АДАПТАЦИЯ К СИЛОВЫМ ТРЕНИРОВКАМ ПОСЛЕ ПОГРУЖЕНИЯ В ХОЛОДНУЮ ВОДУ

MICHAEL FROHLICH,[1] OLIVER FAUDE,[2] MARKUS KLEIN,[1] ANDREA PIETER,[3] EIKE EMRICH,[1] AND TIM MEYER[4]

[1]Institute for Sport Science, Saarland University, Saarbrucken, Germany; [2]Department of Sport, Exercise and Health, University of Basel, Basel, Switzerland; [3]Institute for Prevention and Public Health, University of Applied Sciences (DHfPG), Saarbrucken, Germany; and [4]Institute of Sports and Preventive Medicine, Saarland University, Saarbrucken, Germany

Address correspondence to Michael Frohlich, m.froehlich@mx.unisaarland.de. 28(9)/2628–2633
Journal of Strength and Conditioning Research
2014 National Strength and Conditioning Association

КРАТКИЙ ОБЗОР

Frohlich M, Faude O, Klein M, Pieter A, Emrich E, И Meyer T. Адаптация к силовым тренировкам после погружения в холодную воду. J Strength Cond Res 28(9): 2628-2633, 2014 — В нескольких исследованиях анализировалась эффективность погружения в холодную воду (CWI) для поддержки восстановления после интенсивных физических нагрузок, но общие результаты, по-видимому, противоречивы. В большинстве этих исследований анализировались только краткосрочные эффекты восстановления, в то время как аспект адаптации широко игнорировался. Поэтому мы проанализировали влияние повторного охлаждения после тренировок (CWI) на адаптацию к силовым тренировкам. Семнадцать подготовленных испытуемых мужского пола добровольно приняли участие в исследовании. После 2-недельного ознакомительного периода был проведен предварительный тест (T1) с 1 максимальным повторением (RM) и с 12 RM, за которым последовал 5-недельный период силовых тренировок (внутригрупповая структура). После последующего тестирования (T2) и 2-недельного перерыва в тренировках, был проведен тест на удержание (T3). Непосредственно после каждой тренировки CWI применялся для 1 ноги, выбранной произвольно. Охлаждение состояло из 3 интервалов по 4 минуты с 30-секундным перерывом на отдых. Другая нога не охлаждалась. Наблюдалось значительное увеличение 1RM и 12RM от исходного уровня до T2 и T3 ($p < 0,001$), соответственно, и дальнейшее

значительное увеличение 12 RM от T2 до T3 ($p \leq 0,05$). Кроме того, была обнаружена тенденция к большому эффекту ноги с более высокими значениями для «контрольной ноги» по обоим параметрам ($p = 0,08$ каждый) и умеренным взаимодействием время × нога в пользу контрольной ноги (1 RM: $p = 0,11$; 12 RM: $p = 0,09$). Разница в процентном изменении между обоими условиями составила 1,6% для увеличения 1 RM от T1 до T2 и 2,0% от T1 до T3 в пользу контрольной ноги. CWI может негативно повлиять на долгосрочную адаптацию силовых тренировок у тренирующихся. Однако, эффекты были небольшими, и практическую значимость возможных эффектов восстановления необходимо учитывать в практических условиях спорта.

Ключевые слова: силовая тренировка, криотерапия, восстановление, 1RM, тренировочный стимул

ВВЕДЕНИЕ

Было высказано предположение, что применение холода полезно для спортсменов при различных обстоятельствах (5,6,38). В частности, в последние годы погружение в холодную воду (CWI) зарекомендовало себя как многообещающее средство для восстановления в спорте высоких достижений после интенсивных тренировок или соревнований (15,17,26,40). В нескольких исследованиях были проанализированы восстановительные эффекты CWI, но общие результаты, по-видимому, противоречивы (29). В некоторых исследованиях было описано положительное влияние на работоспособность и развитие силы (7,8,27,35,36), в то время как в других исследованиях не было обнаружено никаких положительных эффектов или они были очень незначительными (10,20–23,28). Недавний мета-анализ показал, что во время восстановления CWI обладает потенциалом эффективного повышения силы и силовых показателей, а также уменьшения болезненности мышц и их повреждения по сравнению с контрольной группой пассивного восстановления. Leeder и др. (26) продемонстрировали, что CWI является эффективной стратегией для уменьшения симптомов мышечной болезненности с отсроченным появлением через 24, 48, 72 и 96 часов после тренировки, в частности после высокоинтенсивных или эксцентричных упражнений. Тем не менее, лежащие в основе этого физиологические механизмы остаются менее ясными (6,39). Кроме того, CWI не оказывал прямого влияния на восстановление мышечной силы, но был эффективен для улучшения

восстановления мышечной силы. В этом контексте Лидер и др. (26) отметили, что CWI не оказывает существенного негативного влияния на восстановление после интенсивных физических нагрузок, но знания о влиянии постоянного обливания холодной водой на адаптацию к тренировкам очень ограничены. Halson (15) проанализировал научную литературу, касающуюся временных рамок между различными видами физических упражнений (например, спринт, езда на велосипеде, силовые тренировки, плавание) и эффективности гидротерапии для восстановления. Автор (15) пришел к выводу, что следует учитывать временные рамки между соревнованиями или интенсивными тренировками, а также возможные преимущества и риски и что следует применять методы восстановления, основанные на фактических данных. Lane и Wenger (25 лет) исследовали влияние активного восстановления, массажа и CWI на эффективность повторных циклов высокоинтенсивной езды на велосипеде с интервалом в 24 часа. Активное восстановление, массаж и CWI ускоряли процесс восстановления между двумя высокоинтенсивными периодическими тренировками с интервалом в 24 часа, но эффект от CWI был более выраженным по сравнению с другими формами восстановления. Poppendieck и др. (29) показали в текущем метааналитическом обзоре, что CWI (2,9%) и криогенные камеры (3,8%) кажутся более полезными для спортивных результатов, чем охлаждающие пакеты (21,4%). Более того, погружение всего тела (5,1%) оказалось значительно более эффективным, чем частичное CWI только для 1 ноги или руки (1,1%). В большинстве исследований, посвященных CWI для восстановления, анализировались короткие периоды до 1 недели. Наиболее распространенными ситуациями в условиях высокой производительности являются периоды интенсивных тренировок или лагеря, которые длятся от 2 до нескольких недель. Хотя большинство исследований было сосредоточено на восстановлении, аспект адаптации в основном игнорировался (21). Интересно, что Yamane и соавт. (41) проанализировали адаптацию к силовым (упражнения для нижних конечностей) и тренировкам на выносливость (езда на велосипеде) продолжительностью 4-6 недель у нетренированных испытуемых в 4 различных экспериментах. После каждой тренировки на силу или выносливость одну из тренируемых конечностей охлаждали в холодной воде температурой 5°C или 10°C соответственно, в то время как другую конечность - нет. Адаптация к выносливости и силе в охлажденной конечности была нарушена по сравнению с контрольной конечностью, в то время как максимальная сила не была последовательно затронута во всех экспериментах. Изменения, вызванные

тренировками на клеточном и гуморальном уровнях, а также повреждение миофибриллярных мышц являются важными факторами адаптации к тренировкам. Yamane и др. (41) предположили, что мы можем подавлять эти процессы и, таким образом, предполагаемая адаптация к тренировкам может ухудшиться при регулярном применении CWI после тренировки (21). Насколько нам известно, на сегодняшний день это единственное исследование, посвященное адаптации к обучению в результате CWI. Были проанализированы нетренированные испытуемые, и различия между условиями были довольно небольшими. Таким образом, пока невозможно сделать однозначное заключение. Поскольку эффект восстановления, как правило, также невелик — хотя эти небольшие эффекты, вероятно, актуальны в условиях высокой производительности, — представляется целесообразным провести дальнейший анализ возможных негативных последствий от применения мер по охлаждению (10).

Таким образом, мы провели настоящее пилотное исследование, чтобы проанализировать влияние длительного применения CWI на адаптацию к силовым тренировкам у уже подготовленных испытуемых. В соответствии с исследованиями Howatson и др. (21) и Yamane и др. (41), мы предположили, что CWI уменьшит адаптацию к конкретным тренировкам при проведении долгосрочных мероприятий по обучению.

МЕТОДЫ

Экспериментальный подход к проблеме

Исследование было задумано как внутрипредметный эксперимент с повторными измерениями. Каждый участник выполнял свою собственную функцию контроля. Перед тренировкой и тестированием было проведено ознакомление в течение 2 недель (3 встречи для ознакомления с конкретным протоколом тренировки и тестирования и процедурой CWI). После этого был проведен предварительный тест, за которым последовал 5-недельный период силовых тренировок. После посттестирования и 2-недельного разгрузочного периода был проведен тест на удержание силовых показателей. Силовые тренировки (сгибание одной ноги в колене) проводились два раза в неделю в одно и то же время суток (понедельник и четверг или вторник и пятница, соответственно, для каждого участника). Период восстановления между тренировками был постоянным. Участникам напоминали о

необходимости придерживаться привычных привычек в питании и образе жизни, включая физическую работу (обычные силовые тренировки) и занятия спортом (например, бег, плавание, волейбол, скалолазание, футбол) на протяжении всего изучаемого периода. При предварительном тестировании (T1), последующем тестировании (T2) и тесте на удержание (T3) максимальное значение 1RM и максимальное значение 12RM определяли в соответствии с протоколом Baechle и Earle (2). После разминки с легким сопротивлением нагрузка постепенно увеличивалась до тех пор, пока спортсмен не был в состоянии выполнить 1RM или 12RM с надлежащей техникой выполнения упражнений. Разрешалось от трех до пяти тестовых подходов. Оборудование для тестирования и тренировки было одним и тем же. Перед началом всех тестов и тренировок тренажеры были адаптированы к индивидуальным антропометрическим требованиям. Порядок тестирования оставался неизменным, и все тесты проводились в один и тот же день.

Испытуемые

В настоящем исследовании приняли участие в общей сложности 17 здоровых и опытных студентов–спортсменов мужского пола (средний возраст 6 стандартных отклонений - 23,5 6 2,4 года; диапазон от 20 до 28 лет; вес - 76,5 6 8,7 кг; жировые отложения - 13,9 6 3,8%). Опыт силовых тренировок составлял не менее 6 месяцев (в диапазоне от 6 месяцев до 5 лет). Как правило, участники выполняли 1-3 занятия силовыми тренировками в неделю по 1-3 часа на каждое занятие. Все участники были тщательно проинформированы о структуре исследования, рисках и возможных преимуществах, связанных с настоящим исследованием, и дали письменное информированное согласие перед началом участия. Исследование соответствовало этическим принципам, изложенным в Хельсинкской декларации. Этическое одобрение было получено от местного комитета по этике. Все тренировки и тестирование проводились в Olympiastutzpunkt Rheinland-Pfalz/ Saarland. Перед тренировками и тестированием не разрешались силовые тренировки ног (24 часа).

Процедуры силовых тренировок

5-недельная силовая тренировка проводилась с использованием упражнения на сгибание ног/подъём на бицепс бедра (gym80 International, Гельзенкирхен,

Германия) с определенной скоростью движений (контролируемой метрономом, 2-секундной концентрацией и 2-секундным эксцентриком на каждое повторение для мышц подколенного сухожилия) и постоянной амплитудой движений в коленном суставе (908 сгибание и разгибание на 1708 градусов под углом в колене). Перед силовой тренировкой была проведена 5-минутная разминка на велоэргометре с частотой вращения 60-70 оборотов в минуту при мощности 150 Вт. В промежутках между 3 сериями для каждой ноги был перерыв продолжительностью 3 минуты, в течение которого выполнялась тренировка другой ноги (протокол подъема: 3 подхода по 8-12 повторений с 3-минутным отдыхом (14,24)). Нагрузка была рассчитана на 8-12 повторений в серии (75-80% за 1 минуту) до полного изнеможения (постепенное увеличение нагрузки в течение периода тренировки) и рассчитывалась исходя из начального 1 минуты.

Таблица 1. Динамика силовых параметров во времени на протяжении всего периода исследования со статистическими результатами. *†

				AVONA		
	T1	T2	T3	Время	Воздействие	Время воздействия
1RM (кг)						
Охлаждённая нога	88.0 (13.7)§	94.4 (13.5)	95.3 (13.2)	p <0.001	p = 0.08	p = 0.11
Контрольная нога	88.7 (14.1)§	96.7 (14.0)	97.9 (14.0)	η_p^2= 0.55	η_p^2= 0.18	η_p^2= 0.13
12RM (кг)						
Охлаждённая нога	49.4 (6.7)§	56.8 (7.7) ǂ	57.9 (8.6)	p <0.001	p = 0.08	p = 0.11
Контрольная нога	49.4 (6.6)§	57.4 (7.5) ǂ	58.7 (8.5)	η_p^2= 0.63	η_p^2= 0.18	η_p^2= 0.14

*Данные представлены в виде среднего значения (стандартное отклонение).

†1RM = 1 максимальное повторение; 12RM = 12 максимальных повторений; ANOVA = дисперсионный анализ; h_p^2 = частичный квадрат eta (величина эффекта).

ǂ Значительно отличается от T3 (p = 0,03).

§ Значительно отличается от T2 и T3 (p = 0,001).

Если выполнялось более 13 повторений, нагрузка на следующую тренировку увеличивалась. Каждую тренировку участники начинали с тренировки охлажденной ноги. Охлажденные и неохлажденные ноги были выбраны случайным образом в соответствии с предварительным тестом 1RM, чтобы получить равное распределение между доминирующими и недоминирующими ногами. Таким образом, доминирующая нога определялось по силе ноги (1RM). Не было никакой разницы в общей тренировочной нагрузке между охлажденными и

неохлажденными ногами, а также между доминирующими и не доминирующими ногами. Распределение было почти однородным (доминирующая охлаждённая нога, n = 9, и недоминирующая охлажденная нога, n = 8). Это распределение оставалось неизменным в течение всего тренировочного периода.

Погружение в холодную воду

Сразу после каждой силовой тренировки выполнялся CWI для ранее определенной ноги. Охлаждение состояло из 3-х 4-минутных интервалов охлаждения с 30-секундным перерывом на отдых. Другая нога не охлаждалась (температура в помещении, 20-23°C). Температура воды для CWI составляла 12,0±1,5°C (39). Чтобы поддерживать температуру воды как можно более постоянной, перед охлаждением воду перемешивали. CWI выполнялось на всю ногу. Испытуемый опускал ногу по гребень подвздошной кости в охлаждающую бочку, наполненную ледяной водой. Другая нога оставалась снаружи.

Статистический анализ

Данные представлены в виде средних значений с помощью SD. Для анализа изменения зависимых переменных во времени в течение исследовательского периода был проведен двухфакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями (ANOVA: время фактора: T1 против T2 против T3; влияние фактора: охлажденная нога против контрольной ноги). В случае значительного временного эффекта был применен апостериорный тест Бенферрони (Bonferroni post hoc). Кроме того, процентные изменения для обоих состояний от T1 до T2 и от T1 до T3, соответственно, были проанализированы с помощью двухфакторного дисперсионного анализа (фактор времени: разница между T1 и T2 по сравнению разница между T1 и T3, фактор вмешательства: охлажденная нога по сравнению с контрольной ногой). Частичный квадрат eta (h_p^2) был использован для оценки величины эффекта, при этом $h_p^2 > 0,01$, $h_p^2 > 0,06$ и $h_p^2 > 0,14$ указывали на малый, средний и большой эффекты соответственно (9). Статистически значимым был принят α-уровень $p \leq 0,05$. Поскольку это исследование носило пилотный характер и небольшие изменения могли иметь значение, значение p между 0,05 и 0,1 было принято как указывающее на тенденцию. Кроме того, для каждой переменной была рассчитана процентная разница в показателях изменений между охлажденной и контрольной ногой, от T1 до T2 и от T1 до T3, соответственно,

вместе с соответствующими 90% доверительными интервалами (CI). Чтобы учесть возможные различия в исходных данных, расчеты были скорректированы с учетом значений, полученных до тестирования. Изменение, имеющее практическую ценность, принималось, когда разница составляла не менее 0,2 стандартного отклонения между испытуемыми (19). Дополнительно рассчитывалась вероятность того, что эффект будет практически значимым (4). Эти расчеты были проведены с использованием опубликованной электронной таблицы в Microsoft Excel (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) (18).

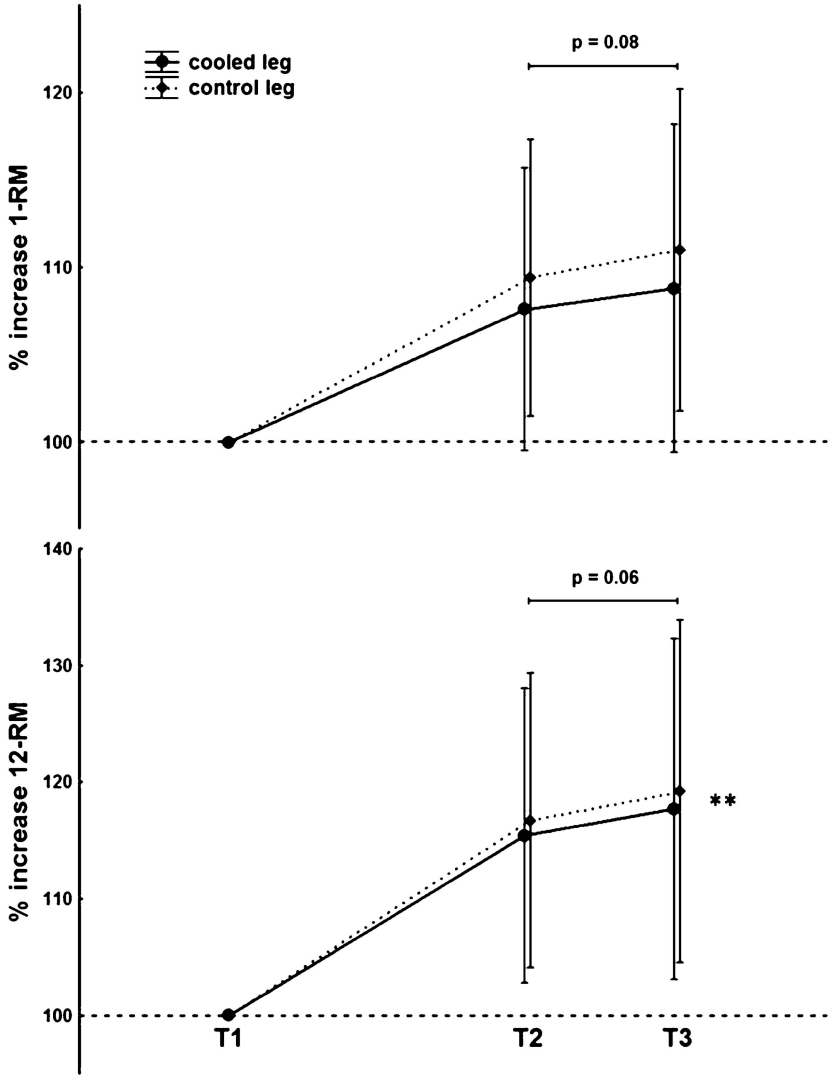

Рисунок 1. Процентное увеличение на 1RM и 12RM от T1 до T2 и T3. **Значительный эффект от вмешательства (p = 0,01). Точные значения *p* относятся к временному эффекту. RM = максимальное количество повторений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Мы наблюдали значительное увеличение 1RM и 12RM от исходного уровня до T2 и T3 соответственно, а также дальнейшее значительное увеличение 12RM от T2 до T3 (таблица 1). Кроме того, мы обнаружили тенденцию к «большому» эффекту вмешательства с более высокими значениями для контрольной ноги по обоим параметрам и от «умеренного» до «большого» взаимодействия время x вмешательство также в пользу контрольной ноги (табл. 1). Средняя разница между контрольной ногой и охлажденной ногой в 1RM составляла 0,7 кг в исходном состоянии, 2,3 кг в T2 и 2,6 кг в T3. На рисунке 1 показаны процентные изменения от T1 до T2 и от T1 до T3 для обоих условий. Наблюдалась тенденция к дальнейшему увеличению силы от T2 и T3 для 1RM (временной эффект: p = 0,08) и 12RM (временной эффект: p = 0,06) соответственно. Процент прироста в 12RM был значительно выше у контрольной ноги (эффект вмешательства: p = 0,01; h_p^2 = 0,33). Умеренно более высокие относительные приросты в показателях контрольной ноги для 1RM не были значимыми (эффект вмешательства: p = 0,21; h_p^2= 0,10).

Разница в процентном соотношении между охлажденной и контрольной ногой составила 1,6% (90% доверительный интервал [CI], от 22,6% до 5,7%) для увеличения 1RM от T1 до T2 и 2,0% (90% CI, от 22,9% до 6,7%) от T1 до T3 в пользу охлажденной ноги. Вероятность того, что этот эффект будет практически значимым, составляла 37% и 35% соответственно. Соответствующие показатели для 12-месячного периода были следующими: 1,1% (90% CI, от 24,9% до 6,7%) для увеличения 1-месячного периода от T1 до T2 и 2,3% (90% CI, от 25,5% до 7,7%) от T1 до T3 с вероятностью 40% и 37%, что оба эффекта будут практически значимыми соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Основным результатом настоящего исследования стало то, что адаптация к силовым тренировкам была снижена на 1-2% после 5-недельного режима силовых

тренировок, когда тренированная нога регулярно охлаждалась непосредственно после тренировки, по сравнению с контрольным состоянием без охлаждения. Эффекты были довольно незначительными, и вероятность того, что они окажутся практически значимыми, составляла менее 40%. Тем не менее, этот результат следует учитывать при применении CWI в спорте высоких достижений для поддержки восстановления после тренировок средней интенсивности, направленных на гипертрофию мышц.

Силовые тренировки неопытных студентов-спортсменов привели к значительному увеличению показателей концентрической максимальной силы (1RM) и нагрузки в тесте на 12RM. При регулярном охлаждении 1RM увеличился на 8,2% от предварительного тестирования до теста на удержание/сохранение, в то время как без охлаждения 1RM улучшился на 10,3%. Разница между этими двумя состояниями составила 2,7% для 1RM и 1,4% для 12RM в T3. Погружение в холодную воду часто применяется в спортивной практике для ускорения восстановления. Poppendieck и др. (29) в этом контексте обнаружили, что среднее влияние охлаждения на восстановление силы у тренированных спортсменов составляет 2,4%. Это очень похоже на наблюдаемые различия в адаптации в настоящем исследовании. Таким образом, ожидаемый эффект восстановления, как правило, также невелик. Однако, такие незначительные эффекты могут считаться значимыми в условиях высокой производительности. Поскольку эти соображения справедливы для эффектов адаптации и восстановления, представляется оправданным дальнейший анализ возможных вредных последствий мер по охлаждению. Настоящие результаты согласуются с наблюдениями Yamane и др. (41), которые сообщили, что применение CWI после тренировки привело к негативным последствиям для тренировочной адаптации. Таким образом, хотя CWI кажется потенциально полезным средством поддержки восстановления, охлаждение после тренировки можно рассматривать как неблагоприятное лечение с точки зрения тренировочных перспектив (37). Yamane и др. (41) предположили, что микроповреждения, вызванные силовыми тренировками, а также клеточные и гуморальные процессы в скелетной мускулатуре являются предпосылкой для процессов восстановления, регенерации мышечных волокон, активации клеток–сателлитов и тому подобного. Снижение температуры мышц в результате CWI может нарушить или подавить эти адаптационные процессы, что приведет к задержке, а не к улучшению мышечной работы при тренировке гипертрофии

(11,37,41). Barnett (3) отметил, что воспалительные процессы играют центральную роль во время восстановления поврежденной мышечной структуры и адаптации, и поэтому меры, подавляющие эти процессы, противопоказаны. Другим объяснением более низкой эффективности тренировок с охлажденной ногой может быть тот факт, что переохлаждение может негативно влиять на проницаемость капилляров, высвобождение циркулирующих гормонов (таких как инсулиноподобный фактор роста-1, тестостерон и гормон роста) и кровоток (12,21,31,39). Еще одним потенциальным механизмом гипертрофии мышц может быть увеличение содержания внутриклеточной воды. Так называемое набухание клеток стимулирует анаболические процессы как за счет увеличения синтеза белка, так и за счет уменьшения его распада (12,16). Кроме того, это может спровоцировать пролиферацию клеток-сателлитов и способствовать их слиянию в гипертрофирующиеся миоволокна. Погружение в холодную воду также может негативно повлиять на эти процессы (21,32).

В дополнение к вышеупомянутым выводам, Al Haddad и соавт. (1) обнаружили, что ежедневные 5-минутные CWI приводят к улучшению парасимпатической активности в состоянии покоя и улучшению качества сна, а также субъективного самочувствия у пловцов высокого уровня. Эти вероятные положительные эффекты восстановления проявлялись в течение 24-72 часов. Кроме того, концентрация лактата в крови была ниже после CWI. Авторы предположили, что это может быть связано с усилением кровообращения в соответствующей мускулатуре, что положительно влияет на уровень лактата. В настоящее время обсуждается, в какой степени сам по себе лактат функционирует как тренировочный стимул на клеточном уровне (33).

Из представленных результатов мы не можем сделать вывод о том, в какой степени приложенное гидростатическое давление на охлаждаемую ногу было причиной меньшего прироста силы. В принципе, из-за гидростатического давления, погружение тела или сегментов тела приводит к усилению транспорта продуктов метаболизма (например, лактата) из мышечной ткани, снижению периферического сопротивления и снижению нервно-мышечной активности (10,39).

Наблюдаемое ухудшение результатов тренировки на охлажденной ноге было незначительным. Разницу в 1-2% за 5 недель можно считать незначительной. Тем не менее, на сегодняшний день большинство исследований, в которых

анализировались эффекты восстановления, длившиеся максимум 1 неделю, и эффекты восстановления по сравнению с пассивным восстановлнием также были небольшими (до 1,8-4,3% в зависимости от времени после CWI, когда анализировалась эффективность) (20,29). Кроме того, существуют другие методы восстановления, которые показали меньшие различия с CWI (например, контрастная водная терапия, активное восстановление, горячий душ) (11,22,23). Хотя в этих исследованиях анализировались краткосрочные эффекты восстановления в течение периода не более 1 недели, восстановление в течение более длительных периодов еще не оценивалось. Наблюдаемые эффекты восстановления и, возможно, снижение адаптации к тренировкам могут рассматриваться как практически значимые с точки зрения спорта высших достижений. Таким образом, с точки зрения спортивной практики, следует осторожно относиться к некритичному использованию CWI во время длительных тренировочных сборов. Представляется целесообразным, чтобы краткосрочный эффект восстановления был сбалансирован с возможным снижением адаптации к длительным тренировкам.

Очевидно, что необходимо устранить некоторые ограничения настоящего исследования. Мы не оценивали спортсменов высокого уровня. Таким образом, возможность перехода в профессиональный спорт остается под вопросом. Проведение хорошо контролируемых исследований для анализа специфических и небольших, но, возможно, значимых эффектов у спортсменов сопряжено с трудностями, поскольку их режим тренировок влияет на рамки научных исследований, и трудно устранить мешающие факторы. Участники настоящего исследования имели опыт силовых тренировок, и была создана хорошо контролируемая тренировочная ситуация, и, таким образом, внутренняя валидность, по-видимому, высока. Еще одно ограничение можно увидеть в том факте, что тренировочный стимул был очень специфичным, изолированным силовым заданием и не очень функциональным по своей природе. Однако, тренировочный стимул был строго стандартизирован. Кроме того, мы использовали протокол средней интенсивности, направленный на гипертрофию мышц. В исследованиях, в которых изучалось влияние холодовых аппликаций на восстановление силы, обычно использовались высокоинтенсивные эксцентрические протоколы (29). Однако тренировочный режим, который был применен в настоящем исследовании, широко используется в спортивной практике

(13,30), и в настоящее время спортсмены часто используют CWI в качестве метода восстановления после обычных силовых тренировок.

Мы использовали эксперимент с повторными измерениями внутри испытуемых, чтобы свести к минимуму межиндивидуальные различия, и рандомизировали ноги для контроля или охлаждения. Мы не можем исключить влияние перекрестных помех от одной ноги к другой. Кроме того, охлаждение могло подавлять высвобождение факторов роста. Можно предположить, что такое снижение высвобождения факторов роста передается от охлажденной ноги к контрольной по гуморальным путям, и, таким образом, адаптация к тренировкам может быть снижена и в неохлажденной ноге. Однако, это остается предположением и требует дальнейших исследований (34).

Эта экспериментальная работа была проведена для оценки, возможно, небольшого, но существенного влияния CWI на адаптацию в хорошо контролируемой ситуации с четкой и определенной задачей. В качестве следующего шага этот подход необходимо перенести на спортивную практику и на спортсменов более высокого уровня.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Исходя из результатов настоящего исследования, можно сделать вывод, что CWI может оказывать негативное влияние на адаптацию к силовым нагрузкам у студентов-спортсменов с опытом силовых тренировок. Небольшие ухудшения в адаптации к тренировкам в долгосрочной перспективе должны быть сбалансированы с возможным благоприятным краткосрочным восстановительным эффектом CWI. Возможность переноса результатов на более высокий уровень производительности, а также оптимальные сценарии применения CWI в качестве средства восстановления в практических условиях должны быть рассмотрены в будущих исследованиях. Кроме того, научные исследования в отношении физиологических механизмов, которые могут вызывать снижение адаптации к тренировкам в результате применения холода, представляются оправданными (например, с помощью биопсии мышц).

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы выражают признательность Олимпийскому центру Olympiastutzpunkt Rheinland-Pfalz/ Saarland за предоставление возможностей для тестирования и тренировки, особенно профессору Hanno Felder за дальнейшую поддержку. Кроме того, мы выражаем признательность Jan Neubauer за его ценную помощь в проведении исследования. Данное исследование было проведено без внешней финансовой поддержки, и никаких конфликтов интересов, о которых можно было бы заявить, нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Al Haddad, H, Parouty, J, and Buchheit, M. Effect of daily cold water immersion on heart rate variability and subjective ratings of well-being in highly trained swimmers. Int J Sports Physiol Perform 7: 33–38, 2012.
2. Baechle, TR and Earle, RW. Essentials of Strength Training and Conditioning. Champaign, IL: Human Kinetics, 2008.
3. Barnett, A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? Sports Med 36: 781–796, 2006.
4. Batterham, AM and Hopkins, WG. Making meaningful inferences about magnitudes. Int J Sports Physiol Perform 1: 50–57, 2006.
5. Bleakley, C, McDonough, S, and MacAuley, D. The use of ice in the treatment of acute soft-tissue injury. Am J Sports Med 32: 251–261, 2004.
6. Bleakley, CM and Davison, GW. What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. Br J Sports Med 44: 179–187, 2010.
7. Brophy-Williams, N, Landers, G, and Wallman, K. Effect of immediate and delayed cold water immersion after a high intensity exercise session on subsequent run performance. J Sports Sci Med 10:665–670, 2011.
8. Burke, DG, MacNeil, SA, Holt, LE, Mackinnon, NC, and Rasmussen, RL. The effect of hot or cold water immersion on isometric strength training. J Strength Cond Res 14: 21–25, 2000.
9. Cohen, J. Statistical Power Analysis for the Behavioural Sciences. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates, 1988.
10. Corbett, J, Barwood, MJ, Lunt, HC, Milner, A, and Tipton, MJ. Water immersion as a recovery aid from intermittent shuttle running exercise. Eur J Sport Sci 12: 509–514, 2011.

11. Elias, GP, Wyckelsma, VL, Varley, MC, McKenna, MJ, and Aughey, RJ. Effectiveness of water immersion on postmatch recovery in elite professional footballers. Int J Sports Physiol Perform 8: 243–253, 2013.
12. Eston, R and Peters, D. Effects of cold water immersion on the symptoms of exercise-induced muscle damage. J Sports Sci 17:231–238, 1999.
13. Fleck, SJ and Kraemer, WJ. Designing Resistance Training Programs. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
14. Freitas de Salles, B, Simao, R, Miranda, F, Silva Novaes, J, Lemos, A, and Willardson, J. Rest interval between sets in strength training. Sports Med 39: 765–777, 2009.
15. Halson, SL. Does the time frame between exercise influence the effectiveness of hydrotherapy for recovery? Int J Sports Physiol Perform 6: 147–159, 2011.
16. Haussinger, D, Gerok, W, Roth, E, and Lang, F. Cellular hydration state: An important determinant of protein catabolism in health and disease. Lancet 341: 1330–1332, 1993.
17. Higgins, TR, Heazlewood, IT, and Climstein, M. A random control trial of contrast baths and ice baths for recovery during competition in U/20 rugby union. J Strength Cond Res 25: 1046–1051, 2011.
18. Available at: http://www.sportsci.org. Accessed February 10, 2012.
19. Hopkins, WG, Marshall, SW, Batterham, AM, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. Med Sci Sports Exerc 41: 3–13, 2009.
20. Howard, RLJ, Kraemer, WJ, Stanley, DC, Armstrong, LE, and Maresh, CM. The effects of cold immersion on muscle strength. J Strength Cond Res 8: 129–133, 1994.
21. Howatson, G, Goodall, S, and Someren, KA. The influence of cold water immersions on adaptation following a single bout of damaging exercise. Eur J Appl Physiol 105: 615–621, 2009.
22. King, M and Duffield, R. The effects of recovery interventions on consecutive days of intermittent sprint exercise. J Strength Cond Res 23: 1795–1802, 2009.
23. Kinugasa, T and Kilding, AE. A comparison of post-match recovery strategies in youth soccer players. J Strength Cond Res 23: 1402–1407, 2009.
24. Kraemer, WJ and Ratamess, NA. Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. Med Sci Sports Exerc 36: 674–688, 2004.
25. Lane, KN and Wenger, HA. Effect of selected recovery conditions on performance of repeated bouts of intermittent cycling separated by 24 hours. J Strength Cond Res 18: 855–860, 2004.

26. Leeder, J, Gissane, C, van Someren, K, Gregson, W, and Howatson, G. Cold water immersion and recovery from strenuous exercise: A meta-analysis. Br J Sports Med 46: 233–240, 2012.
27. Montgomery, PG, Pyne, DB, Hopkins, WG, Dorman, JC, Cook, K, and Minahan, CL. The effect of recovery strategies on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. J Sports Sci 26: 1135–1145, 2008.
28. Paddon-Jones, DJ and Quigley, BM. Effect of cryotherapy on muscle soreness and strength following eccentric exercise. Int J Sports Med 18: 588–593, 1997.
29. Poppendieck, W, Faude, O, Wegmann, M, and Meyer, T. Cooling and performance recovery of trained athletes: A meta-analytical review. Int J Sports Physiol Perform 8: 227–242, 2013.
30. Ratamess, NA, Alvar, BA, Evetoch, TK, Housh, TJ, Kibler, WB, Kraemer, WJ, and Triplett, NT. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. Med Sci Sports Exerc 41: 687–708, 2009.
31. Schoenfeld, BJ. Potential mechanisms for a role of metabolic stress in hypertrophic adaptations to resistance training. Sports Med 43:179–194, 2013.
32. Sellwood, KL, Brukner, P, Williams, D, Nicol, A, and Hinman, R. Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: A randomised controlled trial. Br J Sports Med 41: 392–397, 2007.
33. Spurway, N and Wackerhage, H. Genetics and Molecular Biology of Muscle Adaptation. London, NY: Churchill Livingstone Elsevier, 2006.
34. Tseng, CY, Lee, JP, Tsai, YS, Lee, SD, Kao, CL, Liu, TC, Lai, CH, Harris, MB, and Kuo, CH. Topical cooling (icing) delays recovery from eccentric exercise-induced muscle damage. J Strength Cond Res 27: 1354–1361, 2013.
35. Vaile, J, Halson, S, Gill, N, and Dawson, B. Effect of cold water immersion on repeat cycling performance and thermoregulation in the heat. J Sports Sci 26: 431–440, 2008.
36. Versey, NG, Halson, SL, and Dawson, BT. Effect of contrast water therapy duration on recovery of running performance. Int J Sports Physiol Perform 7: 130–140, 2012.
37. Vieira, A, Oliveira, AB, Costa, JR, Herrera, E, and Salvini, TF. Cold modalities with different thermodynamic properties have similar effects on muscular performance and activation. Int J Sports Med 34:873–880, 2013.
38. Wegmann, M, Faude, O, Poppendieck, W, Hecksteden, A, Frohlich, M, and Meyer, T. Pre-cooling and sports performance: A meta-analytical review. Sports Med 42: 545–564, 2012.
39. Wilcock, IM, Cronin, JB, and Hing, WA. Physiological response to water immersion:

A method for sport recovery? Sports Med 36: 747–765, 2006.
40. Wilcock, IM, Cronin, JB, and Hing, WA. Water immersion: Does it enhance recovery from exercise? Int J Sports Physiol Perform 1: 195– 206, 2006.
41. Yamane, M, Teruya, H, Nakano, M, Ogai, R, Ohnishi, N, and Kosaka, M. Post-exercise leg and forearm flexor muscle cooling in humans attenuates endurance and resistance training effects on muscle performance and on circulatory adaptation. Eur J Appl Physiol 96: 572–580, 2006.