой стоимости” с гипертермией) при отсутствии температурного воздействия. Продолжительность каждой интервальной тренировки (ИТ) – 40 мин, всего 24 тренировки за 10 нед.

До и сразу по окончании каждой ГП/ИТ у спортсмена, находящегося в ложе капсулы (сидя на эллипсоидном тренажере) измеряли значения ЧСС, систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД, автоматический

тонометр *AND UA-767*, *AND*, Япония), температуру ядра тела (инфракрасный термометр *AND DT-635*, *AND*, Япония), учитывали усредненные данные двукратного измерения в обеих подмышечных областях. Кроме того, в динамике каждой процедуры осуществляли мониторинг значений сатурации крови кислородом (SpO<sub>2</sub>) и ЧСС с помощью пульсоксиметра *MD300* (*BCE Tech*, КНР).

*Оценка параметров состава тела, пикового потребления кислорода и кардио-респираторной выносливости.* Таким образом, после прохождения 12 процедур гипертермии (интервальных тренировок) и по окончании 10-недельного цикла ГП/ИТ (после 24 процедур) проводили оценку параметров состава тела спортсменов с применением портативного биоимпедансометра *Tanita BC-601* (*Tanita*, Япония) с расчетом жировой массы и мышечной массы в кг и % от общей массы тела.

В те же сроки все участники проходили нагрузочный сердечно-легочный тредмил-тест с использованием газового анализатора *Fitmate MED* (*COSMED*, Италия) и беговой дорожки *Intertrack* (*Shiller*, Швейцария) по протоколу *BRUCE* (ступенчатая нагрузка нарастающей интенсивности до отказа, длительность каждой ступени 3 мин (начальная скорость 1.7 *mph* с увеличением последовательно до 2.5; 3.4; 4.2; 5.0 и 5.5 *mph*, исходный угол наклона дорожки 10° с увеличением на каждой последующей ступени на 2°, [10, 25]. Выбор относительно “облегченного” и укороченного протокола нагрузочного тестирования был обусловлен тем, что в исследовании участвовали спортсмены-любители, без специальной подготовки на выносливость с исходными значениями пикового потребления кислорода на уровне здоровых лиц – не спортсменов. Все участники исследования предварительно прошли ознакомительное нагрузочное тестирование; перед каждым тестированием газоанализатор подвергали автокалибровке.

До начала выполнения нагрузочного теста проводили оценку функции внешнего дыхания с регистрацией показателей: форсированной жизненной емкости легких (ФЖЕЛ), объема форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ1), пиковой скорости выдоха (PEF), средней скорости выдоха на уровне крупных, средних и мелких бронхов (MEF-75%, MEF-50%, MEF-25% соответственно).

В динамике теста значения ЧСС мониторировались постоянно с датчиков нагрудного ремня *Polar 610i* (Финляндия), оптоэлектрический датчик, встроенный в маску и коммутированный с газоанализатором, позволял регистрировать содержание кислорода в выдыхаемом воздухе и легочную вентиляцию в каждом дыхательном цикле; значения всех регистрируемых показателей усреднялись за каждый 15-секундный интервал [26]. Применяли критерии прекращения выполнения теста в соответствии с рекомендациями [25], для объективизации субъективных самоотчетов о тяжести нагрузки применяли шкалу Борга, в среднем выполнение теста завершалось за 12–15 мин.

При анализе динамики аэробной работоспособности и кардио-респираторной выносливости учитывали абсолютные индивидуальные показатели, а также их представление в % от индивидуальных должных величин, рассчитываемых автоматически программным обеспечением компьютерного газоанализатора на основании данных обследований больших массивов здоровых лиц разного пола и возраста [26, 27]: максимальная ЧСС, % от должных значений максимальной достигнутой ЧСС, прирост АД на каждой ступени нагрузки, на максимуме нагрузки и в период восстановления, пиковое потребление кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ ), % от должных значений пикового потребления кислорода ( $VO_{2\text{пик}}$ , %), потребление кислорода на уровне анаэробного порога ( $VO_{2\text{АП}}$ ), % от должных значений потребления кислорода на уровне АП ( $VO_{2\text{АП}}$ , %), частота дыхательных движений (ЧДД), пиковая легочная вентиляция (VE), кислородный пульс ( $VO_{2\text{пик}}/ЧСС$  макс.), вентиляторный эквивалент по кислороду ( $VE/VO_{2\text{пик}}$ ). Все исследования проводили в лабораторном помещении при температуре 21–23°C.

*Статистический анализ данных.* Анализ данных проводили с помощью программы *Statistica 11.0*. Данные в работе представлены как среднее и стандартное отклонение  $M \pm SD$ . Проверка нормальности распределения проведена с применением критерия Колмогорова–Смирнова, для оценки достоверности внутри- и межгрупповых различий показателей в динамике использовали одновыборочный *t*-критерий, критерий Уилкоксона (для внутригрупповых сравнений) и крите-

рий Манна-Уитни (для межгрупповых сравнений). Различия считали значимыми при  $p < 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из 28 спортсменов, привлеченных к исследованию, 23 завершили полный цикл (2 чел. из ОГ и 3 чел. из ГС выбыли по причине ОРВИ (2 чел.) и низкой приверженности следования протоколу). Все спортсмены удовлетворительно перенесли процедуры пассивной гипертермии и интервальных тренировок. Типичной реакцией участников ОГ на гипертермию было значимое повышение температуры ядра (Тя) в среднем на 2.0°C с индивидуальными вариациями от 1.2 до 5.5°C к концу процедуры (табл. 2). При этом отмечался известный гемодинамический “ответ” в виде снижения значений САД и ДАД и прироста ЧСС до диапазонов, сопоставимых с ЧСС физических нагрузок умеренной интенсивности (55–65% от ЧСС макс.), а также значимое снижение значений  $SpO_2$  к концу гипертермии практически во всех процедурах (от 1-й до 24-й), что отражает повышение экстракции кислорода тканями. В ГС при выполнении ИТ не происходило существенных сдвигов значений Тя и  $SpO_2$  при повышении САД, а значения ЧСС повышались до диапазонов, соответствующих нагрузкам легкой-умеренной интенсивности и были сопоставимы с данными ОГ (табл. 2).

По результатам исходного тестирования спортсмены ОГ и ГС значимо не различались в уровне аэробной работоспособности, значениях показателей кардио-респираторного “обеспечения” выполнения нагрузки, легочной вентиляции. В динамике 10-недельного цикла интервальных тренировок в поддерживающем режиме (легкой степени) у участников ГС не отмечено существенных изменений в показателях аэробной работоспособности, легочной вентиляции и бронхиальной проходимости (табл. 3 и 4).

У спортсменов ОГ уже после 12 процедур пассивной гипертермии отмечено значимое повышение времени выполнения нагрузки до отказа, значений исходно сниженного по отношению к ГС потребления кислорода на уровне анаэробного порога – на  $16.3 \pm 12.0\%$  при существенном гипервентиляторном ответе (повышение значений VE на  $15 \pm 21.7\%$ , ЧДД – на  $15.9 \pm 21.7\%$ , а значения вентиляторного эквивалента  $VE/VO_{2\text{пик}}$  превышали данные ГС).

По окончании 24 процедур гипертермии в опытной группе при достоверно более длительном времени выполнения нагрузки до отказа по отношению к ГС отмечалось значимое повышение значений аэробной работоспособности –  $VO_{2\text{пик}}$  абсолютных и относительных (в % от должных значений и к массе тела) – на  $12.5 \pm 8.3$

**Таблица 2.** Усредненная динамика значений физиологических показателей до и после гипертермических процедур (ГП)/интервальных тренировок (ИТ)

показатели	ОГ (n = 12)			ГС (n = 11)		
	до ГП	после ГП	разница “до-после ГП”	до ИТ	после ИТ	разница “до-после ИТ”
Температура ядра тела, Т <sub>я</sub> , °С	36.4 ± 0.1	38.5 ± 0.3	+2.0 ± 0.4	36.4 ± 0.1	36.3 ± 0.4	-0.08 ± 0.2 **p = 0.005
САД, мм рт. ст.	123.8 ± 10.6	112.1 ± 10.4	-11.7 ± 5.9	122.7 ± 9.7	127.2 ± 8.2	5.6 ± 4.8
ДАД, мм рт. ст.	72.6 ± 7.1	56.7 ± 5.2	-15.8 ± 6.0	70.0 ± 5.7	67.9 ± 7.5	-2.0 ± 5.1 **p = 0.02
ЧСС, уд./мин	83.9 ± 7.9	125.9 ± 16.2	+ 42 ± 15.1	83.2 ± 8.6	113.9 ± 11.2	+30.6 ± 14.0
SpO <sub>2</sub> , %	96.9 ± 0.4	95.8 ± 0.6	-1.1 ± 0.7	96.9 ± 0.3	96.2 ± 0.5	-0.6 ± 0.4

*Примечание:* представлены усредненные данные всех участников по 24 процедурам гипертермии (ОГ)/ интервальных тренировок (ИТ). ГП – гипертермическая процедура, ИТ – интервальная тренировка. \*\* – достоверность различий сдвигов показателей “до-после ГП” – “до-после ИТ”.

**Таблица 3.** Результаты нагрузочного тестирования в динамике курса гипертермических процедур (ГП)/интервальных тренировок (ИТ)

Показатель	Группа	Исходно	После 12 процедур	После 24 процедур
VO <sub>2</sub> пик, мл/мин	ОГ	3061 ± 491	3252 ± 474	3382 ± 383** (p = 0.02)
	ГС	3009 ± 565	2818 ± 496# (p = 0.05)	2801 ± 608# (p = 0.02)
VO <sub>2</sub> пик, %	ОГ	93.9 ± 10.6	97.4 ± 11.6	98.7 ± 11.8* (p = 0.04)
	ГС	97.6 ± 13.1	96.0 ± 7.7	91.0 ± 11.9
VO <sub>2</sub> пик/ МТ, мл/кг/мин	ОГ	39.6 ± 4.5	41.1 ± 4.9	42.6 ± 3.4* (p = 0.05)
	ГС	41.2 ± 5.5	40.5 ± 3.2	38.0 ± 5.0
VE, л/мин	ОГ	101.3 ± 17.7	114.9 ± 20.0* (p = 0.02)	121.1 ± 12.9* (p = 0.01)
	ГС	99.2 ± 27.5	92.6 ± 27.2	98.3 ± 32.8# (p = 0.05)
ЧДД, дв/мин	ОГ	40 ± 8.9	44.8 ± 6.2* (p = 0.01)	42.6 ± 10.2
	ГС	40.7 ± 10.1	38.2 ± 10.0# (p = 0.05)	40.9 ± 9.0
ЧСС макс., уд./мин	ОГ	180.7 ± 11.4	183.5 ± 10.0	179.8 ± 13.1
	ГС	175.8 ± 17.1	176.5 ± 12.3	169.6 ± 17.2
ЧСС макс., %	ОГ	90.3 ± 5.2	91.7 ± 5.0	89.9 ± 6.8
	ГС	87.3 ± 8.5	87.6 ± 6.3	84.2 ± 8.5
VO <sub>2</sub> АТ/ МТ, мл/кг/мин	ОГ	18.9 ± 2.4	21.9 ± 2.8* (p = 0.004)	22.5 ± 2.2* (p = 0.002)
	ГС	21.9 ± 2.8# (p = 0.03)	21.5 ± 4.4	20.9 ± 3.5
VO <sub>2</sub> АТ, %	ОГ	48.0 ± 5.9	53.7 ± 7.6* (p = 0.004)	54.4 ± 6.3* (p = 0.01)
	ГС	53.8 ± 8.6	53.6 ± 13.4	55.5 ± 11.0
VO <sub>2</sub> пик/ЧСС макс., мл/уд./мин	ОГ	16.9 ± 2.4	17.7 ± 2.4	18.9 ± 2.5* (p = 0.01)
	ГС	17.4 ± 4.8	16.0 ± 2.6	16.5 ± 3.0# (p = 0.05)
VE/VO <sub>2</sub> пик	ОГ	25.6 ± 3.4	28.0 ± 4.5	28.5 ± 3.1
	ГС	24.0 ± 5.2	22.8 ± 6.0# (p = 0.05)	25.4 ± 6.1
Время нагрузки, с	ОГ	946 ± 189	1089 ± 119* (p = 0.03)	1089 ± 97* (p = 0.03)
	ГС	1035 ± 69	1036 ± 26	991 ± 121# (p = 0.03)

*Примечание:* \* – достоверность различий по отношению к данным исходного тестирования в одной группе; # – достоверность межгрупповых различий на одном этапе тестирования.

**Таблица 4.** Значения показателей состава тела и внешнего дыхания в динамике курса гипертермических процедур (ГП)/интервальных тренировок (ИТ)

Показатели	Группа	Исходно	После 12 ГП/ИТ	После 24 ГП/ИТ
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	ОГ	24.1 ± 3.1	24.2 ± 3.2	24.4 ± 3.3
	ГС	22.7 ± 3.0	22.3 ± 2.4	22.5 ± 2.3
Мышечная масса, кг	ОГ	64.3 ± 9.0	64.9 ± 8.0	65.8 ± 8.3* ( <i>p</i> = 0.036)
	ГС	62.4 ± 7.7	62.1 ± 8.2	62.1 ± 8.3
Жировая масса, %	ОГ	12.8 ± 4.1	12.4 ± 5.1	13.3 ± 5.3
	ГС	9.7 ± 3.2	10.0 ± 3.3	10.2 ± 3.7
ФЖЕЛ, л	ОГ	5.3 ± 0.8	5.3 ± 0.5	5.5 ± 0.5
	ГС	4.7 ± 1.0	4.7 ± 0.9 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.02)	4.7 ± 1.0 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.03)
ОФВ1, л	ОГ	4.5 ± 0.7	4.8 ± 0.5	5.0 ± 0.4* ( <i>p</i> = 0.009)
	ГС	4.3 ± 0.7	4.4 ± 0.8 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.02)	4.4 ± 0.7 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.015)
PEF, л/с	ОГ	8.0 ± 1.4	9.1 ± 1.2* ( <i>p</i> = 0.02)	9.3 ± 1.2* ( <i>p</i> = 0.03)
	ГС	8.3 ± 1.8	8.1 ± 2.0	8.1 ± 1.4
MEF-75%	ОГ	6.5 ± 1.9	8.2 ± 1.4* ( <i>p</i> = 0.007)	8.5 ± 1.3* ( <i>p</i> = 0.02)
	ГС	7.5 ± 1.5	7.4 ± 1.3	7.3 ± 1.1 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.007)
MEF-50%	ОГ	4.8 ± 1.7	5.7 ± 1.2	6.1 ± 1.2* ( <i>p</i> = 0.06)
	ГС	6.0 ± 0.6	5.8 ± 0.8	6.1 ± 1.1
MEF-25%	ОГ	2.8 ± 1.2	3.2 ± 0.9	3.8 ± 0.9* ( <i>p</i> = 0.03)
	ГС	3.6 ± 0.5 <sup>#</sup> ( <i>p</i> = 0.05)	3.3 ± 0.4	3.8 ± 0.9

и  $8.1 \pm 9.0\%$  соответственно, дальнейший прирост  $\text{VO}_2$  на уровне АТ, а также повышение значений показателя  $\text{O}_2$  пульса ( $\text{VO}_{2\text{пик}}/\text{ЧСС}_{\text{макс.}}$ ), отражающего эффективность работы сердца. При этом сохранялся значимо более высокий вентиляционный “ответ” (VE) на нагрузку, а изменений в хронотропной реакции на нагрузку не отмечено.

В динамике курса пассивной адаптации к гипертермии отмечено существенное (в отличие от ГС) повышение значений показателей скорости выдоха — ОФВ1, PEF, MEF-75%, MEF-50%, MEF-25%, что отражает улучшение проходимости бронхов разного калибра — от крупных до мелких (табл. 4). Достоверных изменений показателей состава тела в динамике исследования (несмотря на довольно интенсивные процедуры прогревания спортсменов ОГ) не произошло ни в ОГ, ни в ГС, за исключением некоторого прироста мышечной массы по окончании полного курса гипертермических процедур в ОГ, что может быть, вероятно, связано с дегидратацией за счет повторяющихся процедур прогревания.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В работе впервые показано, что адаптация к курсу процедур пассивной гипертермии приводит к умеренному повышению аэробной работо-

способности и кардио-респираторной выносливости у спортсменов-любителей при выполнении нагрузочного тредмил-теста до отказа в термонейтральных условиях.

В значительном количестве исследований авторы используют тепловую акклиматизацию (тренировочные нагрузки от 1.5 до 4 ч в жарком климате —  $28\text{--}33^\circ\text{C}$ ) для повышения работоспособности спортсменов разных специализаций и уровней подготовки, как в условиях жаркого, так и умеренного климата [1, 3, 12, 14]. В данной работе мы применили протокол длительной пассивной интенсивной (температура в термокапсуле — до  $75\text{--}80^\circ\text{C}$ ) гипертермии для устранения потенциальных дополнительных (к термическому стрессу) эффектов собственно спортивных интенсивных тренировок (метаболический стресс), что применяется в работах по изучению эффектов ТА на работоспособность элитных спортсменов.

Выявлено, что 10-недельный курс пассивной гипертермии приводит к значимому повышению аэробной работоспособности, пиковых значений потребления кислорода, потребления кислорода на уровне анаэробного порога, повышению сердечной производительности (прирост значений кислородного пульса).

Поскольку в группе сравнения, участники которой были того же уровня спортивной подготов-

ки и посещали лабораторию в аналогичном режиме для выполнения интервальных физических тренировок умеренной интенсивности (что сопровождалось сходным с ОГ уровнем повышения ЧСС), не выявлено достоверных изменений анализируемых индикаторов, можно полагать ведущим фактором выявленных адаптивных сдвигов действие гипертермического стресса. Считается, что для запуска терморегуляторных адаптивных процессов, имеющих значение в приспособлении к метаболическим стрессорам (нагрузки) необходимо повышение температуры ядра тела на 1.5–2.0°C [2, 6], что и было ключевым фактором дозирования гипертермических процедур в нашей работе.

Отмеченный “эргогенный” эффект адаптации к гипертермии может быть частично объяснен рядом морфо-функциональных сдвигов, запускаемых повторяющимися процедурами повышения температуры ядра тела и позитивных в отношении лучшего приспособления к метаболическому стрессу нагрузки до отказа: улучшением кардиальной производительности за счет умеренного снижения артериального давления и постнагрузки, повышением кожного и мышечного кровотока объема плазмы крови, снижением субмаксимальных значений ЧСС, стимуляцией экстракции кислорода мышцами за счет снижения сродства гемоглобина к кислороду, а также стимуляции капилляризации, повышением мощности антиоксидантных механизмов, стимуляцией продукции монооксида азота как модулятора кислородзависимых процессов, протекающих в организме (кислородтранспортная функция крови, прооксидантно-антиоксидантное равновесие) [1, 3, 18, 22, 28].

Косвенным подтверждением повышения нагрузочной толерантности в нормотермических условиях после пассивного гипероксического кондиционирования являются данные снижения потребления кислорода, более низких значений лактата, калия плазмы крови, при выполнении атлетами нагрузок тех же ступеней интенсивности, что и до курса тепловой адаптации [20].

Важным в понимании гипертермически обусловленных адаптивных сдвигов представляется выявленное в работе значимое повышение нагрузочной легочной вентиляции, а также показателей бронхиальной проходимости в покое, что может рассматриваться в качестве механизма адаптации к повторяющейся гипертермии, а не снижением нагрузочной экономичности, и согласуется с данными *A.E. Beaudin et al.* [29]. Авторы этого исследования показали, что повышенная нагрузочная легочная вентиляция (больше метаболических запросов) после курса 10 процедур пассивной гипертермии обусловлена снижением температурного порога (меньшим градиен-

том повышения температуры ядра) вентиляторного ответа аналогично снижению порога потоотделения, что является компонентом термолитического эфферентного “ответа” на вторные эпизоды гипертермии, запускаемого от преоптических ядер переднего гипоталамуса, а не следствием повышения чувствительности дыхательного центра к CO<sub>2</sub> [29].

Выявленные изменения бронхиальной проходимости не могут быть связаны со стимуляцией терморцепторов дыхательных путей, т.к. в нашем исследовании голова спортсменов во время процедур гипертермии находилась вне камеры и не подвергалась нагреванию, и они дышали воздухом нейтральной температуры. Потенциальными факторами улучшения легочной вентиляции и бронхиальной проходимости в покое после курса гипертермии могут быть нормализация динамики продукции монооксида азота в легочной паренхиме, что оказывает влияние на легочный кровоток и вентиляцию, а также определенная тренировка дыхательной мускулатуры при гипертермических воздействиях [4, 17, 30], однако эти предположения требуют дополнительной проверки.

Результаты исследования являются важными в практическом плане, обосновывая применение процедур пассивной гипертермии для потенцирования работоспособности и нагрузочной выносливости у спортсменов-любителей (в дополнение к спортивным тренировкам), с низкими/средними показателями аэробной производительности, на начальных этапах тренировочного цикла, а также у травмированных атлетов для поддержания их аэробных возможностей и кардио-респираторной эффективности.

Полученные результаты гипертермически обусловленного повышения аэробной работоспособности спортсменов любительского уровня в термонейтральных условиях носят предварительный характер. К ограничениям исследования следует отнести малый размер обследуемой выборки, а также отсутствие группы плацебо, что предусматривало-бы нахождение спортсменов в ложе термокапсул без собственно температурного воздействия. Значительные межиндивидуальные вариации адаптивных ответов спортсменов-любителей на пассивную гипертермию предполагают наличие индивидуумов – устойчивых и чувствительных к гипертермии, что требует разработки критериев/индикаторов определения и прогнозирования эффектов пассивной гипертермической адаптации.

Необходимы дальнейшие исследования для трансляции полученных результатов на группы профессиональных спортсменов высокой квалификации, а также для разработки наиболее эффективных протоколов гипертермического

пассивного кондиционирования в практике подготовки квалифицированных спортсменов и спортивной медицины.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовании впервые показано, что длительная адаптация к пассивной гипертермии (без сочетания с тренировочными нагрузками) приводит к повышению аэробной работоспособности спортсменов – любителей, тестируемой в условиях температурного комфорта. Курс процедур пассивной температурной акклиматизации приводит к значимому приросту значений пикового потребления кислорода, потребления кислорода на уровне анаэробного порога, повышению сердечной производительности.

Повышение нагрузочной легочной вентиляции и, соответственно, нагрузочных значений вентиляторного эквивалента после гипертермической адаптации не является признаком снижения респираторной эффективности выполнения нагрузки а, вероятно, является признаком адаптации к гипертермическому стрессу.

Требуются дополнительные исследования выявления перекрестных эффектов адаптации к пассивной гипертермии в динамике физической работоспособности и выносливости квалифицированных спортсменов.

**Этические нормы.** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Москва). Протокол № 05-19 от 10.04.2019.

**Информированное согласие.** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

**Финансирование работы.** Работа частично поддержана грантом РФФИ № 19-013-00465А “Прямые и перекрестные эффекты адаптации к системной гипертермии: влияние на качество жизни, нейро-гормональный и психофизиологический статус человека”.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность всем добровольцам – участникам исследования, а также компании “Sybaritic Inc.” (США) за предоставленные безвозмездно термокапсулы “Альфа Бэйсик” для проведения гипертермических процедур. Компания и ее представители не участвовали в дизайне исследования, сборе, анализе и интерпретации данных, подготовке публикации.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией данной статьи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Corbett J., Neal R.A., Lunt H.C., Tipton M.J. Adaptation to heat and exercise performance under cooler conditions: a new hot topic // *Sports Med.* 2014. V. 44. № 10. P. 1323.
2. Mero A., Tornberg J., Mäntyselkä M., Puurtinen R. Effects of far-infrared sauna bathing on recovery from strength and endurance training sessions in men // *Springerplus.* 2015. V. 4. P. 321.
3. Sawka M.N., Leon L.R., Montain S.J., Sanna L.A. Integrated physiological mechanisms of exercise performance, adaptation, and maladaptation to heat stress // *Compr. Physiol.* 2011. V. 1. № 4. P. 1883.
4. Taylor N.A., Cotter J.D. Heat adaptation: guidelines for the optimisation of human performance: review article // *Int. Sport Med. J.* 2006. V. 7. № 1. P. 33.
5. Меерсон Ф.З., Пшеничкова М.Г. Адаптация к стрессорным ситуациям и физическим нагрузкам. М.: Медицина, 1988. 252 с.
6. Gibson O.R., Taylor L., Watt P.W., Maxwell N.S. Cross-Adaptation: Heat and Cold Adaptation to Improve Physiological and Cellular Responses to Hypoxia // *Sports medicine.* 2017. V. 47. № 9. P. 1751.
7. Lee B.J., Miller A., James R.S., Thake C.D. Cross Acclimation between Heat and Hypoxia: Heat Acclimation Improves Cellular Tolerance and Exercise Performance in Acute Normobaric Hypoxia // *Front. Physiol.* 2016. V. 7. P. 78.
8. Hessemer V., Zeh A., Bruck K. Effects of passive heat adaptation and moderate sweatless conditioning on responses to cold and heat // *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 1986. V. 55. № 3. P. 281.
9. McCleave E.L., Slattery K.M., Duffield R. et al. Temperature Performance Benefits after Heat, but Not Combined Heat and Hypoxic Training // *Med. Sci. Sports Exerc.* 2017. V. 49. № 3. P. 509.
10. Minson C.T., Cotter J.D. CrossTalk proposal: heat acclimatization does improve performance in a cool condition // *J. Physiol.* 2016. V. 594. № 2. P. 241.
11. Sotiridis A., Debevec T., Ciuha U. et al. Heat acclimation does not affect maximal aerobic power in thermoneutral normoxic or hypoxic conditions // *Exp. Physiol.* 2019. V. 104. №3. P. 345.
12. Lorenzo S., Halliwill J.R., Sawka M.N., Minson C.T. Heat acclimation improves exercise performance // *J. Appl. Physiol.* 2010. V. 109. № 4. P. 1140.
13. Karlsen A., Racinais S., Jensen M.V. Heat acclimatization does not improve VO<sub>2</sub> max or cycling performance in a cool climate in trained cyclists // *Scand. J. Med. Sci. Sports.* 2015. V. 25. № 1. P. 269.
14. Keiser S., Fluck D., Huppin F. et al. Heat training increases exercise capacity in hot but not in temperate conditions: a mechanistic counter-balanced cross-over study // *Am. J. Physiol. Heart Circ Physiol.* 2015. V. 309. № 5. P. 750.



15. Nybo L., Lundby C. CrossTalk opposing view: heat acclimatization does not improve exercise performance in a cool condition // *J. Physiol.* 2016. V. 594. № 2. P. 245.
16. Iguchi M., Littmann A., Chang S. Heat stress and cardiovascular, hormonal, and heat shock proteins in humans // *J. Athl. Train.* 2012. V. 47. № 2. P. 184.
17. Racinais S., Buchheit M., Bilsborough J. Physiological and performance responses to a training camp in the heat in professional Australian football players // *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2014. V. 9. № 4. P. 598.
18. Зинчук В.В., Жадько Д.Д. Эффект сауны на кислородтранспортную функцию крови и прооксидантно-антиоксидантный баланс у нетренированных лиц // *Физиология человека.* 2012. Т. 38. № 5. С. 112.
19. Redberg R. Health benefits of sauna bathing // *JAMA Int. Med.* 2015. V. 175. № 4. P. 548.
20. Scoon G.S., Hopkins W.G., Mayhew S., Cotter J.D. Effect of post-exercise sauna bathing on the endurance performance of competitive male runners // *J. Sci. Med. Sport.* 2007. V. 10. № 4. P. 259.
21. Stanley J., Halliday A., D'Auria S. Effect of sauna-based heat acclimation on plasma volume and heart rate variability // *Eur. J. Applied Physiology.* 2015. V. 115. № 4. P. 785.
22. Зинчук В.В., Жадько Д.Д. Сауна: физиологические механизмы оздоровительного действия на организм / Монография. Под ред. Зинчука В.В. Гродно: ГрГМУ, 2013. 184 с.
23. Lee E., Laukkanen T., Kunutsor S. Sauna exposure leads to improved arterial compliance. Findings from a non-randomised experimental study // *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2018. V. 25 № 2. P. 130.
24. Crinnion W.J. Sauna as a valuable clinical tool for cardiovascular, autoimmune, toxicant induced and other chronic health problems // *Altern. Med. Rev.* 2011. V. 16. № 3. P. 215.
25. American College of Sports Medicine. ACSM's guidelines for exercise testing and prescription. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams and Wilkins, 2006. 106 p.
26. Lee J.M., Bassett D.R., Thompson D.L., Fitzhugh E.C. Validation of the CosmedFitmate for Prediction of Maximal Oxygen Consumption // *J. Strength. Cond. Res.* 2011. V. 25. № 9. P. 2573.
27. Nieman D.C., Lasasso H., Austin M.D. et al. Validation of Cosmed's FitMate in measuring exercise metabolism // *Res. Sports Med.* 2007. V. 5. P. 67.
28. Burtcher M., Gattere, H., Burtcher J., Mairburl H. Extreme Terrestrial Environments: Life in Thermal Stress and Hypoxia // *Front. Physiol.* 2018. V. 9. P. 572.
29. Beaudin A.E., Clegg M.E., Walsh M.L., White M.D. Adaptation of exercise ventilation during an actively-induced hyperthermia following passive heat acclimation // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009. V. 297. № 3. P. 605.
30. Kikuchi H., Shiozawa N., Takata S. et al. Effect of repeated Waon therapy on exercise tolerance and pulmonary function in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a pilot controlled clinical trial // *Int. J. Chronic Obstr. Pulm. Dis.* 2014. V. 9. P. 9.

## Impact of Adaptation to Passive Hyperthermia on Aerobic Performance and Cardio-Respiratory Endurance in Amateur Athletes

O. S. Glazachev<sup>a,\*</sup>, W. Kofler<sup>a</sup>, E. N. Dudnik<sup>a,\*\*</sup>, M. A. Zapara<sup>a</sup>, V. G. Samartseva<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia

\*E-mail: glazachev@mail.ru

\*\*E-mail: elenad72@list.ru

We studied the effects of adaptation to passive hyperthermia (PG) on physical performance and cardio-respiratory endurance in amateur athletes during a test load of increasing intensity in laboratory conditions. A total of 28 amateur athletes (men, age  $20.2 \pm 2.1$  years; team sports: football, handball; experience: 4–7 years) were randomized into two groups: experimental group (EG, 14 people), which subsequently underwent 24 procedures for adaptation to PG, and control group (CG, 14 people), which performed 24 interval training sessions on an elliptical trainer-machine. We found that adaptation to separate PG (without exercising in the heat) leads to a moderate increase in performance and cardio-respiratory endurance in amateur athletes tested in thermo-neutral conditions, in contrast to the absence of interval training effects in the CG. A course of PG procedures leads to an increase in aerobic performance, peak oxygen consumption, and oxygen consumption at the level of anaerobic threshold, increased cardiac performance (increase in oxygen pulse values), as well as the efficiency of pulmonary ventilation and bronchial conductance.

**Keywords:** passive hyperthermia, adaptation, amateur athletes, physical performance, endurance.