

Министерство образования Украины
СИМФЕРОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В.ФРУНЗЕ

На правах рукописи

ПЕТУЛЬКО Виктор Андреевич

ВЛИЯНИЕ ГИПЕРТЕРМИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И
ЛОКАЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ
СОСТОЯНИЕ ОРГАНИЗМА

03.00.13 - физиология человека и животных

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Донецк 1996



00756317 (Т)

Диссертация является рукопись

Работа выполнена в Научно-исследовательском институте горноспасательного дела Министерства угольной промышленности Украины, г. Донецк

Научные руководители: доктор биологических наук, профессор
Соболев Валерий Иванович,
доктор медицинских наук, профессор
Солдак Игорь Иванович

Официальные оппоненты: доктор медицинских наук, профессор
Тарапата Николай Иванович,
кандидат биологических наук, доцент
Янцев Александр Викторович

Ведущее учреждение: Донецкий научный центр гигиены труда
и профилактики травматизма

Защита состоится "27 02" 1995 года в 14 часов
на заседании специализированного совета К 068.43.01 в Симферопольском государственном университете им. М.В.Фрунзе по адресу:
333036, г. Симферополь, ул. Ялтинская, 4, биологический факультет

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Симферопольского государственного университета им. М.В.Фрунзе.

Автореферат разослан "25" 01 1995 года.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета,
доктор биологических наук, профессор

Н.А.Темурьянц.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В процессе своей деятельности человек неоднократно сталкивается с воздействием неблагоприятных факторов внешней среды. Одним из таких факторов является высокая температура как в естественных условиях, так и в условиях производственной среды. Значительный контингент работающих по роду своей деятельности непосредственно связан с экстремальным тепловым воздействием. Прежде всего это относится к работникам металлургической, химической, угольной и горнорудной промышленности. С экстремальными температурами связана деятельность пожарных и горноспасателей. От эффективности их работы зачастую зависит жизнь и здоровье многих людей. Действие высокой температуры, как правило, дополняется интенсивной физической работой, что усугубляет неблагоприятное воздействие среды на функциональное состояние человека и его здоровье.

Проблема действия высокой температуры на организм человека является предметом интенсивного изучения в работах крупных отечественных и зарубежных ученых (Ф.Н.Ажаев, Р.Ф.Афанасьева, С.А.Брандис, К.П.Иванов, В.С.Кошечев, Е.И.Кузнец, В.А.Максимович, А.О.Навакати-кян, Ф.Ф.Султанов, А.С.Burton, Т.Н.Benzinger, J.D.Hardy, L.B.Rowell и др.). В последние 10-15 лет были раскрыты фундаментальные механизмы приспособления организма к высокой температуре. Вместе с тем проблема реакции его на эрготермическую нагрузку и по настоящее время интенсивно исследуется. Прежде всего, это связано с разработкой индивидуальных средств противотепловой защиты. Специалистами в области гигиены труда предложены многочисленные варианты такого рода СИЗ. Однако, характер и условия деятельности горноспасательной службы требует особого подхода, в связи с чем фактически все разработки, описанные в литературе, трудно применимы к данному виду трудовой деятельности. Остается далеко неясной реакция организма на эрготермическую нагрузку при 100 % относительной влажности. Названный

аспект данной проблемы требует особого изучения, так как практически всегда деятельность горноспасателей связана с интенсивной физической работой в условиях высокой влажности.

Вторая крупная проблема, возникающая в связи с характером трудовой деятельности горноспасателей, обусловлена необходимостью разработки и научного обоснования методов выведения человека из предельного теплового состояния (ПТС). Несмотря на ряд имеющихся разработок, данная проблема еще далеко не разрешена и нуждается в изучении.

Таким образом, практика горноспасательного дела ставит целый ряд проблем медико-биологического характера, с решением которых в большой мере связана безопасность труда значительного контингента рабочих угольной и горнодобывающей промышленности.

Цель и задачи исследования. Целью работы является изучение влияния гипертермической нагрузки различной интенсивности при 100 % относительной влажности воздуха на функциональное состояние организма и изучение различных вариантов локального охлаждения для выведения человека из ПТС в условиях нагревающего микроклимата (НМ).

В связи с поставленной целью работы были определены следующие задачи: изучить закономерности реакции основных физиологических систем испытуемых-добровольцев (ИД) при эрготермической нагрузке в диапазоне температур 27-60 °С и 100 % относительной влажности воздуха;

определить особенности функционального состояния организма при достижении им ПТС после эрготермической нагрузки в зависимости от нагревающей силы микроклимата;

оценить эффективность предложенных вариантов локального охлаждения человека, находящегося в состоянии выраженной гипертермии в условиях НМ.

Теоретическое значение и научная новизна. В работе впервые проведена сравнительная комплексная оценка основных функциональных систем организма, подвергающегося эрготермической нагрузке при 100 % относительной влажности воздуха в широком диапазоне температур (от 27 до 60 °C);

установлено, что физическая работа в таких микроклиматических условиях вызывает линейно нарастающую гипертермию независимо от интенсивности эрготермической нагрузки. Хронотропная функция сердца, пульсовое давление (ПД), ударный (УО) и минутный (МО) объемы сердца также изменяются по закону близкому к линейному; между средней температурой тела (СТТ) и средневзвешенной температурой кожи (СВТК) при разных температурах среды существуют сложные отношения, описываемые принципиально различными зависимостями;

показано, что относительная цена эрготермической нагрузки в разных температурных диапазонах существенно отличается; при равной степени гипертермии функциональное напряжение организма возрастает с увеличением абсолютного значения температуры среды;

одновременное охлаждение головы, каротидных зон шеи, груди, спины, дистальных отделов верхних и нижних конечностей в течение 30-35 мин при температуре воздушной прослойки между хладгентом и поверхностью кожи 3-6 °C эффективно выводит человека, пребывающего в условиях НМ из ПТС.

Практическая значимость. I. На основании комплексного изучения функционального состояния горноспасателей в условиях экстремальной эрготермической нагрузки, а также исследования возможности и эффективности выведения их из ПТС предложены комплекты с оптимальным характером расположения панелей локального охлаждения, позволяющие в быстрые сроки нормализовать тепловое состояние человека в условиях НМ на фоне выраженной гипертермии.

2. Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования закономерностей влияния эрготермической нагрузки и механизмов действия локального охлаждения, использованы при разработке комплектов экстренного охлаждения (КЭО), которыми оснащены оперативные подразделения Государственной горноспасательной службы (ГВГСС).

3. Результаты исследований учтены при разработке "Общих требований к противотепловым средствам индивидуальной защиты и методов испытаний", согласованных с Минуглепромом СССР и утвержденных Минздравом СССР.

4. На основании экспериментальных данных разработаны противотепловые костюмы коактивно-радиационного теплосъема типа "ТК-60" и "ПТК-80", выпускаемые НПО "Респиратор" и переданные в оперативные подразделения ГВГСС для эксплуатации.

Основные положения, выносимые на защиту: в условиях 100 % относительной влажности, независимо от окружающей температуры (27-60°С), эрготермическая нагрузка сопровождается реакциями со стороны основных функциональных систем организма, значительно отличающимися от реакций, наблюдаемых при влажности низкого уровня;

при равной степени гипертермии функциональное напряжение организма возрастает с увеличением абсолютного значения температуры среды;

предложенная локализация и интенсивность охлаждения организма в условиях ИМ эффективны для восстановления температурного гомеостаза, центральной и региональной гемодинамики.

Апробация диссертации. Материалы диссертации были доложены и обсуждены на:

Всесоюзной конференции "Разработка средств противотепловой защиты для работников химической промышленности и методов их оценки", состоявшейся в октябре 1986 г. в Северодонецке;

Всесоюзной конференции "Физиология экстремальных состояний и индивидуальная защита человека", состоявшейся в декабре 1986 г. в Москве;

Всесоюзном симпозиуме "Физиологическое нормирование труда", состоявшемся в сентябре 1989 г. в Донецке;

Всесоюзной конференции "Экстремальная физиология, гигиена и средства индивидуальной защиты человека", состоявшейся в сентябре 1990 г. в Москве.

Личный вклад автора в получении научных результатов, изложенных в диссертации, состоит в том, что под его руководством и личном участии проведены теоретические, информационные и экспериментальные исследования. По их результатам автором разработаны аналитические зависимости динамики физиологических параметров, характеризующих изменения теплового состояния и сердечно-сосудистой системы под воздействием эрготермической нагрузки, а также аналитические зависимости между отдельными физиологическими показателями. Автором предложены несколько вариантов расположения панелей при локальном охлаждении человека; с его участием проведено изучение эффективности разных вариантов локального охлаждения и предложен научно обоснованный вариант КЭО. Процессы восстановления температурного гомеостаза при его нарушении у человека описаны соискателем уравнениями регрессии.

Объем и структура диссертации. Работа изложена на 163 страницах машинописи, состоит из введения, обзора литературы, описания результатов экспериментов, их обсуждения и выводов, содержит 36 таблиц, 17 рисунков и список литературы из 216 источников.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследованиях приняло участие 12 ИД, имеющих опыт работы в кислородных изолирующих респираторах при высоких температурах окружающей среды. К испытаниям допускались мужчины с высоким уровнем тепловой устойчивости, определяемой в соответствии с "Методическими рекомендациями по испытанию тепловой устойчивости горноспасателей" одобренными Бюро Президиума ученого медицинского совета МЗ УССР 15 сентября 1981 г. (протокол N 23). Состояние здоровья ИД полностью соответствовало требованиям, изложенным в Приказе Министра здравоохранения СССР N 700 от 14.06.1984 г.

В число ИД вошли мужчины в возрасте 26 ± 2 года, массой тела $79 \pm 2,3$ кг, ростом 178 ± 2 см. Исследования проводились в тепловой камере объемом 50 м^3 с автоматическим регулированием показателей микроклимата.

Для исследования функционального состояния ИД применялись следующие методы.

Термометрия. Измерение ректальной температуры (T_p) цифровым электронным термометром ТЭМЦ-1; аксиллярной температуры медицинским ртутным термометром; температуры поверхности кожи в области лба, груди, спины, предплечья, бедра, голени, стопы контактными термодатчиками 12-ти канальной цифровой термостанции; температуры поверхности кожи в 35 точках безконтактным методом с помощью медицинского пирометра (Pyrovar). Погрешность регистрации температур во всех методах составляла $\pm 0,1$ °C. По данным измерения T_p и температур кожи (T_k) рассчитывалась СВТК, СТТ и теплосодержание организма (Q).

Показатели деятельности сердечно-сосудистой системы (ССС).

Пульсометрия - частоту сердечных сокращений (ЧСС) определяли регистрацией электрокардиосигнала с помощью электрокардиографа

ЭЛКАР-4. Артериальное давление систолическое (AD_c) и диастолическое (AD_d) измеряли по методу Короткова. Пульсовое давление (ПД), УО, МО, рассчитывали общепринятыми методами.

Реограммы регистрировали в четырех отведениях с помощью тетраполярного реоплетизмографа РПГ-2-02. Графическую регистрацию объемной кривой реограмм проводили на втором и дифференциальной кривой - на третьем канале электрокардиографа ЭЛКАР-4. На первом канале записывали электрокардиограмму во втором стандартном отведении. Запись реоэнцефалограммы (РЭГ) проводили в правом фронтотастоидальном отведении. Рассчитывали амплитудно-частотный показатель (АЧП), среднюю скорость медленного кровенаполнения (V_{cp}), максимальную скорость быстрого кровенаполнения (V_{max}), время максимального систолического наполнения сосудов, отнесенное к длительности сердечного цикла (T_d), длительность нисходящей части РЭГ по отношению к длительности сердечного цикла (ВО). Регистрацию тетраполярной реограммы грудной клетки (РГК), реовазограммы предплечья (РВП) и реовазограммы голени (РВГ) проводили с целью определения тех же показателей региональной гемодинамики, что и при записи РЭГ.

Мышечную силу (МС) и выносливость к статическому усилию определяли динамометром Подоби. Выносливость определяли путем измерения времени сжатия ручек динамометра с силой, равной $3/4$ от максимального усилия, регистрируемого при определении мышечной силы. Время регистрировали с помощью секундомера до момента снижения удерживаемого уровня более, чем на 40 Н. Импульс мышечной силы (I_{MC}) рассчитывали умножением величины силы (в кг) на время удержания усилия (в с).

Потерю массы тела рассчитывали по результатам взвешивания ИД на медицинских весах с погрешностью ± 50 г.

Субъективную оценку теплосощущений в 12-ти областях тела и общее теплосощущение определяли путем опроса по 21-балльной шкале.

В первой серии экспериментов изучали реакции организма на воздействие эрготермической нагрузки при температурах $(27/27)^{\circ}\text{C}$ (соответственно показания "сухого" и "влажного" термометров); $(35/35)^{\circ}\text{C}$; $(40/40)^{\circ}\text{C}$; $(50/50)^{\circ}\text{C}$; $(60/50)^{\circ}\text{C}$ и $(60/60)^{\circ}\text{C}$.

После предварительного медицинского освидетельствования у каждого ИД измеряли аксиллярную температуру, ЧСС, АД, МС, $I_{\text{МС}}$, массу тела. После этого на нем фиксировали датчики и надевали спецодежду для горнорабочих глубоких горизонтов (ТУ 17-08-169-83), обували в кирзовые сапоги, надевали шахтерскую каску и брезентовые рукавицы.

ИД заходил в тепловую камеру и начинал выполнять степ-тест, поднимаясь на ступеньку высотой 20 см в ритме 15 циклов в минуту. Через каждые 5 мин работы и в конце периодов отдыха регистрировали ЧСС, T_{p}° , $T_{\text{к}}^{\circ}$. После 10 мин работы проводили опрос о теплосощущениях и предоставляли ИД 5-минутный отдых сидя. Затем ИД 10 мин работал на вертикальном эргометре, опуская и поднимая груз массой 10 кг на высоту 120 см в ритме 15 циклов в минуту. После опроса и 5-минутного отдыха сидя, он за 10 мин переносил 80 объектов массой 3,5 кг каждый на расстояние 185 см. Работа прекращалась при достижении $T_{\text{p}}^{\circ} 38,7^{\circ}\text{C}$, ЧСС - 170 мин^{-1} , или по субъективным причинам (перегрев). После выхода из тепловой камеры у ИД регистрировали те же показатели, что и в исходном состоянии.

Во второй серии исследований изучали влияние охлаждения различной локализации и интенсивности на функциональное состояние, предварительно перегретого до ГТС организма. Исходные показатели снимали как и в первой серии. Дополнительно регистрировали пирометром температуру кожи в 35 точках и реограмму в четырех отведениях. После этого ИД в тепловой камере при температуре $(40/40)^{\circ}\text{C}$ подвергали эрготермической нагрузке аналогично той, что была в первой серии. Кроме вышеуказанных показателей в первые минуты отдыха дополнительно

но регистрировали реограмму.

После достижения ПТС ИД, не выходя из тепловой камеры, подвергался воздействию локального охлаждения. Первый вариант (КЭО-1) размещения водолеяных охлаждающих элементов (ОЭ) с общим запасом холода 1140 кДж, предусматривал охлаждение головы, надгрудинной и межлопаточной областей, дистальных отделов верхних и нижних конечностей. В данном варианте ОЭ контактировали непосредственно с поверхностью кожи. Вторым вариантом охлаждения (КЭО-2) отличался от первого тем, что ОЭ отделялись воздушной прослойкой толщиной 5 мм от поверхности кожи посредством дистанционных упоров. Третий вариант (КЭО-3) отличался от второго заменой панелей охлаждения нагрудинной и межлопаточной областей на разработанную нами и выпускаемую серийно противотепловую куртку ТК-50, охлаждающую (полностью) поверхности спины и груди через воздушную прослойку. Четвертый вариант (КЭО-4) предусматривал использование только куртки ТК-50.

После размещения на ИД панелей охлаждения он оставался в тепловой камере в течение 40 мин. Через каждые 5 мин регистрировали ЧСС и T_p° , а через каждые 10 мин - температуру кожи, реограмму, проводили опрос о самочувствии и теплоощущениях. После выхода из тепловой камеры регистрировали те же показатели, что и в исходном состоянии. Каждый ИД для сравнения опробовал все четыре варианта охлаждения по вышеизложенной методике.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования влияния на функциональное состояние организма повышенных и экстремальных температур при высоких уровнях влажности и физических нагрузках позволили установить зависимости динамики исследуемых физиологических показателей от времени и нагревающей силы микроклимата. При 100 % относительной влажности воздуха время работы (τ) в зоне высоких температур (ЗВТ) до достижения организмом ПТС при прочих равных условиях зависит от нагревающей силы микроклимата и описывается уравнением регрессии :

$$\tau = 280,4 - 5,4 T \text{ °камеры.}$$

Доминирующее влияние влажности окружающего микроклимата на время достижения ПТС подтверждается нашими экспериментальными данными о статистически индентичном времени работы ИД при температурах (50/50) °С и (60/50) °С, равном 22-26 мин. При температуре (60/60) °С проведено лишь три эксперимента, в которых уже с первых минут пребывания в тепловой камере на участках тела, не закрытых одеждой, ощущалось жжение, а через 5-6 мин термического воздействия отмечались признаки ожогов I степени, в связи с чем дальнейшие исследования в таких микроклиматических условиях не проводились.

Регрессионный анализ зависимости T_p° от времени воздействия эрготермической нагрузки (τ) в различных микроклиматических условиях показал линейную связь (коэффициент меры линейности - $t_{\gamma} < 2,5$) между этими показателями при следующих значениях температур:

(27/27)°С	$T_p^{\circ} = 36,9 + 0,008\tau,$	$r = 0,72 \pm 0,040;$
(35/35)°С	$T_p^{\circ} = 36,8 + 0,020\tau,$	$r = 0,91 \pm 0,018;$
(40/40)°С	$T_p^{\circ} = 36,9 + 0,030\tau,$	$r = 0,91 \pm 0,021;$
(50/50)°С	$T_p^{\circ} = 36,8 + 0,070\tau,$	$r = 0,90 \pm 0,035;$
(60/50)°С	$T_p^{\circ} = 36,7 + 0,060\tau,$	$r = 0,87 \pm 0,043,$

где r - коэффициент корреляции между исследуемыми показателями.

Анализ средней скорости прироста T_p° , отнесенной к 1°C повышения температуры в тепловой камере, показал экспоненциальное возрастание "гипертермической силы" окружающей среды при линейном повышении ее температуры. Сопоставление динамики (T_K°) в опытах показало, что она зависит как от величины эрготермической нагрузки, так и от топографии замеров. Например, при температуре в камере $(60/50)^\circ\text{C}$ T -предплечья изменялась со скоростью $(0,435 \pm 0,011)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и к концу опыта повышалась на $(8,7 \pm 0,23)^\circ\text{C}$, а T° лба - $(0,300 \pm 0,007)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и $(6,0 \pm 0,14)^\circ\text{C}$ соответственно. Абсолютное значение и темп роста СВТК зависят от нагревающей силы среды. Так, при температуре в камере $(27/27)^\circ\text{C}$ СВТК повышалась со скоростью $(0,028 \pm 0,009)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и к 140 мин термического воздействия достигала значения $(38,2 \pm 0,14)^\circ\text{C}$, а при $(60/50)^\circ\text{C}$ скорость ее прироста была больше в 13 раз и составляла $(0,37 \pm 0,013)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$, поднимаясь за 26 мин до $(41,2 \pm 0,40)^\circ\text{C}$. Обращает на себя внимание факт отсутствия достоверных различий между динамикой повышения СВТК в опытах при температурах в камере $(50/50)^\circ\text{C}$ и $(60/50)^\circ\text{C}$, что подтверждает большое влияние влажности воздуха на нагревающую силу микроклимата.

Характер динамики СТТ за период воздействия эрготермической нагрузки зависит также от ее интенсивности. При температуре в камере $(27/27)^\circ\text{C}$ скорость прироста СТТ составляет $(0,011 \pm 0,0001)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и к 140 мин достигает значения $(37,9 \pm 0,12)^\circ\text{C}$; а при температуре $(50/50)^\circ\text{C}$ в 8 раз быстрее - $(0,09 \pm 0,01)^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ и уже к 20 мин она достигает предельных значений - $(38,3 \pm 0,08)^\circ\text{C}$.

Уровень (Q) в процессе воздействия эрготермической нагрузки представляет особый интерес в связи с тем, что по данным К.П.Иванова (1990) именно этот показатель является предметом регуляции в терморегуляторной системе. Повышение этого показателя до $134,1 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ по данным К.П.Иванова (1994), В.С.Кощеева и Е.И.Кузнецца (1986), яв-

ляется предельно допустимым. При температурах (35/35)°C и выше (Q) организма каждого ИД в наших опытах достигает указанных значений, а скорость его повышения увеличивается от (0,038±0,004) кДж·мин⁻¹ при температуре в камере (27/27)°C до (0,38±0,005) кДж·мин⁻¹ при (50/50)°C.

Градиент ($\Delta T^\circ = (CBTK - CTT)$) характеризует перенос тепла из органов и тканей во внешнюю среду. Зависимость его от T° камеры носит линейный характер:

$$\Delta T^\circ = 0,114 \cdot T^\circ_{\text{камеры}} - 3,0$$

и отражает степень напряжения терморегуляторных систем в диапазоне окружающих температур (27-50)°C при 100 % относительной влажности воздуха. Анализ зависимости CTT от CBTK при различной нагревающей силе внешней среды показал, что при относительно низких температурах среды она линейна, а с переходом в область экстремальных температур приобретает логарифмическую зависимость. В этих условиях после повышения CBTK свыше 38,0 °C ее влияние на величину CTT резко возрастает.

В терморегуляции организма при работе в условиях высоких температур и 100 % относительной влажности воздуха важное значение играет ЧСС. Интегральный показатель ее деятельности - ЧСС - в процессе эрготермической нагрузки меняется волнообразно, что связано с чередованием периодов работы и отдыха. Исследования показали, что при температурах среды 27°C, 35°C, 40°C и 50°C средний размах колебаний ЧСС равен (32,0±3,2) мин⁻¹, (34,0±4,1) мин⁻¹, (44,8±3,6) мин⁻¹ и (51,5±4,5) мин⁻¹. Следовательно, с увеличением температуры окружающей среды "цена" физической работы неуклонно возрастает. После сглаживания колебания изменения ЧСС от t в общем виде могут быть описаны линейными уравнениями регрессии, что дает представление о динамике этого показателя при различных микроклиматических

условиях:

(27/27)°C	ЧСС= 0,241τ+81,5;
(35/35)°C	ЧСС= 0,569τ+86,5;
(40/40)°C	ЧСС= 1,386τ+83,9;
(50/50)°C	ЧСС= 2,670τ+92,7.

Как следует из анализа коэффициентов регрессии, степень зависимости ЧСС от времени воздействия эрготермической нагрузки при повышении температуры с 27 до 50°C возрастает в II раз. Реакции ССС на действие эрготермической нагрузки характеризуются также изменением АД_с, АД_д, ПД, УО и МО. Экспериментально обнаружено статистически значимое увеличение АД_с и уменьшение АД_д, увеличение ПД, УО и МО после работы в ЗВТ. Установлено, что равноценная гипертермия (повышение T_p° во всех экспериментах до 38,5 °C) вызывает различное напряжение функций ССС. Например, при 27°C АД_с повышается на (23±6) мм рт.ст.; при 35°C - на (26±7) мм рт.ст.; при 40°C - на (32±9) мм рт.ст.; при 50°C - на (40±8) мм рт.ст. Это указывает на различную "цену" эрготермической нагрузки при одинаковой гипертермии в разных диапазонах температур окружающей среды. Подтверждение этого правила мы находим, анализируя уравнения регрессии, описывающие зависимости изменений исследуемых показателей за период работы от температуры тепловой камеры (T°_{тк}):

$$\begin{aligned} \text{ПД (мм рт.ст.)} &= 1,92 \cdot T^{\circ}\text{тк} + 5,64; \\ \text{УО (мл)} &= 0,89 \cdot T^{\circ}\text{тк} + 57,70; \\ \text{МО (мл)} &= 18,00 \cdot 1g T^{\circ}\text{тк} - 17,70. \end{aligned}$$

Анализ изменения показателей, характеризующих нервно-мышечную усталость (МС и Имс) также подтвердил вывод о различной физиологической реакции в ответ на равнозначное накопление тепла организмом при различной нагревающей силе окружающей среды. Так при (40/40)°C

Имс снижается на 21 % ($P < 0,05$); при $(50/50)^{\circ}\text{C}$ - на 35 % ($P < 0,05$), а при $(60/50)^{\circ}\text{C}$ на 41 % ($P < 0,05$).

На втором этапе исследований ИД выполняли в течение 40-50 мин работу при температуре $(40/40)^{\circ}\text{C}$. При этом физиологические показатели ($T^{\circ}\text{p}$, СВТК, СТТ, Q, ЧСС) достигали предельных значений, регламентируемых нормами Минздрава; сглаживались проксимально-дистальные градиенты температуры, разница в температуре "ядра" и "оболочки" тела.

Данные реографии показали существенные изменения со стороны региональной гемодинамики. Общий кровоток через сосуды бассейна сонной артерии, омывающие большие полушария головного мозга, увеличивался в три раза, а кровоток через мелкие и средние сосуды - в два раза. Это особенно важно, так как именно с мелкими сосудами связана степень (эффективность) доставки кислорода и удаления метаболитов из тканей головного мозга. В меньшей степени возрастает кровоток через органы грудной клетки и предплечья, а через мелкие сосуды голени он уменьшается в три раза, что объяснимо стремлением организма в критической ситуации обеспечить кислородом "более важные" органы и ткани, иногда даже за счет периферии. Эрготермическая нагрузка вызывает повышение тонуса сосудов головного мозга (по показателю T_{α}) на 64 % ($P < 0,05$), а грудной клетки и голени - на $(60-100)$ % ($P < 0,05$), что свидетельствует о выраженном влиянии симпатического отдела вегетативной нервной системы на сосудистую реактивность. Во всех исследуемых областях венозный отток (показатель V_0) улучшается. Лишь в области предплечья не отмечено статистически достоверных его изменений.

При достижении ПТС, когда ИД ощущали "жару", сердцебиение, слабость, головокружение и другие признаки перегрева, не выводя из камеры, их начинали охлаждать с помощью одного из вариантов КЭО, опи-

санных выше. Уже в первые пять мин после начала охлаждения ИД ощущали существенное облегчение, наиболее выраженное при использовании КЭО-3. Общее теплоощущение ими расценивалось, как "тепловой комфорт", а к 40 мин охлаждения - "прохлада". Наименее выраженное нормализующее действие отмечено при охлаждении КЭО-4, когда до конца охлаждения ИД ощущали "легкое тепло".

Объективно $T^{\circ}p$ в первые минуты охлаждения продолжала расти - например, при использовании КЭО-2 - на $(0,4 \pm 0,12)^{\circ}C$ ($P < 0,05$), а затем понижалась. Динамика ее описана уравнениями регрессии:

$$T^{\circ}p = 33,8t - 0,017, \quad r = -0,48 \pm 0,11 \quad (\text{КЭО-1});$$

$$T^{\circ}p = 33,8t - 0,012, \quad r = -0,45 \pm 0,12 \quad (\text{КЭО-2});$$

$$T^{\circ}p = 39,0t - 0,310, \quad r = -0,73 \pm 0,07 \quad (\text{КЭО-3});$$

$$T^{\circ}p = 33,9t - 0,020, \quad r = -0,69 \pm 0,08 \quad (\text{КЭО-4}).$$

Сопоставление коэффициентов регрессии показало, что при охлаждении КЭО-3 он был статистически достоверно выше на (50-280) % ($P < 0,05$) по сравнению с другими - то есть наиболее эффективен КЭО-3. Такие же закономерности отмечены при анализе динамики Q . Они описываются уравнениями регрессии:

$$Q = 32,2t - 0,024, \quad r = -0,65 \pm 0,09 \quad (\text{КЭО-1});$$

$$Q = 32,1t - 0,010, \quad r = -0,74 \pm 0,07 \quad (\text{КЭО-2});$$

$$Q = 32,3t - 0,040, \quad r = -0,63 \pm 0,09 \quad (\text{КЭО-3});$$

$$Q = 32,2t - 0,026, \quad r = -0,62 \pm 0,08 \quad (\text{КЭО-4}).$$

После начала охлаждения СВТК сразу же понижалась. Наиболее выраженный эффект отмечен при использовании КЭО-3, что видно из уравнений регрессии:

$$\text{СВТК} = 37,9t - 0,043, \quad r = -0,76 \pm 0,07 \quad (\text{КЭО-1});$$

$$\text{СВТК} = 37,8t - 0,060, \quad r = -0,78 \pm 0,08 \quad (\text{КЭО-2});$$

$$\text{СВТК} = 37,9t - 0,073, \quad r = -0,69 \pm 0,07 \quad (\text{КЭО-3});$$

$$\text{СВТК} = 37,9t - 0,058, \quad r = -0,63 \pm 0,09 \quad (\text{КЭО-4}).$$

Анализ термотопографических картин поверхности кожи, полученных контактным и пирометрическим методами, показал, что наибольшие изменения наблюдаются при использовании КЭО-1. Так, T° голени снижалась статистически достоверно на $(12,6 \pm 1,6)^{\circ}\text{C}$ по сравнению с той, что наблюдалась до воздействия эрготермической нагрузки, T° груди - на $(10,6 \pm 3,8)^{\circ}\text{C}$, T° спины - на $(6,6 \pm 3,8)^{\circ}\text{C}$. При использовании других вариантов КЭО изменения были существенно меньшими.

Охлаждение организма способствовало нормализации ЧСС; при охлаждении КЭО-3 она снижалась на (41 ± 3) мин⁻¹, а другими КЭО - на $(22-33)$ мин⁻¹. При использовании всех вариантов КЭО за период охлаждения до исходных величин восстанавливались АД_с и АД_д. Реографические исследования показали нормализующее влияние охлаждения на региональную гемодинамику. Особенно эффективным было охлаждение головы. При использовании КЭО-1 уже с 10-й минуты, а КЭО-2 и КЭО-3 с 15-20 мин объем кровотока и скорость протекания крови по мелким и крупным сосудам, а также венозный отток нормализовались. К концу охлаждения они снова увеличивались, что связано с сохранением температурного гомеостаза головного мозга и защитой его от переохлаждения. Наши исследования согласуются с данными S.A. Nunnely (1971) об отсутствии сосудосуживающей иннервации сосудов поверхности головы и, как следствие, высокой эффективности ее интенсивного охлаждения. Гемодинамика органов грудной клетки при использовании КЭО-2 и КЭО-3 восстанавливалась уже к 10 мин, а КЭО-1 и КЭО-4 - к 40 мин охлаждения. Восстанавливалась также гемодинамика в области предплечья, за исключением опытов с применением КЭО-2, когда АЧП оставался выше на $(0,302 \pm 0,13)$ с⁻¹ ($P < 0,05$) его исходного значения и КЭО-4, когда T_{α} был выше на $(5,7 \pm 1,47)$ % ($P < 0,05$) от нормы, а VO - выше на $(5,0 \pm 1,7)$ % ($P < 0,05$). Кровоток в области голени во всех вариантах КЭО также претерпевал положительные изменения с определен-

ными приспособительными особенностями.

Влагодотери организма и накопление нервно-мышечной усталости были наименьшими при использовании КЭО-3.

Следовательно, при сравнительной оценке различных вариантов локального охлаждения, применяемых для выведения человека из ПТС, экспериментально подтвердились теоретические предпосылки об эффективности охлаждения головы, каротидных зон шеи, дистальных отделов верхних и нижних конечностей, груди и спины.

ВЫВОДЫ

1. Характер нарушения температурного гомеостаза человека при эрготермической нагрузке в условиях 100 % относительной влажности в диапазоне температур от 27 до 50°С имеет ряд особенностей: скорость развития гипертермии (по показателям $T^{\circ}p$ и СТТ) описывается линейными уравнениями регрессии при возрастании до 10 раз коэффициента регрессии; изменение других показателей гомеостаза (СВТК, Q, ΔT°) с ростом интенсивности эрготермической нагрузки носит нелинейный характер; при повышении температуры среды с 27 °С до 35 °С, 40 °С и 50°С время достижения ПТС при эрготермической нагрузке равной интенсивности убывает соответственно на 39 %, 66 % и 84 %.

2. Относительная "гипертермическая сила" среды на разных участках температурной шкалы неоднородна и нарастает с повышением температуры камеры. Показано, что при увеличении температуры воздуха на каждый градус в диапазонах (27-35)°С, (35-40)°С и (40-50)°С при 100 % относительной влажности скорость развития гипертермии в организме человека возрастает соответственно с (0,0015 до 0,002 и 0,004) °С·мин⁻¹.

3. В условиях 100 % относительной влажности между интенсивностью эрготермической нагрузки и выраженностью хронотропной функции сердца, УО, МО, величинами АД и Фанника соответствует выраженная линей-

ная зависимость; такая же зависимость имеет место и со стороны ЧСС в ходе развития гипертермии (до $38,6^{\circ}\text{C}$) в широком диапазоне температур среды (от 27 до 50) $^{\circ}\text{C}$. Эрготермическая нагрузка (40 $^{\circ}\text{C}$) вызывает существенное (в 2-3 раза) увеличение объемного кровотока в сосудах головного мозга, скорости движения крови по мелким и крупным сосудам, их тонуса; изменения в сосудах других регионов тела менее выражены, а в регионах нижних конечностей имеют противоположную направленность.

4. Относительная физиологическая "цена" эрготермической нагрузки в разных участках температурной шкалы (27, 35, 40 и 50) $^{\circ}\text{C}$ существенно отличается при равной степени гипертермии - абсолютная величина изменения хронотропной функции сердца, AD_C , $\text{AD}_\text{д}$, ПД, УО, МО тем выше, чем выше температура окружающей среды.

5. В условиях НМ локальное охлаждение тела человека, пребывающего в ПТС, позволяет быстро восстановить температурный гомеостаз. Установлено, что процесс восстановления T_p° , СВТК, СТТ, Q проходит по закону, близкому к линейному, а его скорость определяется локализацией панелей охлаждения на поверхности тела.

6. Локальное охлаждение разных участков тела человека (голова, груди, спины, дистальных отделов верхних и нижних конечностей), находящегося в состоянии выраженной гипертермии, способствует быстрой (от 10 до 35 мин в зависимости от варианта КЭО) нормализации хронотропной функции сердца, объемной скорости кровотока, скорости движения крови по крупным и мелким сосудам и их тонуса; применение КЭО, включающих гипотермический шлем, эффективно и в короткие сроки (до 10 мин) способствует восстановлению всех важнейших показателей церебральной гемодинамики. Установлено, что эффективность положительного действия локального охлаждения на кровообращение в решающей мере зависит от интенсивности теплосъема - наименее рациональным

является теплосъем при прямом контакте панелей охлаждения с поверхностью кожи.

7. На основании комплексного изучения функционального состояния человека в условиях экстремальной эрготермической нагрузки, а также исследований возможности и эффективности выведения его из ПТО предложены варианты КЭО с оптимальным характером интенсивности охлаждения и распределения панелей локального охлаждения на поверхности тела, позволяющие быстро нормализовать тепловое и функциональное состояние организма в условиях НМ; результаты использованы при изготовлении КЭО горноспасателей и горнорабочих, которые применяются в настоящее время в практике горноспасательного дела.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Петулько В.А., Простов Н.И., Землянский И.Я., Исакин А.Ф., Чиркунов В.Н., Юдицкий В.Д. Критерии, ограничивающие время работы в некоторых средствах защиты от тепла // Физиология экстремальных состояний и индивидуальная защита человека: Тез. докл. 2 Всесоюз. конф., Москва, 2-3 дек., 1986 г. - М., 1986. - С. 156.

2. Петулько В.А., Исакин А.Ф., Кочетовский Ю.Б., Землянский И.Я., Новикова Р.М. Физиологическое нормирование времени работы горноспасателей в спецодежде и противотепловых куртках ТК-50 в условиях нагревающего микроклимата // Физиологическое нормирование труда: Тезисы докл. 2 Всесоюз. конф., Донецк, 14-16 дек., 1989 г. - Донецк, 1989. - С. 275-276.

3. Макарец В.И., Заболотный В.Н., Аладышева Л.В., Израелян Ю.И., Чеканина Т.М., Петулько В.А. Функциональные сдвиги в организме горноспасателей после работы в СИЗ органов дыхания в условиях высокой температуры // Физиологическое нормирование труда: Тезисы докл. 2 Всесоюз. конф., Донецк, 14-16 дек., 1989. - Донецк, 1989 г. - С. 248-250.

4. Петулько В.А., Исакин А.Ф., Кочетовский Ю.Б., Землянский И.Я. Терморегуляторные реакции человека при мышечной деятельности в условиях нагревающего микроклимата и локального охлаждения организма // Терморегуляция и спорт (теоретические и практические аспекты терморегуляции при мышечной деятельности): Тезисы докл. 2 Всесоюз. конф., Москва, 14-16 ноября 1989 г. - М., 1989. - С. 55-56.

5. Петулько В.А., Голдынский Г.Г., Кочетовский Ю.Б., Землянский И.Я., Новикова Р.М. Выведение человека из предельного теплового состояния с помощью локального охлаждения // Экстремальная физиология, гигиена и средства индивидуальной защиты человека: Тезисы докл. 3 Всесоюз. конф., Москва, 25-27 сент., 1990 г. - М., - 1990. - С. 549-550.

6. Зрелый Н.Д., Рыбалко А.П., Землянский И.Я., Исакин А.Ф., Макаревич В.И., Карпекин В.В., Кочетовский Ю.Б., Петулько В.А., Поталова Р.А., Горещкий О.С., Ковалев С.А., Солдак И.И., Кошечев В.С., Райхман С.П., Кундиев Ю.И., Шлейфман С.М., Афанасьева Р.М., Заболотный В.Н. Общие требования к противотепловым средствам индивидуальной защиты горноспасателей и методы испытаний: Утв. Минуглепромом СССР 08.12.89. - Донецк: Облпрофиздат, 1989. - 12 с.

7. Солонин Ю.Г., Простов Н.И., Чиркунов В.Н., Аверин Ю.Ф., Дутов В.И., Исакин А.Ф., Петулько В.А., Землянский И.Я. Динамика показателей теплового состояния человека при перегревающих воздействиях // Авиакосмическая и экологическая медицина. - 1992, - № 5-6. - С. 64-68.

8. А.с. 1403421 СССР, МКИ А62В17/00. Костюм для защиты человека от высокотемпературных воздействий / Голдынский Г.Г., Рыбалко А.П., Петулько В.А. (СССР); ВНИИГД. - № 4148236 / 40-23; Заявл. 17.11.86.

9. А.с. 1593623 СССР, МКИ (51) БА 61В 5/00. Способ определения теплового состояния человека / Землянский И.Я., Петулько В.А.,

Исакин А.Ф., Пронькин В.Т. (СССР); ВНИИГД. - N 4289589/30-14; Заявл. 24.07.87; Оpubл. 23.09.90; Бюлл. N 35. - С. II.

10. А.с. I562999 СССР, МКИ Б1 (2) А62В I7/00. Устройство для охлаждения головы человека /Синельников В.Я., Петулько В.А., Марийчук И.Ф., Кочетовский Ю.Б., Вольский В.А. (СССР); ВНИИГД. - N 4227216/40-23; Заявл. 10.04.87; Оpubл. 07.05.90. Бюлл. N 17. - С. 271.

11. А.с. I736397 СССР, МКИ (Б1) Б А41D I3/08. Рукавица /Голдынский Г.Г., Петулько В.А., Заболотный В.Н., Волков Р.Х. (СССР); ВНИИГД. - N 483339/12; Заявл. 23.04.90; Оpubл. 30.05.92; Бюлл. N 20.

12. Пат. 4712 Украина, МКИ А61F 7/00. Способ оказания помощи при тепловом поражении человека /Голдынский Г.Г., Петулько В.А. Заболотный В.Н. (Украина); НИИГД (Украина). - N 94240432; Заявл. 22.04.91 (SU).

Petulko V.A. Effect of hyperthermal load and local cooling on functional state of organism.

Thesis for submitting an academic degree of candidate of biological science on speciality 03.00.13 - physiology of human being and animals, Research Institute of Mine Rescue Work, Donetsk, 1995.

Seven scientific works and five author's certificates are submitted in which an account of mechanisms of influence of hyperthermia and local cooling on functional state of a human being under conditions of heating microclimate are given. Quantitative characteristics of "hyperthermal force" of microclimate conditions under study and analytical relationships of values being determined are set forth.

Key words: hyperthermia, local cooling, physiological reactions of an organism.

Петулько В.А. Влияние гипертермической нагрузки и локального охлаждения на функциональное состояние организма.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.13 - физиология человека и животных, НИИ горноспасательного дела, Донецк, 1995.

Защищается 7 научных работ и 5 авторских свидетельств, в которых изложены закономерности влияния гипертермии и локального охлаждения на функциональное состояние человека, пребывающего в условиях нагревающего микроклимата. Изложены количественные характеристики "гипертермической силы" исследуемых микроклиматических условий и аналитические зависимости определяемых показателей.

Ключевые слова: гипертермия, локальное охлаждение, физиологические реакции организма.

Подл. к печати 3.01.95г. Формат 60x84/16. Ю Бумага типографская.
Усл.печ.л. - 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 27.

Ротапринт ин-та "Донецкий Стройпроект". 340114. г.Донецк,
ул.Университетская, 80.

456504

AB 31.831