

510-25

435

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ

На правах рукописи

КИРСАНОВ
Станислав Викторович

ТЕРМОРЕГУЛЯЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ
ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ ПРИ
МЫШЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ
ЭКЗОГЕННОЙ ГИПЕРТЕРМИИ

03.00.13 – Физиология человека и животных

А в т о р е ф е р а т

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Москва - 1985

R 435

Работа выполнена в Государственном Центральном ордена
Ленина институте физической культуры

Научный руководитель - доктор медицинских наук Л.А.ИОФЕЕ

Официальные оппоненты: доктор медицинских наук,
профессор Д.В.УРЬВАЕВ
доктор медицинских наук,
профессор А.П.ЛАПТЕВ

Ведущее учреждение - Всесоюзный научно-исследовательский
институт физической культуры

Защита диссертации состоится "10" I 1956 г.

в 14 час. на заседании специализированного совета
Д.046.01.01 Государственного Центрального ордена Ленина инсти-
тута физической культуры (г.Москва, Сиреневый бульвар, д.4)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "4.12" 1955 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат педагогических наук

А.П.СКОРОДУМОВА

БИБЛИОТЕКА
Львово, 1956 г.

704794

ВЫДЕНИЕ

Актуальность темы: Тренировочные и соревновательные нагрузки современного спорта предъявляют высочайшие требования к организму человека. Это обусловило постоянное внимание исследователей к анализу факторов, определяющих и ограничивающих спортивную работоспособность. К числу физиологических факторов подобного рода, играющих важную роль при спортивной деятельности, связанной с развитием выносливости, относятся гипертермические реакции экзогенной и эндогенной природы или, иначе говоря, способность выполнять в условиях высокой температуры окружающей среды стереотипные для данного вида спорта ло. моторные функции с высоким коэффициентом полезного действия.

Актуальность исследования физиологической адаптации спортсменов к жаркому климату диктуется рядом причин, среди которых можно выделить такие, как:

- а) прогнозирование спортивной деятельности в обсуждаемых условиях (на основании информации о поведении физиологических функций);
- б) значение анализа энергетических преобразований, сопровождающих процессы термогенеза мышечной деятельности;
- в) значение изучения соответствующих преобразований структуры теплового баланса организма;
- г) необходимость поддержания физической работоспособности в условиях повышенной утомляемости.

В высшей степени актуальной задачей современной спортивной физиологии является разработка методов изучения физической работоспособности в условиях жаркого климата. Однако использование разными авторами различных показателей температурного статуса организма осложняет сопоставление экспериментальных данных и часто приводит к противоречиям в истолковании активности механизмов, лежащих в основе развития гипертермических реакций. Поэтому одной из важнейших проблем физиологии терморегуляции является разработка унифицированной батареи тестов для оценки работоспособности человека в условиях нагревающего микроклимата.

Цель работы — изучение закономерностей энергозависимых тепловых реакций организма при интенсивной мышечной деятельности спортсменов в условиях гипертермии и возникающих при этом проблем коррекции спортивной работоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- обосновать степень информативности комплекса энергозависимых параметров, характеризующих температурные реакции организма спортсмена при мышечной деятельности в условиях внешней термической нагрузки;
- разработать комплексную методику оценки энергозависимых характеристик организма спортсменов при эндо- и экзогипертермии;
- выявить основные критерии энергозависимых реакций при умеренной термической нагрузке и перегреве, а также при мышечной деятельности в термонеutralной зоне, умеренной термической нагрузке и перегревании организма;
- обосновать закономерности перестройки температурно-тепловых полей и структуры теплового баланса организма спортсменов;
- разработать на основе полученных результатов исследований экспресс-методы профилактики снижения спортивной работоспособности в условиях высокой температуры окружающей среды.

Научная новизна: Впервые проведены комплексные исследования явлений теплообмена спортсменов, установлены общие закономерности перестройки температурно-тепловых полей, изменений теплосодержания и структуры теплового обмена организма при мышечной деятельности в условиях гипертермии.

Расшифровано в калориметрических терминах о специфике эндо- и экзогипертермии при мышечной деятельности.

Выявлены физиологические критерии, позволившие научно обосновать использование методов профилактики снижения физической работоспособности в условиях нагревающего микроклимата.

Показано, что мышечная деятельность, осуществляемая в условиях повышающихся термических нагрузок, сопровождается характерными изменениями коэффициентов полезного действия: физиологического (h_{ϕ}), общего (h_o) и эффективного ($h_{эф}$).

Практическая ценность работы: Модифицирована и внедрена в практику комплексная методика изучения теплового баланса организма спортсменов при мышечной деятельности в условиях гипертермии.

Обоснованы физиологические принципы коррекции физической работоспособности при перегревании организма.

Обоснованы рекомендации по использованию разработанных методов и средств в условиях спортивной деятельности, осуществляемой при высокой окружающей температуре.

Результаты работы реализованы в практике врачебного контроля и медицинской экспертизы спортсменов в медико-санитарной части ГЦОЛИЖ, врачебно-физкультурном диспансере ЦСК Профсоюзов в процессе подготовки спортсменов высокого класса к соревнованиям в условиях жаркого климата.

Апробации работы: Результаты исследований по теме диссертации доложены на:

1. Симпозиуме СССР-ГДР "Проблемы восстановления спортивной работоспособности после высоких тренировочных и соревновательных нагрузок" (Москва, сентябрь, 1982)
2. II Всесоюзной конференции "Телевизионная аппаратура и практика ее применения в медицине" (Ленинград, октябрь, 1982)
3. Всесоюзном симпозиуме "Методы исследования в спортивной медицине" (Москва, декабрь, 1982)
4. Итоговой конференции Проблемной лаборатории ГЦОЛИЖ (Москва, январь, 1983).
5. Всесоюзной научно-практической конференции "Проблемы комплексного контроля в спорте высших достижений" (Москва, сентябрь, 1983).
6. Итоговой конференции Проблемной лаборатории ГЦОЛИЖ (Москва, январь, 1984).
7. Итоговой конференции ГЦОЛИЖ (Москва, январь, 1984).
8. 14 Гагаринских чтений (Москва, апрель, 1984).
9. 2-ом Всесоюзном симпозиуме "Прогнозирование в прикладной физиологии" (Фрунзе, май, 1984).
10. XVII Всесоюзной конференции "Физиологические механизмы адаптации и мышечной деятельности" (Ленинград, сентябрь, 1984).

Объем и структура работы: Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, практических рекомендаций и указателя литературы, включающего 102 отечественных и 44 иностранных источников. Работа изложена на 188 стр. машинописи и содержит 46 рисунков и 34 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

При термической нагрузке изменяется структура теплового баланса как в мышце, так и во всем организме. Характер изменений в общем случае является функцией не только абсолютной величины нагрузки, но, вероятно, и функцией эффективности теплообразования, обусловленной эндо- и экзогипертермией, возможностями их взаимной компенсации в физиологических условиях.

Известно, что высокая температура среды определяет не только функциональную активность системы терморегуляции. Последняя вовлекает для собственного обеспечения значительную часть метаболизма, интенсифицирует многие функции организма, обуславливающие спортивную работоспособность. В связи с этим очевидна важность выявления физиологических характеристик, наиболее адекватно отражающих субпредельное и предельное тепловое состояние при работе человека в условиях нагревающего микроклимата.

Регламентация тепловых нагрузок обычно производится на основании функциональных сдвигов, характеризующих степень теплового напряжения организма человека. Данные Р.Ф.Афанасьевой и др. (1970), В.В.Бунова (1960), А.А.Глушко (1978), В.В.Хаскина (1982) и др. свидетельствуют о несомненном влиянии тепловых нагрузок на физическую работоспособность. Поэтому выбор адекватных показателей, характеризующих динамические характеристики мышечной деятельности в условиях перегрева, представляют несомненный интерес.

Развитие предельного теплового состояния человека существенным образом связано с характером теплообмена (физическими параметрами окружающей среды) и интенсивностью мышечной деятельности. Данные С.М.Городничского и др. (1972) позволяют утверждать, что предельное тепловое состояние человека при различной степени ухудшения условий теплообмена, особенно при сочетании с физической работой, возникает в момент истощения физической терморегуляции и, в частности, способности интенсифицировать испарительный теплообмен.

Для контроля за тепловым состоянием организма в космической медицине обычно применяют различные методические комплексы, как правило, достаточно простые: частота сердечных сокращений, величины температур внутренней и наружной областей тела или их разность, т.е. температурный градиент между температурами "ядра" и "оболочки".

Ректальная температура отражает степень теплового напряжения организма, но надо иметь в виду, что ее абсолютная величина существенно зависит от явлений трансформации и переноса тепла в процессе теплообмена.

Температурный градиент между внутренней и наружной областями тела в значительной мере характеризует эти явления. Правомерно для этой цели использовать и иной параметр - изменение теплосодержания организма, учитывающий изменение массы (в известной мере влажно-

тери) и теплоемкость тела.

С.м.Городицкий и др. (1972) и Э.В.Яковлева (1971) прямо указывают на необходимость использования в процессе наблюдений подобного минимального комплекса параметров. Они приводят среднестатистические данные этих параметров, отвечающих субпредельному и предельному тепловым состояниям человека в условиях перегрева. Очевидно, что выбор адекватных методических подходов имеет важнейшее практическое значение. Это побудило нас существенно расширить состав методов непосредственного измерения исследуемых параметров: энерготраты, теплопродукция, интенсивность теплоотдачи с поверхности кожи, респираторного, конвективно-радиационного и испарительного теплообмена (в Вт), температура тела и поверхности кожи (в °С), изменение теплосодержания организма (в Вт), влаговыделений с поверхности кожи, респираторного влагообмена (в г/ч), массы тела (в кг), частоты сердечных сокращений и дыханий (в мин), мощности физической нагрузки (в кГм/мин) и градации коэффициента полезного действия (в %). Перечисленные методы были объединены в соответствующие программы и составляющие их содержание комплексные методы изучения работоспособности.

Специально отметим, что наряду с физиологическим коэффициентом полезного действия (h_{ϕ}) работы дозированной мощности (А), выполненной спортсменом и отнесенной к устанавливаемым значениям энерготрат (W_n) и теплопродукции (W_t) из выражений

$$h_{\phi} = \frac{W_n(A) - W_t(A)}{W_n(A)} \cdot 100\% \quad (1)$$

мы определяли также общий (h) и эффективный ($h_{эф}$) к.п.д. из выражений:

$$h = \frac{\Delta W_{no}(A) - \Delta W_{to}(A)}{\Delta W_{no}(A)} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$h_{эф} = \frac{\Delta W_{nэ}(A) - \Delta W_{tэ}(A)}{\Delta W_{nэ}(A)} \cdot 100\% \quad (3)$$

где W_{no} и W_{to} соответствуют энерготратам (W_n) и теплопродукции (W_t) за исключением процессов, не участвующих непосредственно в локомоторной функции, а при расчете $W_{nэ}$ и $W_{tэ}$ высчитываются еще и величины, измеренные при выполнении безнагрузочного педалирования.

Для реализации принятых в расчете методических подходов и про-

раммы экспериментальных исследований потребовалось модифицировать термокамеру ЦОЛИМКИ, создать эргометрическое устройство в виде спаренного велоэргометра, оснастить измерительный комплекс соответствующими метрологическими устройствами, оценить погрешности их измерения и эксплуатационные свойства в условиях, соответствующих современным требованиям проведения лабораторных исследований.

Несмотря на сложности регистрации указанных выше физиологических характеристик, многие из них удалось преодолеть благодаря комплексному использованию приборов, традиционно применяемых в спортивной медицине. Разработанные измерительные устройства апробированы в совместных исследованиях с институтом медико-биологических проблем МЗ СССР (некоторые были модернизированы или созданы вновь).

Был создан компактный измерительный комплекс с представлением реальных данных по двум каналам отображения: на электронных самопишущих и прямоотражающих индикаторах (рис. 1).

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методом вариационной статистики с использованием непараметрического парного критерия Стьюдента для уровня значимости 0,05 (В.В. Урбах, 1964).

Для реализации поставленной цели было проведено 5 серий исследований.

В первой из них изучены экзогипертермические характеристики в состоянии относительного покоя (113 исследований у 16 спортсменов при окружающей температуре от 20 до 50°C), относительной влажности от 25 до 80%, скорости движения воздуха 0,2-1,9 м/с).

Во второй серии проанализированы эндогипертермические характеристики в термонеutralной зоне (120 исследований у 27 спортсменов при окружающей температуре 20°C, относительной влажности 60%, скорости движения воздуха 0,2-1,5 м/с и мощности работы от 0 до 1260 кГм/мин).

В третьей серии исследованы температурные реакции у спортсменов при мышечной деятельности в условиях умеренной термической нагрузки (96 исследований у 24 человек при окружающей температуре 30°C, относительной влажности 50%, скорости движения воздуха 0,5-2,0 м/с, мощности работы 0-1260 кГм/мин/).

Четвертая серия была посвящена исследованию экзо- и эндогипертермических характеристик при перегреве (72 наблюдения у 16 спортсменов при окружающей температуре 45-50°C, относительной влажности 30%, скорости движения воздуха 0,7-2,0 м/с, мощности работы - 0-1260 кГм/мин).

В пятой серии изучались эффективность методов коррекции физической работоспособности в условиях гипертермии (105 наблюдений у

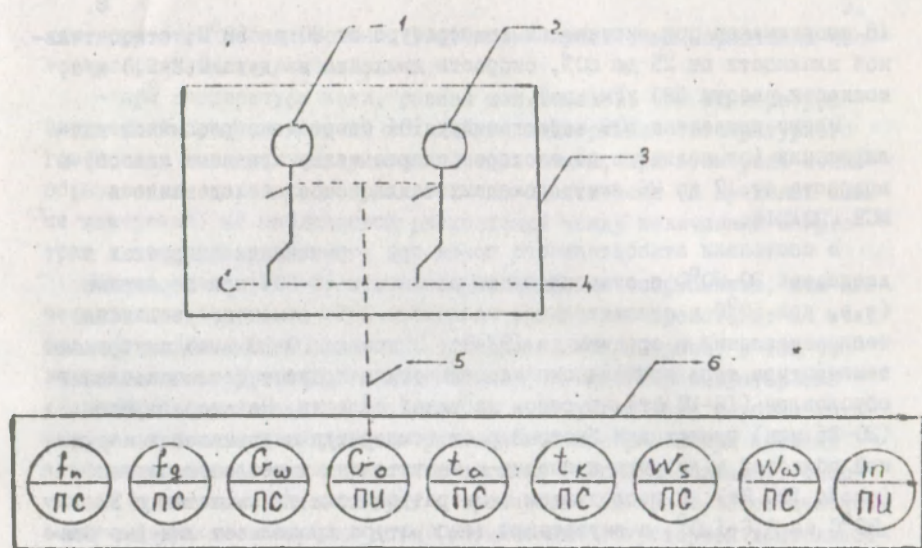


Рис. I

СТРУКТУРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ В УСЛОВИЯХ ГИПЕРТЕРМИИ

1, 2 - спортсмены выполняющие работу, одинаковой кинематики
движений соответственно в нагрузочном и безнагрузочном
состоянии мышц;

3 - термокамера; 4 - спаренный велоэргометр;

5 - электрические коммуникации;

6 - измерительный комплекс;

18 спортсменов при окружающей температуре от 30 до 50°C, относительной влажности от 25 до 80%, скорости движения воздуха 0,2-2,0 м/с, мощности работы 630 кГм/мин).

Всего проведено 506 наблюдений у 101 спортсмена различной квалификации (от новичков до мастеров спорта международного класса) в возрасте от 17 до 26 лет, прошедших медицинское обследование в МСЧ ЦЮЛИЖК.

В состоянии относительного покоя при термических нагрузках в диапазоне 20-50°C и относительной влажности 25-60% при перегреве (т.е. при 50°C и относительной влажности 25%) отмечено увеличение теплонакоплений в среднем до 102 Вт. В начале (0-20 мин) внутренняя температура тела практически не меняется и прирост теплонакоплений обусловлен (18-20 Вт) нагревом наружной области. Во второй фазе (20-35 мин) происходит быстрый рост температур внутренней и наружной областей тела, что приводит к значительному теплонакоплению (около 100 Вт). В последующем температура кожи уменьшается с 38,5-39°C на 0,6-1,0°, а внутренняя температура продолжает линейно возрастать. Теплонакопления стабилизируются (102-9,4 Вт). Резко увеличивается теплообмен (с 94,6 до 259,4 Вт) в основном за счет теплообмена с поверхности кожи (236,0 против исходных 79,1 Вт) и в меньшей степени респираторного теплообмена (соответственно 23,4 и 15,5 Вт). Вклад респираторного теплообмена наиболее высок при температуре окружающей среды, равной 30°C (22,5% против исходных 16%). Влаготеплопотери увеличились с 33,8 г/ч (в комфортных условиях) до 403 г/ч (при 50°C). Теплосодержание организма у высококвалифицированных спортсменов всегда ниже, чем у менее тренированных. Различие возрастает с увеличением термической нагрузки. Заметно учащаются частота сердцебиений и дыханий (соответственно до 105 с 58 и до 29 с 14 в мин), увеличивается теплопродукция (до 361,4 с 94,6 Вт) и энерготраты (до 365 с 95,2 Вт); при 25-40°C теплопродукция за счет поступления экзогенного тепла превышает энерготраты.

Полученные данные свидетельствуют о наличии ряда закономерностей, которые могут быть использованы при подготовке спортсменов к соревнованиям в условиях нагревающего микроклимата:

- тепловой баланс и теплообмен спортсменов претерпевает серьезные структурные изменения в зависимости от уровня термической нагрузки;
- характер сдвигов, несмотря на индивидуальные различия, наиболее точно позволяет оценить степень напряжения системы терморегуля-

ции, при этом дополнительным указанием служит темп нарастания частоты сердечных сокращений;

- при температуре кожи, равной или меньшей, чем температура окружающей среды, основным механизмом поддержания температурного гомеостаза является испарительный теплообмен, при этом роль теплообразования настолько возрастает, что практически (в пределах ошибки измерения) не наблюдается расхождения между величинами энергозатрат и теплопродукции.

Нужно отметить, что чем выше квалификация спортсменов, тем легче организм переносит термическую нагрузку. Это происходит за счет большей экономизации процессов преобразования энергии, в том числе тепловых ее фракций. Увеличение интенсивности респираторного теплообмена происходит в основном за счет увеличения глубины дыхания; испарительный теплообмен развивается быстрее и при меньших значениях температуры внутренних органов (теплонакоплений); спортивная тренировка способствует и тренировке аппарата потоотделения, особенно функции секреции пота (оптимизация секреторной деятельности происходит не только за счет увеличения числа потовых желез, но и повышения их активности); облегчается процесс адаптации организма к высоким температурам, поскольку он (процесс) зависит от уровня функционирования многих систем организма (кардиореспираторной, нервно-мышечного аппарата, водно-солевого обмена и т.д.).

При анализе эндогипертермических характеристик спортсменов в термонейтральной зоне учитывались лишь данные, полученные при выполнении дозированной нагрузки, использованной в последующих сериях экспериментальных исследований.

При безнагрузочном педальировании четко регистрировалось увеличение теплосодержания организма (на 25,5-2,4 Вт), повышение респираторного (до 22,9 с 16,3 Вт) и кожного (до 120 с 80,6 Вт), а также теплопродукция (до 168,4 с 96,9 Вт) и энергозатрат (до 176 с 97,0 Вт). Изменение температур внутренней и наружной областей были незначительны.

При нагрузках в пределах 420-840 кг/мин заметно повышалась температура кожи и уменьшается температурный градиент. С дальнейшим увеличением нагрузки наступает термодинамическое равновесие. В процесс терморегуляции вовлекаются интенсивные способы теплоотдачи (например, потоиспарение). Скорости и абсолютная величина повышения температуры кожи уменьшаются, причем особенно выражено у спортсменов о более высокой функциональной подготовленности. Ректальная

и кожная температура у них не превышают соответственно 38,4 и 36,6 °С, что свидетельствует об адекватных терморегуляционных реакциях на изменения условий мышечного метаболизма и теплоотдачи. Структура теплообмена в обсуждаемых условиях отличается высокой стабильностью. Изменение теплосодержания организма составило в среднем 141 Вт, суммарный теплообмен - 577 Вт (в т.ч. респираторный - 113 Вт, с поверхности кожи - 464 Вт), теплопродукция - 718 Вт, энергозатраты - 874 Вт.

Исследования закономерностей перестройки теплового и энергетического балансов организма позволяют непосредственным образом оценить физиологическую эффективность спортивной деятельности и в конечном счете уровень подготовки спортсмена к соревнованиям. Доводом в пользу такого утверждения являются результаты определения коэффициентов полезного действия общей и эффективной работы различной мощности (рис. 2). Он иллюстрирует фактически структуру энергетического баланса, на котором за 100% принята величина энергозатрат, соответствующая определенной мощности физической нагрузки.

С увеличением физической нагрузки роль испарительного теплообмена повышается, хотя и не столь заметно как при термической нагрузке. В обоих случаях, однако, этот механизм определяет устойчивость организма к перегреву. Вклад испарительного теплообмена в теплоотдачу с поверхности кожи возрастает с 47 при легкой работе до 88% при предельной работе (в респираторном теплообмене испарительный теплоперенос составляет соответственно 62 и 75%). Все это свидетельствует, что при оценке спортивной работоспособности необходимо учитывать интенсивность влагопотерь.

Результаты исследования гипертермических характеристик при выполнении работы в условиях умеренной термической нагрузки представлены в табл. 1.

Уже при безнагрузочном педалировании температура кожи была сравнима или выше окружающей среды. Во всем диапазоне нагрузок теплоотдача осуществлялась за счет испарения.

Активность отдельных механизмов терморегуляции по сравнению с термической нагрузкой в покое или при работе в термонеutralной зоне различна. Температура кожи уже через 15 мин после перехода в термокамеру (к началу работы) повышается в среднем на 2°С. Наиболее выражено увеличение температуры кожи при нагрузке мощностью 630

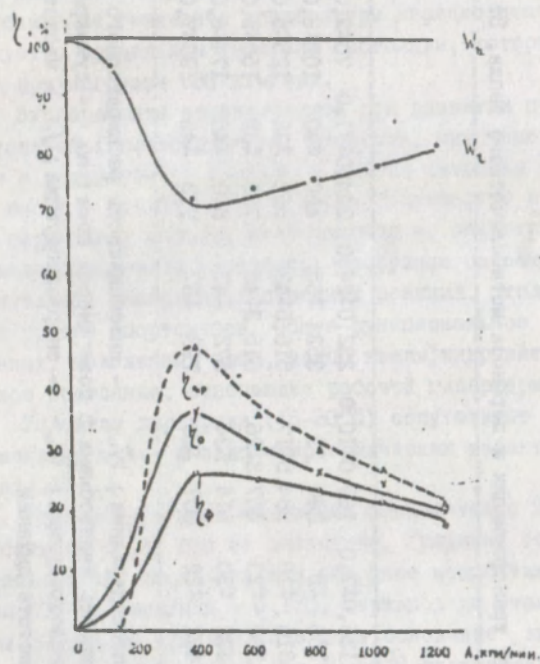


Рис. 2

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ РАБОТЫ СПОРТСМЕНОВ
 ДОЗИРОВАННОЙ МОЩНОСТИ (А) В УСЛОВИЯХ ЭНДОТЕРМИИ

$h_f, h_o, h_{эф}$ - к.п.д. физиологической, общей и эффективной
 работы

W_n, W_e - соответственно энерготраты и теплотеплопродукция

Таблица I

Энд- и экзогенные термические характеристики спортсменов в условиях умеренной термической нагрузки ($t_o = 3,5^{\circ}\text{C}$)

Мощность физической нагрузки	Число циклов	Закономерности трансформации и переноса метаболического тепла, Вт																	
		А	Ах	Ах	Ах	Ах	Ах	Ах	Ах	Ах	Ах								
кгм/мин в килопондах																			
420	12	63,0±14	33,0±3	136,0±7,0	169,0±10,0	232,0±24,0	244,0±71,0	70±2,0	28±1,0	102±3,0	28±2,9	102±3,0	28±2,9	102±3,0	28±2,9	102±3,0	28±2,9	102±3,0	28±2,9
630	9	132±26	68,5±3	316±16	384,5±17	516,5±43	662±32	125±5,0	30±2,0	125±5,0	30±2,0	125±5,0	30±2,0	125±5,0	30±2,0	125±5,0	30±2,0	125±5,0	30±2,0
840	9	148±18	87,3±2	380±23	467,3±26	615,3±45	768±35	156±5,0	35±3,0	156±5,0	35±3,0	156±5,0	35±3,0	156±5,0	35±3,0	156±5,0	35±3,0	156±5,0	35±3,0
1050	9	158±18	112±2	402±30	514±34	672±47	800±40	174±6,0	35±3,0	174±6,0	35±3,0	174±6,0	35±3,0	174±6,0	35±3,0	174±6,0	35±3,0	174±6,0	35±3,0
1250	9	166±15	125±6	482±22	607±28	793±37	915±45	190±7,0	35±3,7	190±7,0	35±3,7	190±7,0	35±3,7	190±7,0	35±3,7	190±7,0	35±3,7	190±7,0	35±3,7

Обозначения: ΔW_m - изменение теплосодержания; $W_{\text{ж}}$ - интенсивность респираторного теплообмена; W_i - интенсивность теплообмена с поверхностью кожи; W_s - суммарный теплообмен; W_c - теплопродукция; W_h - энергопродукция; f_c - частота сердечбиений; f_d - частота дыхания

кгм/мин. При увеличении нагрузки температура кожи снижается из-за обильного влаговыделения. Все же ее прирост при отказе от работы составлял в среднем $5,4^{\circ}\text{C}$.

Повышение внутренней температуры менее выражено, что определяет снижение градиента температуры нередко менее 1°C . Это свидетельствует о предельном тепловом состоянии, которое может развиться уже при нагрузке 630 кгм/мин.

Эксперименты заканчивались при развитии признаков теплового истощения (головокружение, слабость, мышечные судороги, поверхностное и затрудненное дыхание и другие симптомы перегрева). Спортсмены высокой квалификации в своем большинстве с меньшими затруднениями переносили условия эксперимента и, несмотря на некоторые объективные показатели (например, профузное потоотделение), у них не отмечалось замедленных ответных реакций, столь частых в контрольной группе спортсменов. Общее функциональное состояние с учетом данных, изложенных выше, можно квалифицировать как допустимое тепловое состояние, отвечающее рабочей гипертермии.

Условиям перегрева ($45-50^{\circ}\text{C}$) сопутствуют еще более выраженные изменения экзо- и эндогипертермических характеристик спортсменов (табл. 2).

Температура кожи монотонно повышается с $36,6^{\circ}\text{C}$ перед началом работы до $39,3^{\circ}$ при ее окончании. Градиент температуры быстро уменьшается, составляя при нагрузке мощностью 420 кгм/мин $0,2^{\circ}\text{C}$ при 630-840 кгм/мин $-0,1^{\circ}\text{C}$, снижаясь до отрицательных значений при 1050-1260 кгм/мин. Это дает основание утверждать, что даже при легкой мышечной работе при $40-50^{\circ}\text{C}$ окружающей температуры развивается предельное тепловое состояние.

Очевидно, что при работе в условиях перегрева происходит значительное понижение эффективности мышечной деятельности у спортсменов, поскольку все физиологические механизмы направлены в первую очередь на борьбу за сохранение приемлемого теплового состояния. В таких условиях необходимо строго регламентировать нагрузки и использовать различные средства физической терморегуляции, обеспечивающие быстрый и эффективный теплосъем.

Существуют различные средства такого назначения, например, обдув и вдыхание холодного воздуха, кондуктивное охлаждение, локальное охлаждение с помощью элементов, основанных на использовании веществ с температурой замерзания, превышающей тройную точку воды, наконец, сухого льда. В настоящее время имеются предпосылки для создания достаточно эффективных, малогабаритных и легких теплосни-

Таблица 2

Экзо- и эндопергермические характеристики спортсменов в условиях перегрева ($t_0 = +45 \pm 5^\circ\text{C}$)

Эксперим. "0"	Количество физической нагрузки	Число обследуемых	Закономерности трансформации и переноса метаболического пульса дыхания		Частота пульса дыхания			
			в В1	в В2				
420	1,0	8	30 ± 4	2,4 ± 0,4	23,4 ± 3,0	340 ± 30	87 ± 4	28 ± 1
530	1,5	8	47 ± 8	2,4 ± 0,3	31,1 ± 2,1	460 ± 30	108 ± 5	32 ± 2
840	2,0	8	60 ± 7	4,5 ± 0,5	46,5 ± 4,8	628 ± 55	155 ± 6	38 ± 2
1030	2,5	6	80,2 ± 3	4,0 ± 0,7	57,0,2 ± 3,6	743,2 ± 35	185 ± 5	41 ± 1
1230	3,0	6	99,5 ± 12	5,2 ± 0,5	63,1,5 ± 4,1	814,5 ± 45	192 ± 3	3 ± 5
			200 ± 21	6,0 ± 1,2	74,5 ± 11,2	965 ± 108	205 ± 11	37 ± 6

Примечание: среднестатистические результаты рассчитаны для уровня значимости $P = 0,05$.
Обозначения те же, что и в табл. 1.

мающих элементов (ТСЭЛ), способных около часа поддерживать при интенсивном нагреве температуру тела на уровне, близком к оптимальному и допустимому. Некоторые из таких элементов были использованы и в наших исследованиях. Но сначала потребовалось научное обоснование гигиенических требований для их использования в спортивной практике. В первую очередь необходимо было изучить топографические особенности тепловыделений спортсменов при гипертермических реакциях с целью обоснования минимального комплекса ТСЭЛ и провести сравнительные исследования его физиологической эффективности.

Результаты исследования анатомических особенностей распределения температур и тепловых потоков на поверхности тела человека при умеренной и интенсивной термической нагрузках отражены в табл.3.

При умеренных термических (до 35°C) и физических (до 630 кгм/мин) нагрузках ТСЭЛ 20-35 минут могут поддерживать оптимальное или допустимое тепловое состояние организма (рис.3). С увеличением уровня нагрузок эффективность ТСЭЛ снижается, однако и в этом случае развитие реакций, приводящих к тепловому истощению, замедляется.

Проведенные исследования посвящены выяснению зависимостей между рассмотренными выше управляющими и вспомогательными механизмами гипертермических реакций организма. Это тем более важно, что в условиях жаркой среды в самом процессе регуляции теплового состояния спортсменов ограничение теплопродукции исключено, либо (в некоторых видах спорта, имеет гораздо большее значение, чем изменение тепло- и влаговыделительных функций). Предполагается, что перегревание любого происхождения возможно лишь в том случае, когда исчерпываются все возможности для усиления организмом теплоотдачи (П.Н.Беселкин, 1963).

Отсюда очевидна важность анализа взаимосвязи перестройки теплового баланса организма и функций кардио-респираторной системы, особенно сердечно-сосудистой, являющейся основным исполнительным органом терморегуляции при мышечной деятельности. Можно полагать, что сама адаптация к жаркой среде во многом определяется уровнем функционального состояния циркуляторного аппарата.

Динамика изменения параметров сердечно-сосудистой системы является одним из важных критериев спортивной работоспособности в условиях нагревающего микроклимата. Можно указать на 3 периода перегрева организма, находящие отражение в состоянии сердечно-сосудистой системы. В I-й период - увеличивается минутный объем сердца, ускоряется кровоток, учащается пульс, развивается тенденция к артериальной гипертензии. Во 2-м периоде тахикардия усиливается, ар-

Топографические особенности температуры поверхности тела и тепловыделений спортсменов при термической нагрузке

Наименование областей поверхности тела	Fi/F	Температура окружающей среды, °C							
		30				45			
		t _{ki}	W _{si}	W _{si} /W _s	W _{si} /F _i	t _{ki}	W _{si}	W _{si} /W _s	W _{si} /F _i
1. Лоб, щеки	3,12	34,8	9,1	9,6	166	38,2	18,7	10,7	340
2. Грудь	10,0	34,2	10,7	11,3	61	38,5	17,3	9,8	98
3. Спина	11,0	34,0	11,4	12,0	60	37,6	21,0	12,4	113
4. Живот	8,0	32,1	8,6	9,0	60,5	36,1	26,4	15,1	185
5. Поясница	5,0	32,2	7,9	8,3	90	37,2	17,6	9,5	200
6. Плечи	3,9	34,6	5,8	6,1	84	38,3	9,1	5,2	132
7. Предплечья	2,3	35,0	5,0	5,2	100	37,9	8,6	4,9	174
8. Бедро	10,15	33,3	13,7	14,5	87	37,7	21,8	12,5	121
9. Кисти	2,25	33,9	6,6	7,2	165	37,2	12,6	7,2	315
10. Голены	6,25	35,1	8,9	9,4	81	37,8	15,9	9,1	144
11. Стопы	3,22	34,2	3,8	4,0	67	38,2	7,2	4,1	126
Средневзвешенная значения		34,35	91,7	100		38,2	176,8	100	

Примечание: W_{si} - плотность теплового потока (в Вт); W_{si}/W_s - относительная величина тепловыделений (в %); W_{si}/F_i - удельная (на единицу поверхности) плотность теплового потока (в Вт/м²); F_i - относительная площадь поверхности области тела (в %)

104721

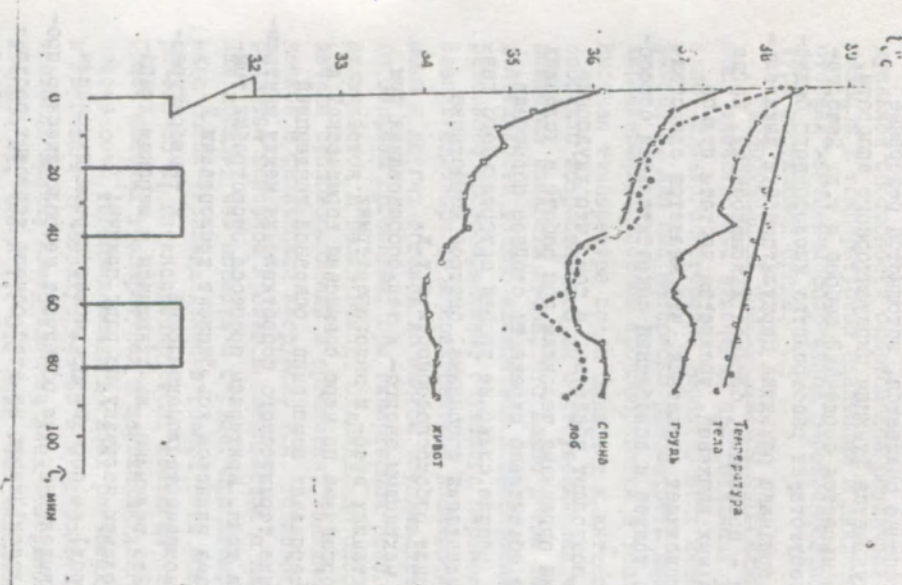


Рис. 3

ХАРАКТЕР ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕЛА И КОЖИ ПРИ
ЛОКАЛЬНОМ ОХЛАЖДЕНИИ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ ТЕЛА

ВИСЛИМЕНА

Львовский гос. ун-т

Институт физической культуры

териальное давление постепенно снижается, истощаются резервные возможности миокарда, ухудшается функция циркуляторного аппарата, замедляется кровоток, уменьшается сердечный выброс и т.д. Дезорганизации кровообращения сопутствует расстройство кислородного бюджета организма. Возникают признаки развития циркуляторной и дыхательной гипоксии. 3-й период – состояние, близкое к коматозному, когда замедляется темп дыхательных движений, урежается частота пульса. Артериальное давление продолжает снижаться, что является следствием понижения сосудистого тонуса и ослабления сократительной способности миокарда.

Литературные данные позволяют убедиться в том, что ухудшение функционального состояния организма человека при работе в условиях жаркого климата наиболее объективно отражают: стойкое повышение температуры тела и кожи, резкое снижение уровня артериального давления, значительная дегидратация организма, быстрое нарастание утомления, большое снижение работоспособности и т.д.

Рассмотрим основные механизмы энерго- и теплообразования при различных уровнях и сочетаниях экзо- и эндогипертермии.

Температурное поле организма по мере повышения термической и физической нагрузок претерпевает изменения, основной тенденцией которых является понижение термического сопротивления между внутренней и наружной областями тела. Критерием процесса перестройки температурного поля организма является коэффициент теплоотдачи K , представляющий собой отношение теплопоколений к температурному градиенту тела. Эта величина, изменяющаяся в широком диапазоне, имеет большую смысловую нагрузку по ряду причин:

- его шкала (в Вт/град) на порядки превышает пороги изменения температур и даже тепловыделений, что облегчает метрологическую процедуру исследований и классификацию на этой основе тепловых состояний и уровней работоспособности. Например, в диапазоне физической нагрузки от 400 до 1260 кгм/мин K изменяется на 75 Вт/град, тогда как температура кожи всего на $2,5^{\circ}$;

- когда мы говорим о понижении термического сопротивления в наружной области тела, то понимаем под этим не только физические процессы, связанные с увеличением теплопроводности тканей (она изменяется незначительно), а с теми рефлекторными физиологическими реакциями, приводящими к перераспределению центрального и периферического кровообращения, что в известной степени объясняет линейную зависимость между K и частотой сердечных сокращений;

- значение K может быть использовано в качестве меры индивидуальной способности спортсменов различной квалификации и специализации к температурной адаптации и акклиматизации, равно как и степени изменения спортивной работоспособности с повышением температуры окружающей среды.

Теплообмен и тепловой баланс организма спортсменов претерпевают значительные изменения при различных уровнях и сочетаниях экзо- и эндогипертермии. Характер этих изменений зависит от многих факторов. Для нас интересно рассмотреть взаимосвязи циркуляторных характеристик системы кровообращения и теплового баланса организма. Высокая температура среды приводит к интенсификации кровообращения, особенно возрастающего за счет увеличения частоты сердечных биений. Повышается вязкость крови, что важно в том смысле, что при мышечной деятельности должно изменяться и соотношение центрального и периферического кровообращения, служащего переносчиком тепла в организме. Возникающие при этом конкурентные взаимоотношения в кровоснабжении мышц и других органов во многом обуславливают и структуру теплового баланса организма. При гипертермии разогретая на периферии кровь охлаждается в полых венах. Охлаждающая способность зависит от величины теплонакоплений в организме, возникающих в результате термической и физической нагрузки, т.к. тепло от внутренних органов передается венозной кровью и смешивается с нагретой на периферии кровью прежде, чем попасть в сердце. При этом, в состоянии относительного покоя тепловыделения с поверхности кожи, начиная с температуры $+30-35^{\circ}\text{C}$, интенсифицируется, достигая величины $95-110$ Вт. При более высоких температурах и понижении влагосодержания воздуха интенсивность тепловыделений во всех регионах поверхности, например, в диапазоне температур $+40-45^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $15-30\%$ тепловыделения, измеренные на всей поверхности тела, составили $134-235$ Вт, что в $1,7-3,0$ раза выше исходного уровня в термонейтральной зоне. Необходимо отметить и тот факт, что основным механизмом теплоотдачи в этих условиях (на $80-100\%$) является испарительный теплообмен. Однако в состоянии относительного покоя проходит достаточно большое время, прежде чем организм становится способным реализовать эти достаточно высокие уровни "теплосброса", поэтому в 1-часовых температурных экспозициях отмечается значительные накопления тепла в организме - от 75 до 100 Вт. В среднем предельная переносимость экзогипертермии наступает при меньших (на $55\pm 9\%$) значениях теплонакоплений, чем при мышечной деятельности. В последнем

случае определяющим становится скорость накопления тепла, т.е. динамические характеристики процессов теплообразования.

Таким образом, при различных сочетаниях экзо- и эндогипертермии происходит изменение точек приложения теплообразовательной функции организма: в состоянии относительного покоя и при работе без нагрузки или легкой тяжести накопления тепла в организме относительно велики, составляя до $1/3$ в тепловом балансе организма. При выполнении работы на уровне 50% МПК и выше, даже при значительных температурах среды, относительная величина теплонакоплений снижается за счет интенсификации различных механизмов и видов теплообмена. Чем выше уровень физической и термической нагрузки, тем значительнее роль теплообмена с поверхности кожи и тем явственнее значение испарительного теплообмена — как основного механизма поддержания температурного гомеостаза и физической работоспособности.

Анализ полученных данных показал, что существуют специфические закономерности трансформации метаболического тепла при мышечной деятельности, осуществляемой на фоне высоких температур внешней среды. Специфика, вероятно, проявляется уже на микроскопическом уровне и может характеризоваться весьма лабильными сопряжениями между экзергонными и эндергонными реакциями (В.В.Хаскин, 1975).

Сопоставление результатов исследований с данными авторов, полученных примерно в тех же условиях среды и нагрузки, дает основание говорить о том, что у спортсменов (а среди последних — у более квалифицированных) расход энергии на мышечную деятельность происходит более экономно, а коэффициенты полезного действия в любых его градациях выше, чем у неспортсменов. Спортивная специализация обуславливает определенный уровень энергезависимых адаптационных потенциалов организма при экзо- и эндогипертермии. Интегральными критериями, характеризующими их, на наш взгляд, могут быть физиологический, общий и эффективный коэффициенты спортивной деятельности, особенно при сравнении индивидуальных физиологических возможностей спортсменов при подготовке и в процессе отбора к важным соревнованиям, проводимым в условиях жаркого климата.

В Ы В О Д Ы

1. На основании анализа литературных данных и результатов собственных исследований выявлены наиболее информативные энергозависимые характеристики температурных реакций организма спортсменов в условиях гипертермии: энерготраты, теплопродукция, изменение теплового содержания, интенсивность конвективного, радиационного, испарительного и респираторного теплообмена, коэффициент теплопередачи в наружную область тела, температурный градиент (внутренний и поверхности), к.п.д. мышечной деятельности, а также физиологические характеристики, наиболее адекватно отражающие степень напряжения системы терморегуляции при экзо- и эндогипертермии: частота сердцебиений и дыханий.

2. Разработан и апробирован в экспериментах комплексный метод оценки энергозависимых характеристик организма спортсменов, включающий методики измерения интенсивности конвективного, радиационного, испарительного и респираторного теплообмена, температур "ядра", "оболочки", термотопографии, а также частоты сердцебиений и дыханий.

3. На основании явлений теплообмена организма спортсменов при гипертермии установлены общие закономерности перестройки температурно-тепловых полей, изменения теплового содержания и структуры теплового баланса, выражающиеся: а/ в уменьшении температурного градиента между внутренней и наружной областями тела по мере увеличения физической или тепловой нагрузки; б/ в линейной зависимости теплонакоплений от тяжести мышечной деятельности, амплитуда которых возрастает с увеличением внешней тепловой нагрузки; в/ в смещении теплового баланса по мере развития перегревания в сторону преобладания испарительного теплообмена.

4. Перегревание организма за счет эндогенного и экзогенного тепла подчиняется различным закономерностям. В первом случае оно обусловлено не столько скоростью накопления тепла, сколько распределением тепла в организме; во-втором - при внешней термической нагрузке - происходит преимущественное перегревание наружной области тела. При этом предельная переносимость гипертермии здесь наступает при меньших (на 55-9%) значениях теплонакоплений, чем при мышечной деятельности (эндогенном перегреве).

5. При легкой мышечной работе топография тепловыделений возрастает линейно на всех сегментах поверхности кожи и примерно соответ-

вует анатомическим особенностям тепловыделений человека в состоянии относительного покоя.

При работе субмаксимальной и максимальной мощности топографические тепловыделения отличаются наибольшей интенсивностью над работающими мышцами.

6. В условиях выраженной гипертермии минимальный комплекс температурных характеристик, необходимых для оценки физической работоспособности спортсмена включает в себя следующие параметры: температурный градиент между внутренней и наружной областями, скорость изменения теплосодержания организма, коэффициент теплопередачи.

7. Развитие тепловой толерантности находит отражение в эмпирически выявленных физиологических критериях физической работоспособности, выраженных в трех градациях коэффициента полезного действия: функционального, общего и эффективного.

8. При использовании физических методов терморегуляции (локальное охлаждение) необходимо учитывать топографию тепловыделений организма спортсменов при гипертермии.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Полученные результаты позволяют рекомендовать широкое использование разработанного нами "метода комплексного исследования функции внешнего дыхания и работоспособности человека".

2. Для применения в практике спортивной и космической медицины рекомендованы методы исследования термодинамических реакций организма, обусловленных физической нагрузкой в условиях нагревающего микроклимата.

3. Для повышения тепловой устойчивости спортсменов целесообразно во время тренировок и соревнований, происходящих в условиях перегрева, применять способы локального охлаждения наиболее жизненно важных органов (сердце, внутренних органов), осуществляемые посредством отведения тепла через органы дыхания и методом кондуктивного охлаждения головы.

4. Результаты проведенных исследований рекомендованы в практику врачебной экспертизы и углубленного медицинского обследования спортсменов.

СПИСОК РАБОТ,

ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Бондаренко В.В., Кирсанов С.В., Синяков А.Ф. Изучение возможности применения тепловизора "Радуга М1" в спортивной медицине: Тезисы докл. на Всесоюз. конф. "Тепловизионная медицинская аппаратура и практика ее применения" - ТЕМ1-82, Л., 1982, 393-394с.
2. Глушко А.А., Иоффе Л.А., Кирсанов С.В. и др. Методы исследования спортивной работоспособности в условиях гипертермии: Тезисы докл. Всесоюз. практ. конф., М., 11-13 октября, 1983, 112-113с.
3. Кирсанов С.В., Бондаренко В.В., Синяков А.Ф. Тепловидение - диагностика спортивных травм у футболистов - Ежегодник "Футбол", 1983, 64-66с.
4. Иоффе Л.А., Кирсанов С.В., Крымцева Т.А. и др. Динамика тепловое состояние организма спортсменов при мышечной деятельности в условиях умеренной термической нагрузки: 2-ой Всесоюз. симпозиум "Прогнозирование в прикладной физиологии", Фрунзе, 1981, 109-110с.
5. Глушко А.А., Иоффе Л.А., Кирсанов С.В. Температурные реакции организма спортсменов при мышечной деятельности в условиях перегрева: Тезисы докл. XVII Всесоюз. науч. конф. "Физиологические механизмы адаптации к мышечной деятельности", Л., 17-19 сентября, 1981, 55-56с.
6. Глушко А.А., Иоффе Л.А., Кирсанов С.В. и др. Повышение спортивной работоспособности в условиях высокой температуры и влажности окружающей среды: Метод. рекомендации, М., ЦОЛИИФ, 1981.
7. Кирсанов С.В. Методы исследований физической работоспособности в условиях гипертермии. Ж. "Теория и практика физической культуры и спорта", № 2, 1984, 12-13с.
8. Кирсанов С.В. Основы физиологические критерии прогнозирования функционального состояния и физической работоспособности спортсменов в условиях жаркого климата: Тезисы докл. II Всесоюз. симпозиума, Фрунзе, 15-17 мая, 1981, 135-136с.
9. Глушко А.А., Иоффе Л.А., Кирсанов С.В. и др. Оценка теплопродукции организма спортсмена при различных режимах мышечной работы. В сб. научн. трудов "Факторы, лимитирующие повышение работоспособности у спортсменов высокой квалификации", М., 1981, 109-111с.