

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ОБЩЕСТВА ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ МЕДИЦИНЫ (WMS) ПО ПРОФИЛАКТИКЕ И ЛЕЧЕНИЮ ТЕПЛОВОЙ ТРАВМЫ

Grant S. Lipman, MD; Kurt P. Eifling, MD; Mark A. Ellis, MD; Flavio G. Gaudio, MD; Edward M. Otten, MD;
Colin K. Grissom, MD

Оригинал статьи - [https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032\(14\)00270-1/fulltext](https://www.wemjournal.org/article/S1080-6032(14)00270-1/fulltext)

Перевод - Шишкин К.Г.

Введение

Тепловые повреждения являются частыми происшествиями в мире. Европейская волна жары 2003 года привела как минимум к 70 000 смертельным случаям [1], а в Соединенных Штатах за последнее десятилетие ежегодно регистрируется более 600 смертей, связанных с общим воздействием высоких температур [2]. В настоящее время тепловая травма является ведущей причиной заболеваемости и смертности среди американских студентов-атлетов [3]. Летальность при нагрузочном тепловом ударе достигает 10% [4], а при сочетании с гипотензией это значение возрастает до 33% [5]. Исход при таких состояниях напрямую зависит как от степени гипертермии, так и от ее длительности [6, 7], что делает приоритетным ее раннее распознавание и лечение. Общество экстремальной медицины (Wilderness Medical Society, WMS) создало рабочую группу экспертов для разработки практического руководства по распознаванию, профилактике и лечению тепловой травмы. Мы представляем обзор классификаций, патофизиологических аспектов, доказательно обоснованных принципов планирования и профилактических мер, а также ведущих практических рекомендаций по лечению тепловой травмы как в полевых, так и в госпитальных условиях. Несмотря на то, что в обсуждении затрагивается весь спектр видов тепловой травмы, основное внимание комиссии было сосредоточено на изучении нагрузочного теплового удара, который в данном документе будет являться синонимом термину *тепловой удар*, если противоположное не оговаривается дополнительно.

Методы

Рабочая группа экспертов была отобрана на Ежегодном собрании WMS 2011 года в Сноумассе, штат Коннектикут. Специалисты в области неотложной медицины, первичной помощи и интенсивной терапии были отобраны на основе их клинического или исследовательского опыта. Соответствующие теме статьи идентифицировались через базу данных PubMed путем поиска по следующим ключевым словам: hyperthermia, heat stroke, heat illness, heat syncope, heat exhaustion. Далее это было дополнено поиском вручную по ссылкам, выявленным при первичном поиске в системе PubMed. Были рассмотрены работы, включавшие рандомизированные контролируемые исследования, обсервационные исследования и описания серий случаев. Работы, представленные только рефератами, в обзор не включались. Заключение из обзорных статей были приведены в качестве фоновой информации по теме, но не учитывались при определении уровней рекомендации. Рабочая группа использовала консенсусный подход при разработке рекомендаций в отношении диагностики и лечения тепловой травмы, с определением уровней доказательности в соответствии с методологией, принятой Американской коллегией врачей-специалистов по заболеваниям органов грудной клетки (American College of Chest Physicians, ACCP)

Таблица 1. Классификационная схема оценки доказательности клинических рекомендаций АССР

Степень	Описание	Оценка "эффект-риски"	Методологическая основа доказательной базы
1A	Сильная рекомендация, высокий уровень доказательности	Эффект значительно преобладает над рисками и возможными осложнениями или наоборот	РКИ без существенных ограничений или неопровержимые доказательства полученных данных
1B	Сильная рекомендация, средний уровень доказательности	Эффект значительно преобладает над рисками и возможными осложнениями или наоборот	РКИ со значимыми ограничениями или убедительные доказательства полученных данных
1C	Сильная рекомендация, низкий уровень доказательности	Эффект значительно преобладает над рисками и возможными осложнениями или наоборот	Результаты наблюдений или серии случаев
2A	Слабая рекомендация, высокий уровень доказательности	Эффект сопоставим с рисками и возможными осложнениями	РКИ без существенных ограничений или неопровержимые доказательства полученных данных
2B	Слабая рекомендация, средний уровень доказательности	Эффект сопоставим с рисками и возможными осложнениями	РКИ со значимыми ограничениями или убедительные доказательства полученных данных
2C	Слабая рекомендация, низкий уровень доказательности	Эффект сопоставим с рисками и возможными осложнениями	Результаты наблюдений или серии случаев

РКИ – рандомизированные контролируемые исследования

для градации силы рекомендаций и степени их доказательности (**Таблица 1**). Полученные рекомендации классифицировались на основании качества поддерживающей их доказательной базы и баланса между положительным эффектом и возможными рисками и осложнениями в отношении каждой процедуры или вмешательства.

Определение тепловой травмы

Тепловая травма может быть определена как совокупность патологических состояний, от легких до тяжелых, таких как тепловые судороги, тепловой обморок, тепловое истощение и угрожающий жизни тепловой удар. Нагрузочная гипертермия возникает, когда тепло, вырабатываемое вследствие мышечной активности, накапливается быстрее, чем оно может рассеиваться путем увеличения кровотока в сосудах кожи и потоотделения. Потеря телом тепла контролируется периферическими рецепторами в коже и внутренних органах и центральной нервной системой через гипоталамус, причем с более выраженным ответом на повышение температуры через центральные сенсоры [9]. Между температурным ядром тела и кожей существует температурный градиент, обеспечивающий рассеивание тепла, когда температура в ядре выше, чем на поверхности кожи. Когда центральная температура возрастает во время физической активности, а температура кожи также повышается в результате воздействия окружающей среды или

вследствие внутренней теплопродукции, рассеивание тепла снижается. Аналогичным образом, когда метаболическая продукция тепла превышает его отдачу, центральная температура повышается, и может наступить тепловая травма [10]. В некоторых случаях повреждение может возникнуть в результате патофизиологических крайностей течения нормальных процессов, используемых организмом для поддержания гомеостаза, а не вследствие повышения центральной температуры. Например, дегидратация, которая характерна для жарких условий, может привести к максимальной утилизации эндогенного вазопрессина с целью реабсорбции воды. Несмотря на то, что основной целью этого механизма является поддержание нормального водного баланса, длительная реабсорбция воды непропорционально реабсорбции калия в сочетании с повышенным потреблением чистой воды может привести к гипонатриемии разведения. Повышенная зависимость процессов поддержания нормального уровня жидкости от уровня альдостерона может способствовать потере калия, что в итоге может привести к тепловым мышечным судорогам [11].

Тепловые отеки – это доброкачественное состояние, проходящее самостоятельно. Интерстициальная жидкость накапливается в конечностях в результате гидростатического давления, увеличения проницаемости сосудов и расширения сосудов кожи. Термином «тепловой обморок» обозначают мультифакторный синдром, включающий в себя транзиторную потерю сознания в условиях повышенной температуры окружающей среды с быстрым восстановлением нормальных функций. Способствующие его развитию факторы могут включать в себя периферическую вазодилатацию, ортостатическое депонирование крови, длительное вертикальное положение тела, пожилой возраст и дегидратацию, как впрочем и сопутствующие медицинские состояния, такие как ишемическая болезнь сердца со снижением сердечного выброса. Несмотря на то, что временная потеря сознания может сопровождать как более легкие, так и тяжелые формы тепловой травмы, под термином «тепловой обморок» в целом понимают доброкачественное клиническое состояние, которое должно проходить на фоне отдыха и, возможно, регидратации при поддержании комфортной температуры окружающей среды [12, 13].

Тепловое истощение возникает вследствие контакта с высокой температурой окружающей среды или при изнуряющих нагрузках. Это легкое или средней степени тяжести состояние может прогрессировать в тепловой удар, если это состояние не распознано у человека, или он оставлен без лечения в условиях высокой температуры окружающей среды. Тепловой удар определяется как повышение центральной температуры выше 40⁰С (104⁰Ф) с развитием энцефалопатии. Обычно выделяют два вида теплового удара: классический тепловой удар, возникающий в результате пассивного контакта с повышенной окружающей температурой, и нагрузочный тепловой удар, развивающийся вследствие патологической гипертермии во время напряженных физических нагрузок (**Таблица 2**)[14].

Патофизиология теплового удара

Тепловой удар может развиваться вследствие повышения внутренней центральной температуры тела выше критического уровня, в результате чего запускается каскад клеточных и системных реакций. Эти реакции включают в себя дисфункцию терморегуляции, острофазовый ответ и реакцию белков теплового шока. Увеличение температуры крови менее чем на 1⁰С инициирует гипоталамический терморегуляторный ответ в виде увеличения кровотока через кожу до 8 л/мин за счет ответной дилатации сосудов кожи. В то время как кровь начинает шунтироваться через периферию для обеспечения потери тепла за счет испарения при потоотделении, перфузия через

Таблица 2. Характеристика видов тепловой травмы

Вид	Определение
Гипертермия	Повышение температуры тела выше гипоталамического целевого значения при нарушении работы механизмов теплоотдачи (вследствие одежды или термоизоляции, действия препаратов или болезни) или преобладании наружного (от окружающей среды) или внутреннего (метаболической природы) положительного теплового баланса
Тепловой отек	Вторичный отек конечности вследствие депонирования жидкости в интерстициальном пространстве
Тепловые судороги	Связанные с физической нагрузкой болезненные непроизвольные мышечные сокращения, возникающие сразу после нагрузки
Тепловой обморок	Преходящая потеря сознания со спонтанным возвращением к нормальному состоянию
Тепловое истощение	Тепловая травма (от легкой до тяжелой степени) вследствие нахождения в жарких условиях или изнуряющей физической нагрузки. Симптомы и признаки включают жажду, слабость, дискомфорт, усталость, головокружение и обморочное состояние. Центральная температура поднимается $> 37^{\circ}\text{C}$ (98.6°F), но $< 40^{\circ}\text{C}$ (104°F)
Тепловой удар	Тяжелая тепловая травма, характеризующаяся подъемом центральной температуры $> 40^{\circ}\text{C}$ (104°F) и нарушениями со стороны центральной нервной системы, такими как изменения ментального статуса (энцефалопатия), судороги или кома, возникающая в результате пассивного нахождения в условиях жары (классический тепловой удар) или изнуряющей физической нагрузки (нагрузочный тепловой удар)

почки и внутренние органы снижается [15]. Острофазовый ответ на тепловой стресс заключается в воспалительной реакции интерлейкинов, цитокинов и белков аналогично тому, как это наблюдается при сепсисе. Теоретически предполагается, что завышенный острофазовый и воспалительный ответ означает прогрессирование теплового стресса в тепловой удар, возможно, за счет гипоперфузии органов желудочно-кишечного тракта [14]. Повышенная проницаемость слизистой вследствие воздействия медиаторов воспаления способствует поступлению эндотоксинов из просвета кишечника в системную циркуляцию. Такое сочетание эндотоксемии и каскадной реакции воспалительных цитокинов приводит к повреждению микрососудистого русла, дальнейшему эндотелиальному и тканевому повреждению и нарушению терморегуляции, ускоряя развитие теплового удара и гипотензии. Частично совпадающая с этой версией гипотеза предполагает, что при достижении того же критического порога температуры экспрессия белков теплового шока нарушается, что приводит к снижению их способности препятствовать денатурации структурных и ферментных белков, что приводит к сдвигам на клеточном уровне с последующей дисфункцией органов [14, 16]. При критических уровнях гипертермии высокая температура приводит как к прямому повреждению тканей, так и к их гибели вследствие апоптоза или некроза, причем тяжесть повреждений определяется в равной степени как температурой, так и длительностью температурного воздействия [17, 18]. Такое сложное сплетение накладывающихся друг на друга процессов приводит к нарушению терморегуляции, тепловому удару и шоку.

Профилактика и планирование

Поговорка «грамм профилактики стоит килограмма лечения» как нельзя лучше применима по отношению к потенциально смертельно опасной природе тепловой травмы. Целенаправленные стратегии профилактики тепловой травмы должны занимать важное место при планировании физической деятельности в условиях высокого риска ее развития. Это может осуществляться либо путем разработки и утверждения структурированного анализа рисков для использования его

Таблица 3. Лекарства и вещества, способствующие развитию тепловой травмы

Алкоголь
Альфа-адреномиметики
Амфетамин
Антихолинэргетики
Антигистаминные
Антипсихотики
Бензодиазепины
Бета-блокаторы
Блокаторы кальциевых каналов
Клопидогрель
Кокаин
Диуретики
Слабительные
Нейролептики
Фенотиазины
Агонисты тироидных гормонов
Трициклические антидепрессанты

результатов на уровне населения в целом [19, 20], либо практикующий врач при планировании конкретных мероприятий оценивает риски с учетом индивидуальных особенностей физиологии конкретного участника, условий окружающей среды и планируемой физической активности.

ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ ОСОБЕННОСТЯМИ

К задержке тепла в организме может привести любое состояние, затрудняющее потерю тепла через кожу, включая гипогидроз, обширные рубцовые изменения кожи и сниженный сердечно-легочный резерв у пожилых людей. Небольшие исследования выявили связь солнечных ожогов с нарушением потоотделения - фактором риска, способствующим накоплению тепла. Этот эффект сохранялся до 7 дней, что значительно дольше, чем сопутствующие боль и эритема, но при этом без явных клинических проявлений [21, 22].

Некоторые лекарства могут увеличивать предрасположенность организма к развитию тепловой травмы вследствие двух механизмов: повышения теплопродукции вследствие действия препарата или путем нарушения работы центров терморегуляции (**Таблица 3**) [23, 24].

Прием умеренного количества кофеина не продемонстрировал какого-либо пагубного воздействия [16]. Исследования с участием военных новобранцев показали повышенный риск тепловой травмы у тучных пациентов или людей с избыточной массой тела [25, 26], однако другие данные продемонстрировали отсутствие избыточного накопления тепла у лиц с большей массой тела при прочих равных условиях на фоне физической нагрузки на аэробном уровне [27].

Аклиматизация к жарким условиям, стимулируемая 1-2-часовой нагрузкой в жарких условиях ежедневно в течение 10-14 дней приводит к воспроизводимым адаптационным изменениям, увеличивающим способность организма переносить высокую температуру и отдавать тепло [28-30]. Эти адаптационные изменения могут сохраняться до 1 месяца [31, 32]. Доказательные данные заставляют полагать, что развившийся эпизод теплового удара может приводить к острому срыву терморегуляторной адаптации и обуславливать более высокий риск развития тепловой травмы в последующем в течение нескольких месяцев после ее первичного эпизода [33]. В то же время описания клинических случаев показывают, что устойчивость к воздействию высокой температуры окружающей среды может восстанавливаться полностью [34, 35]. Лица с хорошим функциональным состоянием сердечно-сосудистой и дыхательной систем хорошо переносят

большую нагрузку в условиях жары и акклиматизируются к жарким условиям быстрее, поскольку имеют более выраженное потоотделение и более высокую субъективную переносимость физической нагрузки в условиях гипертермии. Наиболее легко регулируемым фактором риска является степень гидратации. Несмотря на то, что атлеты, выступающие в видах спорта на выносливость, на соревнованиях могут комфортно переносить весовые потери до 3-4%, дегидратация с потерей веса на 2-3% коррелирует с более высоким уровнем центральной температуры при выполнении физической нагрузки в условиях жары [29,38, 39].

Гипергидратация, предшествующая физической нагрузке, не показала значимого эффекта в виде повышения устойчивости к жаре, равно как и активное охлаждение тела до нагрузки [40]. Результаты одного исследования, изучавшего влияние половой принадлежности на восстановление температуры тела, оказались недостоверными ввиду различий индекса массы тела испытуемых, в результате чего нельзя сделать однозначное заключение, что половая принадлежность является фактором риска [41]. Лютеиновая фаза менструального цикла, при которой отмечается повышение центральной температуры, в исследовании не показала нарушений толерантности к жарким условиям у женщин, принимавших оральные контрацептивы [42]. Возрастные особенности физиологии у детей и пожилых достаточно сильно отличаются от таковых у здоровых лиц среднего возраста, чтобы рассматривать их обособленно [43-45]. Это не входит в задачи данного обзора, но будет более подробно обсуждаться далее.

Уровни рекомендации:

Обследование на предмет значимых сопутствующих медицинских состояний: 1В.

Минимальное использование лекарственных препаратов, нарушающих терморегуляцию: 1С.

Понимание, что большая масса тела влечет за собой больший риск: 1С.

Рекомендации регулярно заниматься аэробной физической активностью перед попаданием в жаркие условия: 1С.

Акклиматизация в виде физической нагрузки в жарких условиях до 1-2 часов ежедневно в течение не менее 8 дней: 1С.

Поддержание нормального водного баланса перед началом физической активности: 1В.

Поддержание текущей регидратации по принципу «пить, когда хочется» при допустимой потере массы тела за счет дегидратации не более 2%: 1В.

Осознание, что наличие тепловой травмы в анамнезе является обратимым фактором риска повторного ее возникновения: 1С.

ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С УСЛОВИЯМИ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

Тело обменивается теплом с окружающей средой путем нескольких механизмов: кондукции (пассивная передача тепла от тела к окружающей среде в направлении градиента температуры при непосредственном контакте), испарением (потеря тепла телом при потоотделении за счет превращения жидкости в пар), излучением (инфракрасные волны, излучаемые любым физическим телом в зависимости от температуры этого тела) и конвекцией (передача тепла от тела в воздух или жидкость, находящиеся в движении, при непосредственном контакте с кожей). При увеличении температуры окружающей среды в конечном итоге путем конвекции и излучения

тело будет получать тепло от окружающей среды, в результате чего испарение будет единственным механизмом снижения температуры. Испарение 1,7 мл пота обеспечивает потерю 1 килокалории тепла [46], в то же время охлаждение тела путем испарения менее эффективно в условиях повышенной влажности, поскольку при этом уменьшается градиент давления водяного пара между потом на поверхности кожи и водой в окружающем воздухе. Значимое движение воздуха улучшает этот градиент. Индекс WGBT (white-bulb globe temperature index) – это комплексный индекс температуры, влажности и солнечного излучения, выражающий общую тепловую нагрузку, испытываемую человеком. Определенные значения индекса WGBT могут рассматриваться как предостерегающие и пусковые для выполнения рекомендаций по регидратации, активному охлаждению и ограничению (или даже полному прекращению) физической активности [32]. Более доступной альтернативой индексу WGBT является тепловой индекс, выражающий вклад высокой температуры и высокой влажности (выраженной в виде относительной влажности или температуры точки росы) в снижение способности тела охлаждать себя. Несмотря на то, что индекс WGBT выражается в метрических величинах, которые обычно не являются легкодоступными для практикующих медиков (в США – прим.перев.), использование в настоящее время этого показателя в военной [47], клинической [10, 43] медицине и в профпатологии [48] делает его стандартом при обсуждении тепловой нагрузки окружающей среды и выборе допустимой физической активности для конкретных условий. Инструкции по корреляции теплового индекса и риска тепловой травмы, а также ограничений физической активности существуют в свободном доступе [49].

Уровень рекомендации: При оценке риска тепловой травмы следует использовать индекс WGBT: 1A.

ФАКТОРЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВИДОМ АКТИВНОСТИ

Метаболическая продукция тепла вследствие физической активности зависит от ее интенсивности и продолжительности. В ряде случаев накопление тепла в теле сдерживается видом физической активности, подразумевающим интенсивную потерю тепла в окружающую среду (например, конвективные потери в воду у пловца или обдувание ветром велосипедиста). Руководства по клинической [10], военной [47] медицине и профпатологии [48, 50] рекомендуют делать перерывы в соответствии с метаболическими потребностями или конкретными условиями окружающей среды, однако исследований, изучавших, как оптимально дозировать эти перерывы, в достаточном количестве не проводилось.

Уровень рекомендации: Выявлять доминирующие механизмы накопления и рассеивания тепла во время конкретной физической активности и понимать, что потеря тепла – главная цель организации перерывов: 1C.

ОДЕЖДА И СНАРЯЖЕНИЕ

Одежда и прочее снаряжение, используемое во время физической активности, может как увеличивать, так и ограничивать терморегуляторные возможности тела. Особую значимость имеет снаряжение, закрывающее участки кожи и ограничивающее потери тепла с них путем испарения, конвекции, излучения или кондукции. Например, форма для занятий американским футболом полностью препятствует теплообмену с большей части туловища и головы и, как следствие, способствует накоплению тепла телом [51] аналогично военным каскам и бронежилетам [52]. Теплоизолирующие свойства снаряжения могут также и защищать человека, как, например, в случае пожарной экипировки, предотвращающей получение тепла путем излучения или

кондукции в условиях высокой окружающей температуры. В руководствах по спортивной медицине, как и в военных профессиональных руководствах, представлены примеры уменьшения количества слоев одежды в зависимости от значений индекса WGBT [10, 53].

Уровень рекомендации: Одежда и прочее снаряжение для занятия определенным типом физической активности должна оцениваться и подбираться для оптимального уровня термоизоляции или потери тепла путем испарения, конвекции, кондукции и излучения: 1С

Лечение в полевых условиях

Выбор оптимального метода лечения тепловой травмы в экстремальных условиях может быть затруднен ввиду ограниченности ресурсов. Идеальным методом борьбы с ней, как уже было отмечено в предыдущем разделе, является ее предотвращение путем ограничения изнуряющей физической активности в условиях высокой температуры окружающей среды. Выбор метода и интенсивности охлаждения зависит от предполагаемого вида тепловой травмы (**Таблица 4**). Вне зависимости от исходной причины, быстрое купирование гипертермии имеет решающее значение, поскольку тяжесть состояния напрямую зависит как от величины температуры, так и от продолжительности ее воздействия [25, 54-57]. Любое лечение в полевых условиях в первую очередь направлено на стабилизацию проходимости дыхательных путей, дыхания и кровообращения еще до начала более специфической охлаждающей терапии. При отсутствии жизнеугрожающих состояний предпочтительным является проведение охлаждения на месте, до эвакуации, [10]. При передаче пациента бригаде скорой помощи важно сообщить обо всех методах охлаждения, применявшихся у него. Также важно продолжать охлаждение пострадавшего оптимальными из имеющихся в распоряжении методами в процессе транспортировки его до места назначения.

ЛЕЧЕНИЕ МАЛЫХ ВАРИАНТОВ ТЕПЛОВОЙ ТРАВМЫ

Доказательная база в отношении лечения легких и средней тяжести вариантов тепловой травмы скудна. Большинство методов лечения не подкреплены научно, но эффективны, и их можно рекомендовать, опираясь на доказательно обоснованные методы лечения более тяжелых видов тепловой травмы. Тепловые судороги, которые чаще описываются как генерализованные [11], могут отличаться от локальных мышечных судорог при нагрузке, наблюдаемых у атлетов, тренирующихся на выносливость. В то время как мышечные судороги при нагрузках возникают вследствие истощения нейромышечной передачи, тепловые судороги купируются пероральным приемом подсоленной жидкости и электролитной поддержкой, которая может быть как изотонической, так и гипертонической [11]. Тепловые отеки купируются возвышенным положением конечности и ношением компрессионного трикотажа. Диуретики неэффективны и могут усилить обезвоживание [59]. Тепловой обморок по определению купируется самостоятельно. После исключения других медицинских причин обморочного состояния и признаков травмы при падении лечение обморока будет состоять из восполнения объема жидкости пероральным приемом изотонических растворов и отдыха в прохладных условиях [13]. Лицам, склонным к тепловым обморокам, следует больше двигаться и напрягать крупные мышцы ног для предотвращения депонирования крови на периферии вследствие расширения сосудов кожи. Легкие формы теплового истощения обычно купируются после перемещения в прохладные условия окружающей среды, прекращения физической активности и пероральной регидратации изотоническими растворами. При более тяжелых формах теплового истощения объем жидкостных потерь более выражен, что может потребовать внутривенного вливания жидкости в сочетании с охлаждением путем испарения и конвекции.

Таблица 4. Лечение тепловой травмы

Тяжесть	Диагноз	Лечение
Легкая	Тепловые судороги	Регидратация изотоническими/гипертоническими растворами перорально
	Тепловые отеки	Возвышенное положение конечности Компрессионный трикотаж
Средняя	Тепловой обморок	Убрать с жарких условий окружающей среды Пассивное охлаждение Регидратация изотоническими/гипертоническими растворами перорально
	Тепловое истощение	Убрать с жарких условий окружающей среды Охлаждение путем конвекции и испарения Регидратация изотоническими/гипертоническими растворами перорально или внутривенно
Тяжелая	Тепловой удар	Убрать с жарких условий окружающей среды Поддерживающее лечение (проходимость дыхательных путей, дыхание, кровообращение) Погружение в холодную воду Охлаждение путем конвекции и испарения Внутривенная регидратация ^A Эвакуация ^B

^A Внутривенная регидратация изотоническим (0,9% NaCl) или гипертоническим (0,9% NaCl + 5% декстроза) растворами, с добавлением 3% NaCl при подозрении на нагрузочную гипонатриемию как причину энцефалопатии.

^B Вызов "скорой помощи" при невозможности быстро охладить пациента, продолжительной энцефалопатии или подозрении на полиорганную недостаточность.

Измерение температуры

При наличии соответствующих возможностей, точное измерение центральной температуры тела является основополагающим диагностическим шагом в дифференциальной диагностике теплового удара от менее тяжелых тепловых повреждений. Ректальная термометрия повсеместно рассматривается в качестве «золотого стандарта», поскольку является наиболее надежным и практичным методом измерения центральной температуры, причем более точным, чем термометрия темпоральная, в подмышечной впадине, в ротовой полости или в области наружного слухового прохода [12, 60]. Использование внутрипищеводных и проглатываемых термисторов допустимо, но не оправдано в полевых условиях. Ректальная термометрия является относительно инвазивной процедурой, к тому же она сопряжена с определенными трудностями в плане защиты личного пространства пациента и поддержанием необходимых гигиенических условий, поэтому первичная оценка состояния и агрессивное охлаждение должно осуществляться на основании клинических признаков, вне зависимости от степени гипертермии и способа измерения температуры. При возможности проведения ректальной термометрии ее следует считать самым точным методом измерения центральной температуры при гипертермии. У дезориентированного пострадавшего в состоянии гипертермии начало охлаждения как эмпирического лечения теплового удара не должно задерживаться до точного измерения температуры, значение которой может находиться ниже диагностического порога 40°C.

Уровень рекомендации: 1B

Пассивное охлаждение

Простые методы могут быть легко применимы для уменьшения воздействия тепла на пациента. Перемещение пострадавшего в тень может приводить к снижению окружающей температуры.

Однако оно наиболее эффективно при значениях температуры менее 20⁰С [55]. Помещение пострадавшего на термоизолирующий слой в виде спальника или каремата уменьшает кондукционную передачу тепла от земли. Ослабление или снятие любой стесняющей одежды улучшает вклад циркуляции воздуха в конвективный теплообмен [61]

Уровень рекомендации: 1С

Гидратация

Регидратация – важная составляющая в лечении гипертермии [61, 62]. Недостаточная гидратация снижает интенсивность потоотделения, увеличивает центральную температуру [62, 63] и предрасполагает к росту степени тяжести тепловой травмы. Национальная ассоциация спортивных тренеров (National Athletic Trainers' Association) озвучила регидратацию как важный фактор, уменьшающий степень гипертермии. Как пероральная, так и внутривенная регидратация показали сходную эффективность в восполнении водного дефицита, связанного с тепловым стрессом [62, 64], однако в случае наличия у пострадавшего теплового удара с нарушением сознания и риском развития судорог внутривенный путь введения минимизирует риск аспирации и последующего нарушения проходимости дыхательных путей.

Уровень рекомендации: 1С

Симптоматическая нагрузочная гипонатриемия может давать симптомы, аналогичные тепловому истощению [65], и появление признаков нарушения сознания при отсутствии гипертермии может потребовать инфузии 3% раствора хлорида натрия (гипертонический раствор) [66]. Существует мало данных по поводу типа и количества вводимых внутривенных растворов в отношении конкретно тепловой травмы. Поскольку пострадавшие с нагрузочным тепловым ударом могут быть обезвожены вследствие неощутимых потерь жидкости, лучшим выбором восполнения будет 1-2 литра изотонического (натрия хлорид 0,9%) или гипертонического (натрия хлорид с 5% декстрозой) раствора. Следует соблюдать осторожность, чтобы не допускать развития у пациентов объемной перегрузки жидкостью (особенно при наличии сопутствующей коронарной патологии), поскольку это может привести к отеку легких [67]. Любая попытка проведения регидратации при подозрении на тепловой удар не должна замедлять проведение быстрого охлаждения тела [68]. При проведении внутривенной регидратации текущий контроль артериального давления, частоты сердечных сокращений, цвета мочи и увеличения диуреза может помочь в оценке ответа пациента на лечение и степени его гидратации.

Уровень рекомендации: 1В

Погружение в холодную воду

Лечение погружением в холодную воду при тепловом ударе в полевых условиях является оптимальным методом лечения для быстрого снижения температуры ниже критических значений. Охлаждение ледяной водой показало вдвое большую скорость снижения центральной температуры по сравнению с обрызгиванием тела водой с целью охлаждения путем испарения (0,20⁰С/мин против 0,11⁰С/мин)[54], причем скорость охлаждения тем быстрее, чем ниже температура воды [69]. При погружении в воду лучшим образом проявляется высокая теплопроводность воды, в 24 раза превышающая таковую для воздуха [70], а также высокий температурный градиент между ледяной водой и кожей [71], способствующий значительному объему теплоотдачи. Обеспокоенность тем, что в теории погружение в холодную воду вызывает периферическую вазоконстрикцию и дрожь, которые якобы замедляют потерю тепла или даже

могут привести к повышению температуры тела, является распространенным заблуждением, которое, возможно, связано с неправильным толкованием так называемой «реакции Карри», при которой у лиц с изначально нормальной температурой тела в этих условиях она может повыситься на 0,1-0,2⁰С. Несмотря на то, что при исследовании здоровых добровольцев дрожь после погружения в воду сохранялась более 10 минут [72, 73], такой дрожательный рефлекс может быть наименее значимой проблемой у реальных пациентов в состоянии теплового удара. Кроме того, противодействие охлаждению при нагрузочном тепловом ударе за счет дрожи как способа теплопродукции опровергнуто на уровне физиологии [69, 73]. Необходимость для использования этого способа охлаждения наличия в свободном доступе ванны с водой или водоема во многих ситуациях может ограничить возможность его использования. Охлаждение погружением в холодную воду лучше проводить, сняв всю одежду и снаряжение и погружая тело и конечности пациента в ванну с холодной водой или имеющийся рядом водоем, например, ручей, пруд, реку или озеро. Причем использование в этих целях естественного водоема может оказаться единственным вариантом при лечении в полевых условиях. Особое внимание следует уделить защите от воздействия течения, следить, чтобы голова пострадавшего не погружалась в воду, а также обеспечивать проходимость дыхательных путей – пострадавший ни в коем случае не должен оставаться без присмотра из-за риска аспирации и утопления. Вместо погружения в холодную воду оправдано постоянное обливание пострадавшего водой или обкладывание снегом, если это доступно. Действительно, многочисленные военные исследования по иммерсионному охлаждению молодых и здоровых пострадавших в состоянии теплового удара напряжения могут похвастаться показателем смертности, равном 0% [76], подтверждая, что такое быстрое лечение данным способом охлаждения дает наилучшие результаты.

Уровень рекомендации: 1А

Охлаждение путем испарения

Если погружение в воду недоступно, следует принять меры по охлаждению путем испарения. Начните с освобождения или снятия одежды, опрыскивания или обливания пострадавшего водой для обеспечения испарения с максимальной площади кожи [77] и обеспечьте конвекцию за счет движения воздуха путем обдувания. В большинстве ситуаций этот метод является предпочтительным при тепловом истощении. Исследования, изучавшие использование для охлаждения испарением холодную или теплую воду, показали скорость охлаждения от 0,04⁰С/мин до 0,08⁰С/мин. Исследований по использованию традиционных методов охлаждения испарением при нагрузочном тепловом ударе не проводилось. Другие способы охлаждения испарением, такие как использование воздушного потока от воздушного винта вертолета, в небольшой серии случаев показали несколько большую эффективность (0,10⁰С/мин), как впрочем и большую техническую трудность [78].

Уровень рекомендации: 1С

Химические охлаждающие пакеты и пакеты со льдом

Традиционно принято пропагандировать стратегию использования пакетов со льдом или химических охлаждающих пакетов, которыми обкладывается кожа шеи, подмышечных впадин и паховых областей с целью охлаждения крови, протекающей по крупным сосудам [79]. Ограниченное количество исследований показали минимальный положительный эффект в виде снижения температуры, если пакеты со льдом или химические охлаждающие пакеты

используются в качестве самостоятельного метода по вышеприведенной методике. Пакеты со льдом показали гораздо большую эффективность, когда ими покрывается все тело [80, 81]

Уровень рекомендации: 1C

Укрывание холодной мокрой тканью

Оборачивание пострадавшего в состоянии нагрузочного теплового удара влажной простыней может использоваться в качестве метода охлаждения, когда погружение в воду не доступно. Одно исследование выявило клинически значимые показатели скорости охлаждения, однако методологические неточности в результатах не позволяют дать точное заключение [54].

Уровень рекомендации: 2B

Жаропонижающие препараты

Будучи клиницистами, обычно мы лечим повышение температуры жаропонижающими препаратами. Препараты данного класса, включающего ацетаминофен, ибупрофен и аспирин, действуют, ингибируя выработку простагландинов и понижая целевой порог терморегуляции [82], который может быть повышен при гипертермии, вызванной инфекционным процессом, но не в случае нагрузочного теплового удара. Жаропонижающие препараты неэффективны и должны быть исключены из лечения [83, 84].

Уровень рекомендации: 2B

Внутрибольничное лечение

Пациенты с тепловым ударом должны транспортироваться в медицинские учреждения, обладающие возможностями проведения интенсивной терапии пациентов с полиорганной недостаточностью. Главными направлениями лечения теплового удара являются снижение центральной температуры настолько быстро, насколько это возможно, и поддержание функций систем органов [14], поскольку у пациентов может развиваться полиорганная недостаточность с шоком, острой дыхательной недостаточностью, острым повреждением почек, синдромом диссеминированного внутрисосудистого свертывания и ишемией кишечника. В зависимости от клинического состояния пациента, поддерживающее лечение может включать в себя поддерживающую кислородотерапию, выполнение интубации и механической вентиляции, обеспечение адекватного внутрисосудистого доступа, восполнение жидкостного объема изотоническими кристаллоидными растворами, постановку мочевого катетера для контроля диуреза, а также введение вазопрессоров для поддержания артериального давления (после адекватного восполнения жидкостного объема).

Доказательная база по различным методам охлаждения включает в себя данные в отношении разнородной группы пациентов с нагрузочной гипертермией, нагрузочным тепловым ударом и классическим тепловым ударом. В работах, сравнивающих различные методы охлаждения, она включает в себя данные рандомизированных исследований, проводимых главным образом на здоровых добровольцах с нагрузочной гипертермией, и охватывающих небольшое количество исследуемых. Остальные исследования по лечению пациентов с тепловым ударом по большей части представлены отчетами о клинических случаях или нерандомизированными сравнениями методов лечения, причем со значимыми различиями в исходных параметрах испытуемых от одного исследования к другому. В большинстве экспериментальных исследований

продемонстрировано, что погружение в холодную воду – самый эффективный метод охлаждения. В то же время клиническая практика исторически пропагандирует 2 метода охлаждения: 1) кондукционное охлаждение путем погружения пациента в холодную воду и 2) охлаждение путем испарения и конвекции при опрыскивании пациента водой и усиленном обдувании его тела.

КОНДУКЦИОННОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Исторически литературные данные позиционируют погружение в холодную воду как метод, безопасный и эффективный в отношении молодых физически развитых пациентов при нагрузочном тепловом ударе. Протокол по охлаждению пациентов, существующий более 15 лет и предусматривающий применение смеси холодной воды с взвесью измельченного льда, по сей день с успехом применяется в отношении сотен военнослужащих без летальных исходов и побочных эффектов [85-87]. Пациенты с энцефалопатией на фоне теплового удара могут проявлять тревожность, нетерпимость или агрессию, и поэтому положительные стороны кондукционного охлаждения должны взвешенно оцениваться с учетом ограниченных возможностей для доступа к пациенту, который может требовать расширенного мониторинга сердечной деятельности или реанимации, особенно если это касается пациентов пожилого возраста [74, 88, 89].

Уровень рекомендации: 1А

ОХЛАЖДЕНИЕ ПУТЕМ КОНВЕКЦИИ И ИСПАРЕНИЯ

Охлаждение путем испарения у пожилых пациентов теоретически может иметь ряд положительных моментов, как то больший комфорт для пациента и меньшее проявление тревожности, а также более удобный доступ к пациенту, который может нуждаться в расширенном мониторинге сердечной деятельности или реанимационных процедурах. Как правило, исследования по охлаждению за счет испарения и конвекции охватывали пациентов с классическим тепловым ударом и добровольцев в условиях эксперимента с нагрузочной гипертермией, но не пациентов с настоящим нагрузочным тепловым ударом. Более крупное исследование по использованию специально сконструированного устройства, названного модулем охлаждения тела (body cooling unit, BCU), продемонстрировало скорость охлаждения тела в пределах от 0,04°C/мин до 0,11°C/мин при среднем времени охлаждения 68-78 минут и летальности 10% [88, 90]. Прямых сравнений между использованием данного устройства и погружением в холодную воду найти не удалось, но, если принимать во внимание показатели скорости охлаждения, охлаждение путем конвекции и испарения представляется на порядок менее эффективным. Поскольку пациенты с классическим тепловым ударом более часто представлены пожилыми и тучными людьми, страдающими такими сопутствующими состояниями, как диабет, артериальная гипертензия и сердечные заболевания, доказательная база поддерживает тот факт, что методика охлаждения путем испарения и конвекции за счет смачивания и обдувания кожи допустимо играет свою роль в госпитальном лечении классического теплового удара, но менее эффективна при нагрузочном тепловом ударе.

Уровень рекомендации: 1С

ЦЕЛЕВАЯ ТЕМПЕРАТУРА ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

Охлаждение при нагрузочном тепловом ударе и нагрузочной гипертермии до целевой температуры 39°C путем погружения в холодную воду со льдом хорошо переносится, не

сопровождается летальностью, побочными эффектами или развитием «afterdrop» центральной температуры вследствие гипотермии [85-87, 91]. Клиницистам следует осторожно относиться к показателям ректальной термометрии, которые могут быть ошибочно завышенными во время восстановления температуры за счет теплоизолирующего эффекта тканей тела [92].

Уровень рекомендации: 1B

КОМБИНИРОВАННЫЕ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ ОХЛАЖДЕНИЯ

Если доступно внутривенное введение жидкости, эффективно использование холодных растворов (4°C), если это возможно. Это может снижать центральную температуру в два раз эффективнее по сравнению с вливанием растворов комнатной температуры, однако проведение надлежащего наружного охлаждения тела остается главным методом лечения теплового удара. [68, 93].

Уровень рекомендации: 1C.

Более инвазивные методы в виде лаважа полостей охлажденным изотоническим раствором описаны, но надлежащим образом не изучены [94, 95]. Устройства для внутрисосудистого охлаждения могут дополнять лечение теплового удара, но их применение требует проведения дополнительных исследований [96].

Уровень рекомендации: 2C

МЕДИКАМЕНТОЗНОЕ ЛЕЧЕНИЕ

Ни один лекарственный препарат не продемонстрировал свою эффективность при лечении теплового удара. Дантролен используется для лечения злокачественной гипертермии и злокачественного нейролептического синдрома. Он действует путем блокады высвобождения кальция из саркоплазматического ретикулума, таким образом снижая мышечную ригидность и гипертонус, типичные для этих состояний. Качественно спланированное рандомизированное клиническое исследование, сравнивающее эффект дантролена и плацебо при классическом тепловом ударе, показало отсутствие различий в скорости снижения температуры и исходах лечения, в результате чего сделан вывод, что такое медикаментозное лечение у пациентов с тепловым ударом применяться не должно [97].

Уровень рекомендации: 1B

Заключение

Данная статья включает доказательно обоснованные рекомендации по профилактике, распознаванию и лечению тепловой травмы. Большая часть доступных литературных данных представлена сериями случаев и трактовкой результатов исследований по нагрузочной гипертермии, которая является приемлемой исследовательской моделью, поскольку проведение рандомизированных контролируемых исследований при нагрузочном тепловом ударе сложно оправдать с этических позиций. Эти рекомендации применяют имеющуюся доказательную базу по отношению к двум конкретным группам пациентов с тепловым ударом, и, несмотря на то, что в «диких условиях» с большей вероятностью может иметь место нагрузочный тепловой удар, медицинские работники должны быть ознакомлены со всеми методиками лечения и присущими им положительными качествами и возможными рисками. Мы рекомендуем снижать температуру пациентов с тепловым ударом кондукционными методами путем погружением всего тела в холодную воду или воду со льдом (предпочтительный метод при нагрузочном тепловом ударе)

или за счет испарения и конвекции путем сочетания опрыскивания холодной водой с обеспечением непрерывного потока воздуха вокруг тела (приемлемый метод при классическом тепловом ударе). Охлаждение путем испарения и конвекции может быть усилено обкладыванием всего тела пакетами со льдом для обеспечения кондукционного охлаждения. Будущие направления исследований должны включать в себя прямое сравнение доступных методов охлаждения в контролируемых группах, а также дальнейшую оценку эффективности эндоваскулярных катетеров и внутривенных систем для оптимального охлаждения пациентов в критическом состоянии.

Источники:

1. Robine, J.M., Cheung, S.L., Le Roy, S. et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C R Biol.* 2008; 331: 171–178
2. QuickStats. Number of heat-related deaths, by sex—national vital statistics system, United States, 1999–2010. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2012; 61: 729
3. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Heat illness among high school athletes—United States, 2005–2009. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2010; 59: 1009–1013
4. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Heat-related illnesses and deaths—United States, 1994–1995. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 1995; 44: 465–468
5. Austin, M.G. and Berry, J.W. Observations on one hundred cases of heatstroke. *J Am Med Assoc.* 1956; 161: 1525–1529
6. Adolph, E.F. Tolerance to heat and dehydration in several species of mammals. *Am J Physiol.* 1947; 151: 564–575
7. Overgaard, J. and Suit, H.D. Time-temperature relationship in hyperthermic treatment of malignant and normal tissue in vivo. *Cancer Res.* 1979; 39: 3248–3253
8. Lipman, G.S., Eifling, K.P., Ellis, M.A., Gaudio, F.G., Otten, E.M., and Grissom, C.K. Wilderness Medical Society. Wilderness Medical Society practice guidelines for the prevention and treatment of heat-related illness. *Wilderness Environ Med.* 2013; 24: 351–361
9. Sawka, M.N. and Wenger, C.B. *Physiological Responses to Acute Exercise-Heat Stress.* Benchmark Press, Indianapolis, IN; 1988
10. Armstrong, L.E., Casa, D.J., Millard-Stafford, M., Moran, D.S., Pyne, S.W., and Roberts, W.O. American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 556–572
11. Talbott, J.H. and Michelsen, J. Heat cramps. A clinical and chemical study. *J Clin Invest.* 1933; 12: 533–549
12. Binkley, H.M., Beckett, J., Casa, D.J., Kleiner, D.M., and Plummer, P.E. National Athletic Trainers' Association Position Statement: exertional heat illnesses. *J Athl Train.* 2002; 37: 329–343
13. Asplund, C.A., O'Connor, F.G., and Noakes, T.D. Exercise-associated collapse: an evidence-based review and primer for clinicians. *Br J Sports Med.* 2011; 45: 1157–1162
14. Bouchama, A. and Knochel, J.P. Heat stroke. *N Engl J Med.* 2002; 346: 1978–1988
15. Rowell, L.B. Cardiovascular aspects of human thermoregulation. *Circ Res.* 1983; 52: 367–379
16. Leon, L.R. and Helwig, B.G. Heat stroke: role of the systemic inflammatory response. *J Appl Physiol.* 2010; 109: 1980–1988
17. Sakaguchi, Y., Stephens, L.C., Makino, M. et al. Apoptosis in tumors and normal tissues induced by whole body hyperthermia in rats. *Cancer Res.* 1995; 55: 5459–5464
18. Buckley, I.K. A light and electron microscopic study of thermally injured cultured cells. *Lab Invest.* 1972; 26: 201–209

19. Eberman, L.E. and Cleary, M.A. Development of a heat-illness screening instrument using the Delphi panel technique. *J Athl Train.* 2011; 46: 176–184
20. Toloo, G.S., Fitzgerald, G., Aitken, P., Verrall, K., and Tong, S. Are heat warning systems effective?. *Environ Health.* 2013; 12: 27
21. Pandolf, K.B., Gange, R.W., Latzka, W.A., Blank, I.H., Kraning, K.K. II, and Gonzalez, R.R. Human thermoregulatory responses during heat exposure after artificially induced sunburn. *Am J Physiol.* 1992; 262: R610–R616
22. Pandolf, K.B., Gange, R.W., Latzka, W.A., Blank, I.H., Young, A.J., and Sawka, M.N. Human thermoregulatory responses during cold water immersion after artificially induced sunburn. *Am J Physiol.* 1992; 262: R617–R623
23. Glazer, J.L. Management of heatstroke and heat exhaustion. *Am Fam Physician.* 2005; 71: 2133–2140
24. Bruning, R.S., Dahmus, J.D., Kenney, W.L., and Alexander, L.M. Aspirin and clopidogrel alter core temperature and skin blood flow during heat stress. *Med Sci Sports Exerc.* 2013; 45: 674–682
25. Bedno, S.A., Li, Y., Han, W. et al. Exertional heat illness among overweight U.S. Army recruits in basic training. *Aviat Space Environ Med.* 2010; 81: 107–111
26. Epstein, Y., Moran, D.S., Shapiro, Y., Sohar, E., and Shemer, J. Exertional heat stroke: a case series. *Med Sci Sports Exerc.* 1999; 31: 224–228
27. Limbaugh, J.D., Wimer, G.S., Long, L.H., and Baird, W.H. Body fatness, body core temperature, and heat loss during moderate-intensity exercise. *Aviat Space Environ Med.* 2013; 84: 1153–1158
28. Brazaitis, M. and Skurvydas, A. Heat acclimation does not reduce the impact of hyperthermia on central fatigue. *Eur J Appl Physiol.* 2010; 109: 771–778
29. Cheung, S.S. and McLellan, T.M. Heat acclimation, aerobic fitness, and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *J Appl Physiol.* 1998; 84: 1731–1739
30. Garrett, A.T., Goosens, N.G., Rehrer, N.J., Patterson, M.J., and Cotter, J.D. Induction and decay of short-term heat acclimation. *Eur J Appl Physiol.* 2009; 107: 659–670
31. Weller, A.S., Linnane, D.M., Jonkman, A.G., and Daanen, H.A. Quantification of the decay and re-induction of heat acclimation in dry-heat following 12 and 26 days without exposure to heat stress. *Eur J Appl Physiol.* 2007; 102: 57–66
32. Daanen, H.A., Jonkman, A.G., Layden, J.D., Linnane, D.M., and Weller, A.S. Optimising the acquisition and retention of heat acclimation. *Int J Sports Med.* 2011; 32: 822–828
33. Armstrong, L.E., De Luca, J.P., and Hubbard, R.W. Time course of recovery and heat acclimation ability of prior exertional heatstroke patients. *Med Sci Sports Exerc.* 1990; 22: 36–48
34. Kazman, J.B., Heled, Y., Lisman, P.J., Druyan, A., Deuster, P.A., and O'Connor, F.G. Exertional heat illness: the role of heat tolerance testing. *Curr Sports Med Rep.* 2013; 12: 101–105
35. Johnson, E.C., Kolkhorst, F.W., Richburg, A., Schmitz, A., Martinez, J., and Armstrong, L.E. Specific exercise heat stress protocol for a triathlete's return from exertional heat stroke. *Curr Sports Med Rep.* 2013; 12: 106–109
36. Sharwood, K.A., Collins, M., Goedecke, J.H., Wilson, G., and Noakes, T.D. Weight changes, medical complications, and performance during an Ironman triathlon. *Br J Sports Med.* 2004; 38: 718–724
37. Wharam, P.C., Speedy, D.B., Noakes, T.D., Thompson, J.M., Reid, S.A., and Holtzhausen, L.M. NSAID use increases the risk of developing hyponatremia during an Ironman triathlon. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38: 618–622
38. Maughan, R.J., Watson, P., and Shirreffs, S.M. Heat and cold: what does the environment do to the marathon runner?. *Sports Med.* 2007; 37: 396–399

39. Wall BA, Watson G, Peiffer JJ, Abbiss CR, Siegel R, Laursen PB. Current hydration guidelines are erroneous: dehydration does not impair exercise performance in the heat. *Br J Sports Med*. 2013 Sep 20 [Epub ahead of print].
40. Duffield, R., Steinbacher, G., and Fairchild, T.J. The use of mixed-method, part-body pre-cooling procedures for team-sport athletes training in the heat. *J Strength Cond Res*. 2009; 23: 2524–2532
41. Lemire, B., Gagnon, D., Jay, O., Dorman, L., DuCharme, M.B., and Kenny, G.P. Influence of adiposity on cooling efficiency in hyperthermic individuals. *Eur J Appl Physiol*. 2008; 104: 67–74
42. Tenaglia, S.A., McLellan, T.M., and Klentrou, P.P. Influence of menstrual cycle and oral contraceptives on tolerance to uncompensable heat stress. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999; 80: 76–83
43. Bergeron, M.F., Devore, C., and Rice, S.G. Council on Sports Medicine and Fitness and Council on School Health; American Academy of Pediatrics. Policy statement—climatic heat stress and exercising children and adolescents. *Pediatrics*. 2011; 128: e741–e747
44. Basu, R. and Samet, J.M. Relation between elevated ambient temperature and mortality: a review of the epidemiologic evidence. *Epidemiol Rev*. 2002; 24: 190–202
45. Bouchama, A., Dehbi, M., Mohamed, G., Matthies, F., Shoukri, M., and Menne, B. Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. *Arch Intern Med*. 2007; 167: 2170–2176
46. Nelson, N., Eichna, L.W., Horvath, S.H., Shelley, W.B., and Hatch, T.F. Thermal exchanges of man at high temperatures. *Am J Physiol*. 1947; 151: 626–652
47. Manual of Naval Preventive Medicine (NAVMED P-5010-3). Heat and cold stress injuries. 2009. Available at: <http://www.med.navy.mil/directives/Pub/5010-3.pdf>. Accessed October 9, 2014.
48. OSHA Technical Manual (OTM) Section III: Chapter 4 (TED1-00-015). Heat stress. 1999. Available at: http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html. Accessed January 20, 2013.
49. Heat Index Charts. 2000. Available at: <http://www.nws.noaa.gov/os/heat/index.shtml>. Accessed November 11, 2014.
50. Jackson, L.L. and Rosenberg, H.R. Preventing heat-related illness among agricultural workers. *J Agromed*. 2010; 15: 200–215
51. Armstrong, L.E., Johnson, E.C., Casa, D.J. et al. The American football uniform: uncompensable heat stress and hyperthermic exhaustion. *J Athl Train*. 2010; 45: 117–127
52. Porter, A.M. Heat illness and soldiers. *Mil Med*. 1993; 158: 606–609
53. Biery, J.C. Jr, Blivin, S.J., and Pyne, S.W. Training in ACSM black flag heat stress conditions: how U.S. marines do it. *Curr Sports Med Rep*. 2010; 9: 148–154
54. Armstrong, L.E., Crago, A.E., Adams, R., Roberts, W.O., and Maresh, C.M. Whole-body cooling of hyperthermic runners: comparison of two field therapies. *Am J Emerg Med*. 1996; 14: 355–358
55. Hadad, E., Moran, D.S., and Epstein, Y. Cooling heat stroke patients by available field measures. *Intensive Care Med*. 2004; 30: 338
56. Hadad, E., Rav-Acha, M., Heled, Y., Epstein, Y., and Moran, D.S. Heat stroke: a review of cooling methods. *Sports Med*. 2004; 34: 501–511
57. Shapiro, Y. and Seidman, D.S. Field and clinical observations of exertional heat stroke patients. *Med Sci Sports Exerc*. 1990; 22: 6–14
58. Schwellnus, M.P., Derman, E.W., and Noakes, T.D. Aetiology of skeletal muscle ‘cramps’ during exercise: a novel hypothesis. *J Sports Sci*. 1997; 15: 277–285
59. Lugo-Amador, N.M., Rothenhaus, T., and Moyer, P. Heat-related illness. (viii. viii) *Emerg Med Clin North Am*. 2004; 22: 315–327
60. Casa, D.J., Becker, S.M., Ganio, M.S. et al. Validity of devices that assess body temperature during outdoor exercise in the heat. *J Athl Train*. 2007; 42: 333–342

61. González-Alonso, J., Calbet, J.A., and Nielsen, B. Metabolic and thermodynamic responses to dehydration-induced reductions in muscle blood flow in exercising humans. *J Physiol.* 1999; 520: 577–589
62. Casa, D.J., Armstrong, L.E., Hillman, S.K. et al. National athletic trainers' association position statement: fluid replacement for athletes. *J Athl Train.* 2000; 35: 212–224
63. Sawka, M.N., Latzka, W.A., Matott, R.P., and Montain, S.J. Hydration effects on temperature regulation. *Int J Sports Med.* 1998; 19: S108–S110
64. Castellani, J.W., Maresh, C.M., Armstrong, L.E. et al. Intravenous vs. oral rehydration: effects on subsequent exercise-heat stress. *J Appl Physiol.* 1997; 82: 799–806
65. Backer, H.D., Shopes, E., Collins, S.L., and Barkan, H. Exertional heat illness and hyponatremia in hikers. *Am J Emerg Med.* 1999; 17: 532–539
66. Hew-Butler T, Ayus JC, Kipps C, et al. Statement of the Second International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference, New Zealand, 2007. *Clin J Sport Med.* 2008;18:111–121.
67. Epstein, Y., Shani, Y., Moran, D.S., and Shapiro, Y. Exertional heat stroke—the prevention of a medical emergency. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 2000; 11: 395–401
68. Hostler, D., Reis, S.E., Bednez, J.C., Kerin, S., and Suyama, J. Comparison of active cooling devices with passive cooling for rehabilitation of firefighters performing exercise in thermal protective clothing: a report from the Fireground Rehab Evaluation (FIRE) trial. *Prehosp Emerg Care.* 2010; 14: 300–309
69. Proulx, C.I., Ducharme, M.B., and Kenny, G.P. Effect of water temperature on cooling efficiency during hyperthermia in humans. *J Appl Physiol.* 2003; 94: 1317–1323
70. McArdle, W.D., Magel, J.R., Lesmes, G.R., and Pechar, G.S. Metabolic and cardiovascular adjustment to work in air and water at 18, 25, and 33 degrees C. *J Appl Physiol.* 1976; 40: 85–90
71. Noakes, T.D. Body cooling as a method for reducing hyperthermia. *S Afr Med J.* 1986; 70: 373–374
72. Proulx, C.I., Ducharme, M.B., and Kenny, G.P. Safe cooling limits from exercise-induced hyperthermia. *Eur J Appl Physiol.* 2006; 96: 434–445
73. Wyndham, C.H., Strydom, N.B., Cooke, H.M. et al. Methods of cooling subjects with hyperpyrexia. *J Appl Physiol.* 1959; 14: 771–776
74. Ferris, E.B. Jr, Blankenhorn, M.A., Robinson, H.W., and Cullen, G.E. Heat stroke: clinical and chemical observations on 44 cases. *J Clin Invest.* 1938; 17: 249–262
75. Casa, D.J., McDermott, B.P., Lee, E.C., Yeargin, S.W., Armstrong, L.E., and Maresh, C.M. Cold water immersion: the gold standard for exertional heatstroke treatment. *Exerc Sport Sci Rev.* 2007; 35: 141–149
76. Costrini, A. Emergency treatment of exertional heatstroke and comparison of whole body cooling techniques. *Med Sci Sports Exerc.* 1990; 22: 15–18
77. Weiner, J.S. and Khogali, M. A physiological body-cooling unit for treatment of heat stroke. *Lancet.* 1980; 1: 507–509
78. Poulton, T.J. and Walker, R.A. Helicopter cooling of heatstroke victims. *Aviat Space Environ Med.* 1987; 58: 358–361
79. Platt M, Vicario S. *Rosen's Emergency Medicine—Concepts and Clinical Practice.* Vol 1. 7th ed. Philadelphia, PA: Mosby; 2009.
80. Kielblock, A.J., Van Rensburg, J.P., and Franz, R.M. Body cooling as a method for reducing hyperthermia. An evaluation of techniques. *S Afr Med J.* 1986; 69: 378–380
81. Richards, D., Richards, R., Schofield, P.J., Ross, V., and Sutton, J.R. Management of heat exhaustion in Sydney's the Sun City-to-Surf run runners. *Med J Aust.* 1979; 2: 457–461

82. Saper, C.B. and Breder, C.D. Endogenous pyrogens in the CNS: role in the febrile response. *Prog Brain Res.* 1992; 93: 419–429
83. Downey, J.A. and Darling, R.C. Effect of salicylates on elevation of body temperature during exercise. *J Appl Physiol.* 1962; 17: 323–325
84. Johnson, S.C. and Ruhling, R.O. Aspirin in exercise-induced hyperthermia. Evidence for and against its role. *Sports Med.* 1985; 2: 1–7
85. O'Donnell, T.F. Jr. Acute heat stroke. Epidemiologic, biochemical, renal, and coagulation studies. *JAMA.* 1975; 234: 824–828
86. Beller, G.A. and Boyd, A.E. III. Heat stroke: a report of 13 consecutive cases without mortality despite severe hyperpyrexia and neurologic dysfunction. *Mil Med.* 1975; 140: 464–467
87. Costrini, A.M., Pitt, H.A., Gustafson, A.B., and Uddin, D.E. Cardiovascular and metabolic manifestations of heat stroke and severe heat exhaustion. *Am J Med.* 1979; 66: 296–302
88. Khogali, M. and Weiner, J.S. Heat stroke: report on 18 cases. *Lancet.* 1980; 2: 276–278
89. Bouchama, A., Dehbi, M., and Chaves-Carballo, E. Cooling and hemodynamic management in heatstroke: practical recommendations. *Crit Care.* 2007; 11: R54
90. Khogali, M. and al Khawashi, M. Heat stroke during the Makkah pilgrimage. *Saudi Med J.* 1981; 2: 85–93
91. Gagnon, D., Lemire, B.B., Casa, D.J., and Kenny, G.P. Cold-water immersion and the treatment of hyperthermia: using 38.6°C as a safe rectal temperature cooling limit. *J Athl Train.* 2010; 45: 439–444
92. Newsham, K.R., Saunders, J.E., and Nordin, E.S. Comparison of rectal and tympanic thermometry during exercise. *South Med J.* 2002; 95: 804–810
93. Moore, T.M., Callaway, C.W., and Hostler, D. Core temperature cooling in healthy volunteers after rapid intravenous infusion of cold and room temperature saline solution. *Ann Emerg Med.* 2008; 51: 153–159
94. Smith, J.E. Cooling methods used in the treatment of exertional heat illness. *Br J Sports Med.* 2005; 39: 503–507
95. Horowitz, B.Z. The golden hour in heat stroke: use of iced peritoneal lavage. *Am J Emerg Med.* 1989; 7: 616–619
96. Broessner, G., Beer, R., Franz, G. et al. Case report: severe heat stroke with multiple organ dysfunction—a novel intravascular treatment approach. *Crit Care.* 2005; 9: R498–R501
97. Bouchama, A., Cafege, A., Devol, E.B., Labdi, O., el-Assil, K., and Seraj, M. Ineffectiveness of dantrolene sodium in the treatment of heatstroke. *Crit Care Med.* 1991; 19: 176–180