

coralclub

Журнал международного общества спортивного питания
(Journal of the international society of sports nutrition)

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Открытый доступ

Вода с глубоководными океаническими минералами ускоряет восстановление после физической усталости

Цзянь-Вэн Хоу¹, Юн-Шэнь Цзай¹, Вэй-Хорн Жэань², Чжун-Юй Чжэнь¹,
Джон Л. Айви³, Чжи-Ян Хуан^{4,5,6,†} и Цзя-Хуа Го^{1,4,*,†}

* Автор для корреспонденции: kuochiahua@gmail.com

† Равный вклад авторов

1 Лаборатория биохимических исследований физической нагрузки, Тайбэйский колледж физической культуры, Тайбэй, Тайвань

4 Институт последипломного образования основных медицинских дисциплин, Китайский медицинский университет, Тайчжун, Тайвань

Полный перечень информации об авторах см. в конце статьи.

«БиоМед Централ» (BioMed Central)

Авторское право © 2013 г. Хоу и др., лицензиат «БиоМед Централ Лтд.» (BioMed Central Ltd.). Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии надлежащего цитирования оригинальной работы.

Аннотация

Предпосылки: в качестве возможного места, где зародилась жизнь, был предложен глубокий океан. Наряду с этой теоретической линией ведутся эксперименты с использованием компонентов глубокой океанической воды для воссоздания жизни. В настоящей работе мы предполагаем, что, если наземные организмы действительно произошли из глубинных океанических вод, прием человеком воды с глубоководными океаническими минералами (ГОМ) как наземным организмом может восполнить потерю молекулярной сложности, связанную с эволюционной миграцией с моря на сушу.

Методы: мы провели рандомизированное двойное слепое плацебо-контролируемое перекрестное исследование с участием человека для оценки влияния ГОМ, взятых с глубины 662 метра у побережья Хуаляня, Тайвань, на время восстановления после изнуряющей нагрузки при температуре 30°C.

Результаты: протокол изнуряющей физической нагрузки вызвал длительное снижение аэробной способности (снижение VO_{2max}) в течение 48 ч. Однако добавление ГОМ привело к полному восстановлению аэробной способности в течение 4 ч. ($P < 0,05$). Мышечная сила также была выше чем при приеме плацебо в течение 24 ч. после восстановления ($P < 0,05$). Повышение уровня циркулирующей креатинкиназы и миоглобина, признаки повреждения мышц, вызванного физическими упражнениями, были полностью устранены при приеме ГОМ ($P < 0,05$) параллельно с ослаблением окислительного повреждения ($P < 0,05$).

Вывод: наши результаты убедительно доказывают, что ГОМ содержат растворимые элементы, которые могут повысить восстановление организма человека после изнурительной физической нагрузки.

Ключевые слова: глубинная морская вода, происхождение жизни, микроэлементы, гипотеза гидротермальных источников

Введение

Живой организм можно рассматривать как совокупность различных молекул, происходящих из земли, которые совместно работают над снижением энтропии против катаболических стрессов, вызванных постоянно меняющейся окружающей средой. Было высказано предположение, что вода с глубоководными океаническими минералами (ГОМ) является первичным источником химических компонентов, способствующих созданию жизни [1, 2]. Помимо основных минералов, было задокументировано более 70 микроэлементов, присутствующих в океанической воде [3]. Вопрос о том, сколько химических компонентов необходимо или требуется для поддержания наилучшей сложности человеческой жизни, полностью не определен.

В настоящее время отсутствуют данные о влиянии ГОМ на физиологические функции животных или человека после экстремальных экологических или физиологических изменений. Наиболее последовательные наблюдения касаются антиатерогенных эффектов ГОМ в отношении проблем с рационом [4-7]. По сравнению с опресненной поверхностной океанической водой с аналогичным составом основных минералов (магний, калий, кальций, натрий, хлориды и сульфат-ионы) было обнаружено, что опресненная вода с ГОМ оказывает гораздо более сильное влияние на предотвращение развития атеросклероза у кроликов, получавших рацион с высоким содержанием холестерина [4]. Этот результат позволяет предположить, что микроэлементы с высоким содержанием диоксида углерода, содержащиеся в ГОМ, отвечают за их антиатерогенные свойства и оказывают значительное физиологическое воздействие на наземных животных. Вполне возможно, что поверхностные воды океанов, куда проникает солнечный свет, лишены этих важных микроэлементов в результате фотосинтетической активности многих морских организмов [8].

Из-за экологических ограничений морские и наземные организмы полагаются на различные источники питания для поддержания жизни [9]. Однако палеобиологические данные убедительно свидетельствуют о том, что земная жизнь произошла от морских предков [10]. Несмотря на то, что они имеют общие клеточные компоненты с морскими организмами, выжившие на суше организмы должны были приобретать альтернативные источники питания на суше для компенсации потерь, связанных с древней миграцией с моря на сушу. Мы предположили, что если глубинная океаническая вода содержит эволюционно предпочтительные компоненты для наземных потомков, то добавки могут дополнительно способствовать достижению наилучшей биологической сложности для наземных животных. Для проверки этой гипотезы мы провели исследование с участием человека, в котором определили время, необходимое для восстановления физической работоспособности после обезвоживающей нагрузки, когда для регидратации использовался напиток с опресненной водой с ГОМ или плацебо.

МЕТОДЫ

Субъекты

Испытуемые, принимавшие алкоголь, лекарства или пищевые добавки, были исключены из исследования. В качестве участников исследования были включены двенадцать здоровых добровольцев мужского пола (возраст $24 \pm 0,8$ года, рост $171,8 \pm 1,5$ см, вес $68,2 \pm 2,3$ кг, VO_{2max} $49,7 \pm 2,2$ мл /кг-1/ мин-1). Исходные значения VO_{2max} были измерены за 72 ч. до начала исследования. Письменное информированное согласие было получено после разъяснения цели и экспериментальных процедур исследования. Настоящее исследование было одобрено соответствующими университетскими институциональными наблюдательными советами и выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации.

Напитки

Опресненная вода с ГОМ, взятая из западной части Тихого океана (глубина 662 метра), была любезно предоставлена «Тайвань Йес Дип Оушен Уотер Ко., Лтд.» (Taiwan Yes Deep Ocean Water Co., Ltd.) (Хуалянь, Тайвань). Перед использованием воду с ГОМ фильтровали с помощью микрофильтра (удаление микроорганизмов) и ультрафильтра (удаление макромолекул и вирусов). Молекулы размером более 1,5 КДа были удалены после этой процедуры двойной фильтрации. Для заслепления разницы вкуса ГОМ и плацебо в каждый напиток добавляли одинаковое количество сахарозы, искусственных ароматизаторов, цитрата, цитрусового сока, кальция лактата, калия хлорида, витамина С и смешанных аминокислот. Для приготовления напитка с плацебо использовалась водопроводная вода, очищенная методом обратного осмоса.

Дизайн исследования

Для настоящего исследования был модифицирован протокол физической нагрузки, используемый Nose et al. [11]. Испытуемые должны были бежать на моторизованной беговой дорожке с 40% VO_{2max} при комнатной температуре 30°C до снижения массы тела на 3% (максимальное время бега 240 мин.). Во время восстановления испытуемые употребляли чистую воду или воду, содержащую перечисленные выше ингредиенты, в количестве, эквивалентном 1,5-кратной потере массы тела [12]. Вода с добавками была равномерно разделена на 4 части и принималась с интервалом 30 мин. Показатели физической работоспособ-

ности (аэробная способность и сила мышц нижней части тела), физиологический стресс и повреждение мышц определялись через 4, 24 и 48 ч в течение периода восстановления. Для контроля возможных искажающих эффектов индивидуальных вариаций был использован рандомизированный двойной слепой перекрестный дизайн с испытаниями с интервалом 7 дней.

Способность к физической нагрузке

Аэробная способность (максимальное потребление кислорода, VO_{2max}) и пиковая сила мышц нижней части тела являлись показателями физической работоспособности, выбранными для определения степени восстановления после физической усталости. Показатель VO_{2max} оценивался по протоколу бега на беговой дорожке Брюса. Этот протокол включает 5-мин. разминку и постепенное увеличение скорости и уровня каждые 3 мин. до полного изнурения. Подтверждением достижения значения VO_{2max} являлось значение коэффициента дыхательного обмена (RER), превышающее 1,1, и плато VO_2 с увеличением рабочей нагрузки. Образцы выдыхаемых газов анализировали с помощью MetaMax3B («Кортекс Биофизик» (Cortex Biophysik), Нонненштрассе, Лейпциг, Германия). Пиковая сила мышц нижней части тела оценивалась с помощью стабилметрической платформы Bertec (4060-NC2000, «Бертек Корпорейшн» (Bertec Corporation), Колумбус, Огайо, США) с частотой регистрации 1000 Гц. Каждый испытуемый выполнил 3 повторения максимальных приседаний с углом сгибания колена 90° до полного разгибания. Субъектам подавали сигнал, когда нужно прыгать, с помощью лампы, расположенной в 2 метрах перед ними на уровне глаз. Между прыжками был предусмотрен минутный отдых. Скорость и сила каждого прыжка рассчитывались по вертикальному усилию реакции грунта (VGRF) в соответствии с теоремой импульса-момента ($VGRF \times \text{время} = \text{масса тела} \times \Delta V$, ΔV – изменение вертикальной скорости) («Инновейтив Спортс Трейнинг, Инк» (Innovative Sports Training, Inc), Чикаго, Иллинойс, США). Мгновенная скорость определялась путем добавления ΔV к предыдущему временному интервалу, начиная с нуля в начале прыжка. Мгновенная сила была получена из произведения VGRF, измеренного стабилметрической платформой, и рассчитанной мгновенной скорости [13]. В качестве пиковой силы было выбрано пиковое значение мгновенной силы в течение всего периода каждого прыжка. Значения пиковой силы 3 прыжков были усреднены для статистического расчета.

Биохимический анализ

Образцы венозной крови были проанализированы на миоглобин плазмы («Иммунолоджи Консалтантс Лэборэтори, Инк.» (Immunology Consultants Laboratory, Inc.), Орегон, США), вещества, реагирующие с тиобарбитуровой кислотой (TBARS) («Кайман Кемикал Компани» (Cayman Chemical Company), Энн-Арбор, Мичиган, США), кортизол («АйБиЭль-Америка, Инк.» (IBL-America, Inc.), Миннесота, США), эритропоэтин («эБиосайенс» (eBioscience), Вена, Австрия), ИЛ-6 («эБиосайенс», Вена, Австрия) и тестостерон («НоваТек Иммунодиагностика ГмбХ» (NovaTec Immundiagnostica GmbH), Дитценбах, Германия) с помощью ридера иммуносорбентов с иммобилизованными ферментами (ELISA) («Текан Гениос» (Tecan Genios), Зальцбург, Австрия). Креатинкиназу плазмы анализировали ферментативно с использованием настольного анализатора DT-60II («Джонсон-энд-Джонсон» (Johnson and Johnson), Нью-Йорк, США).

Таблица 1. Минералы и микроэлементы в напитке с содержанием глубокоководной океанической минеральной воды

Минерал	Плацебо (мг/л)	ГОМ (мг/л)
Na	38,3	119
K	75,6	115,6
Ca	53,1	54,6
Mg	3,24	140
Микроэлементы	Плацебо (мкг/л)	ГОМ (мкг/л)
Li	Не обнаруживается	17
Rb	Не обнаруживается	16
B	Не обнаруживается	1590
Осмолярность	226 (мОсм/л)	249 (мОсм/л)

Статистический анализ

Все значения выражены в процентах от значения исходного уровня (среднее значение \pm среднеквадратичная ошибка). Двухфакторный дисперсионный анализ с повторяющимися измерениями использовался для сравнения воды с ГОМ и очищенной воды в определенные моменты времени в течение периода восстановления. Для сравнения различий в процедуре приема в каждый момент времени использовался парный t-критерий с поправкой Бонферрони. Вероятность ошибки I типа менее 5% считалась статистически значимой.

Результаты

Географическое расположение глубокоководных океанических минералов представлено на Рисунке 1. Концентрации минералов и микроэлементов в глубокоководных океанических отложениях представлены в Таблице 1. Наш протокол физических испытаний успешно вызывал длительную физическую усталость относительно аэробной способности нашего контрольного испытания (вода, очищенная обратным осмосом) в течение 48 ч. восстановления (Рисунок 2А, $P < 0,05$). Добавки с ГОМ полностью восстановили потерю аэробной способности до исходного уровня в течение 4 ч. На силу мышц нижней части тела наш протокол физической нагрузки не повлиял, однако добавление ГОМ увеличило силу примерно на 10% по сравнению с исходным уровнем (Рисунок 2В) через 4 и 24 ч. во время восстановления ($P < 0,05$).



Рисунок 1. Географическое расположение глубокоководных океанических минералов. Черный квадратик обозначает место сбора морской воды, обеспечивая кратчайшее расстояние по трубопроводу от суши до глубокоководного участка океана (глубина 662 метра у побережья Хуаляня, Тайвань) вдоль циркумтихоокеанского пояса (известного как Тихоокеанское вулканическое огненное кольцо) в Восточной Азии.

Korea	Корея
China	Китай
Japan	Япония
Hualien, Taiwan	Хуалянь, Тайвань

Реакции гормона стресса представлены на Рисунке 3 и подтверждают один и тот же физиологический стресс, возникающий во время каждого испытания. Как в контрольной, так и в группе ГОМ физическая нагрузка вызвала временное повышение уровня ИЛ-6 в плазме крови (14%, $P < 0,05$) через 4 ч. восстановления в сопоставимой степени (Рисунок 3В). Это увеличение снизилось до исходного уровня в течение 24 ч. Аналогично мы наблюдали повышение уровня эритропоэтина на 14% ($P < 0,05$) через 4 ч. восстановления для обеих групп. Однако к 24 часам восстановления уровень эритропоэтина упал ниже исходного значения и все еще был ниже исходного уровня через 48 ч. восстановления ($P < 0,05$). Уровень кортизола и тестостерона снизился через 4 ч. восстановления (на 46 и 52%, $P < 0,05$) и вернулся близко к исходному уровню через 24 и 48 ч. после нагрузки. Опять же, не наблюдалось различий в группах, связанных с этими гормонами.

Креатинкиназа и миоглобин плазмы, известные как маркеры мышечного повреждения, вызванного физической нагрузкой [14], представлены на Рисунке 3. Постепенное повышение уровня креатинкиназы наблюдалось через 48 ч после нагрузки в контрольной группе (Рисунок 4А), в то время как ГОМ устранили это увеличение ($P < 0,05$). Незначительное увеличение уровня миоглобина наблюдалось через 4 и 24 ч. после физической нагрузки в контрольной группе, в то время как после приема ГОМ уровень миоглобина был значительно ниже контрольного уровня через 4 и 24 ч. восстановления (Рисунок 4В). Результаты для окислительных маркеров – вторичных продуктов перекисного окисления липидов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (TBARS): показаны на Рисунке 4С. Уровень TBARS значительно увеличивался в контрольной группе через 4 и 24 ч. восстановления ($P < 0,05$), увеличиваясь только через 4 ч. восстановления в группе ГОМ.

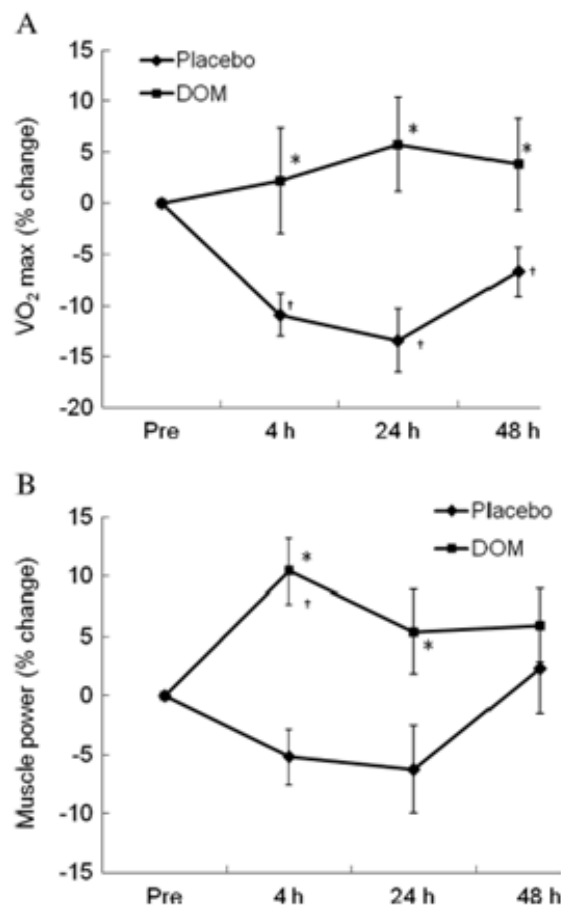


Рисунок 2. Способность человека к физической нагрузке. ГОМ увеличили восстановление аэробной способности после изнуряющей нагрузки (А) и снизили способность силы мышц нижней части тела (В) во время восстановления.* Значимая разница по сравнению с плацебо, $P < 0,05$. † Значимая разница по сравнению с уровнем до нагрузки, $P < 0,05$.

VO _{2max} (% change)	Максимальное потребление кислорода (% изменения)
Placebo	Плацебо
DOM	ГОМ
Pre	До начала нагрузки
h	ч
Muscle power (% change)	Сила мышц (% изменения)

Обсуждение

В настоящем исследовании мы предполагаем, что, если наземные организмы эволюционировали из глубокоководных океанов [10], потребление человеком воды с глубокоководными океаническими минералами (ГОМ) может восполнить потерю молекулярной сложности, связанную с эволюционной миграцией с моря на сушу, а также оптимизировать биологическую приспособленность. В этой работе мы приводим доказательства, что опресненная вода с ГОМ, взятыми с 662 метров ниже уровня моря, может существенно ускорить восстановление после физической аэробной нагрузки и повысить мышечную силу нижней части тела после длительного периода обезвоживающих упражнений. Это улучшение, по-видимому, связано с полным устранением вызванного физической нагрузкой повреждения

мышц, что позволяет предположить, что ГОМ содержит компоненты, которые могут дополнять и усиливать молекулярную и клеточную сложность человека для минимизации энтропийного стресса, возникающего при длительной физической нагрузке при высокой окружающей температуре.

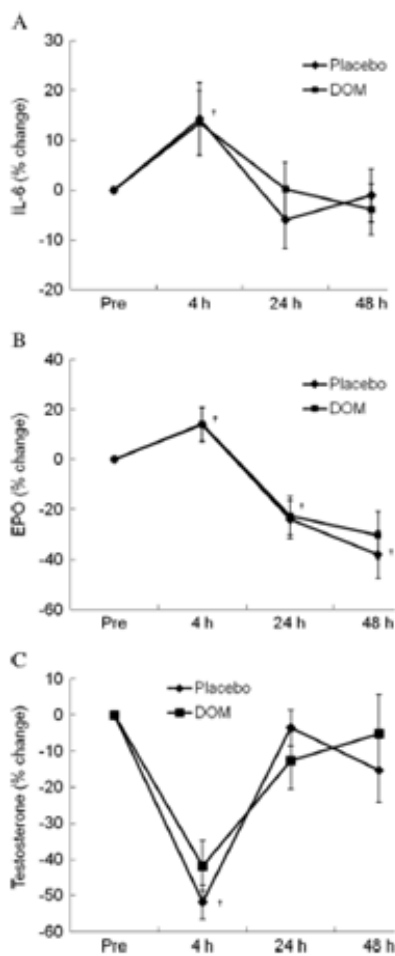


Рисунок 3. Гормоны стресса. Нагрузка приводит к повышению уровня ИЛ-6 (А) и эритропоэтина, $P < 0,05$ (В) в плазме для обеих групп в одинаковой степени. Уровень тестостерона был понижен в обеих группах во время периода восстановления, $P < 0,05$ (С) и вернулся к исходному уровню через 24 ч восстановления. Не наблюдалось разницы между группами в реакции гормона стресса после физической нагрузки. † Значимая разница по сравнению с уровнем до нагрузки, $P < 0,05$

IL-6 (% change)	ИЛ-6 (% изменения)
Placebo	Плацебо
DOM	ГОМ
Pre	До начала нагрузки
h	ч
EPO (% change)	Эритропоэтин (% изменения)
Testosterone (% change)	Тестостерон (% изменения)

Ключевые компоненты ГОМ, способствующие наблюдаемым эргогенным эффектам, точно не известны. В исследовании ГОМ, взятые из западной части Тихого океана, характеризуются обогащенным содержанием бора, магния, лития и рубидия. В ГОМ содержание бора (1,59 мг/л), который в настоящее время считается важным питательным элементом для человека, в 5-10 раз превышает содержание в сыворотке крови человека (ок. 0,2-0,3 мг/л) [15]. Известно, что бор ослабляет вызванное физической нагрузкой повышение уровня лактата в плазме крови у

животных [16] и предотвращает потерю магния у человека [17]. Концентрация магния в сыворотке крови и потребление магния с пищей, как известно, коррелируют с мышечной силой [18, 19]. Таким образом, минералы и микроэлементы в ГОМ могут работать совместно для поддержания нормальной работоспособности человека.

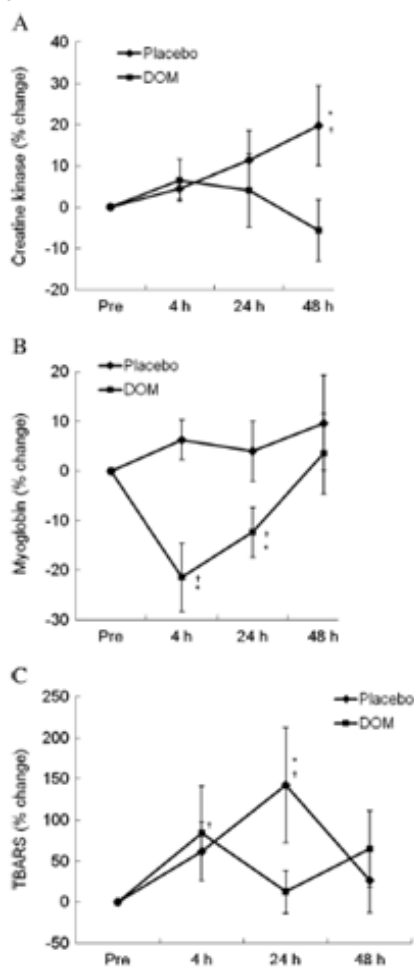


Рисунок 4. Маркеры повреждения мышц. Повреждение мышц, вызванное нагрузкой, снижается при приеме ГОМ согласно понижению реакции креатинкиназы (А) и миоглобина (В) во время периода восстановления. ГОМ также ослабил окислительные повреждения (TBARS), увеличенные при нагрузке (С). * Значимая разница по сравнению с плацебо, $P < 0,05$ † Значимая разница по сравнению с уровнем до нагрузки, $P < 0,05$

Creatine Kinase (% change)	Креатинкиназа (% изменения)
Placebo	Плацебо
DOM	ГОМ
Pre	До начала нагрузки
h	ч
Myoglobin (% change)	Миоглобин (% изменения)
TBARS (% change)	Побочные продукты перекисного окисления липидов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (% изменения)

Наблюдаемое влияние ГОМ на ускорение восстановления после усталости тесно связано с устранением мышечного повреждения, вызванного физической нагрузкой [20, 21]. Повышение уровня этих маркеров повреждения мышц обычно происходит параллельно с усилением окислительного повреждения [22].

Наши результаты уровня вторичных продуктов перекисного окисления липидов, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (TBARS), достаточно согласуются с результатами для маркеров повреждения мышц ($P < 0,05$). Более высокое содержание магния, лития и рубидия в ГОМ может быть связано с усилением антиоксидантной способности против окислительного стресса во время восстановления после физических нагрузок [23-25]. У животных недостаток магния в рационе приводит к увеличению выработки свободных радикалов [26], в то время как добавление магния устраняет выработку свободных радикалов, вызванную реперфузией ишемии [23] и употреблением алкоголя [27]. Литий может увеличить способность к поглощению свободных радикалов у животных [25] и таким образом помочь повысить устойчивость клетки к разрушительной атаке свободных радикалов [28].

Одной из существенных особенностей ГОМ является обогащенное содержание рубидия по сравнению с пресной водой. Концентрация рубидия в морской воде значительно возрастает по мере того, как глубина океана приближается к 450 метрам. Концентрация этого микроэлемента в плазме крови человека варьируется в пределах 40-310 мкг/л [29], что примерно в 2,5-20 раз выше, чем в ГОМ. Однако рубидий обладает высокой скоростью удержания в организме человека, и для выведения 50% введенного рубидия с мочой и калом требуется 39-134 дня [30]. По сравнению с крысами, которые получали рубидий, крысы, которые получали рацион без рубидия, демонстрируют более высокое содержание азота мочевины в плазме [31], что позволяет предположить, что рубидий необходим для сохранения биологической целостности при ежедневном энтропийном стрессе. Концентрация рубидия в головном мозге человека уменьшается с возрастом [32] и было обнаружено, что добавление рубидия хлорида увеличивает спонтанную физическую активность у животных [33]. Показано, что добавление лития и рубидия в морскую воду увеличивает частоту движения медуз [34]. Рекомендуемая диетическая норма рубидия для человека еще не определена. Рубидий демонстрирует взаимозаменяемость с калием в различных биологических системах, что означает, что дефицит рубидия может быть компенсирован добавлением калия для многих видов [35]. По сравнению с калием рубидий может быть эволюционно предпочтительным источником питания для животных.

Океаны являются крупнейшими водными резервуарами на земле, которые состоят из большого разнообразия водорастворимых химических компонентов, питающих огромное количество морских организмов [8, 36]. Однако питательные вещества в чистой поверхностной воде океана, скорее всего, исчерпаны из-за высокой скорости фотосинтеза [8, 37]. По сравнению с поверхностной водой океанов вода с ГОМ может оказывать большее метаболическое преимущество, о чем свидетельствует ее превосходное действие на устранение окислительного стресса и предотвращение повреждения сосудов у наземных животных, получавших рацион с высоким содержанием холестерина [4]. Это наблюдение подразумевает, что водорастворимые компоненты, уникальные для ГОМ (или обогащенные ими), могут играть важную роль в поддержке метаболических функций наземных животных, когда они сталкиваются с различными физиологическими и метаболическими проблемами.

Ограничением исследования является специфичное для конкретных мест распределение минералов и микроэлементов в океане, что не позволяет нам сделать вывод о том, что ГОМ со всех уголков мира может давать те же эргогенные преимущества, что и представленные в работе. Географическая специфика подтверждается отчетом, в котором документируются относительно более низкие концентрации серебра, кобальта и никеля в северной части Атлантического океана, чем в других крупных океанах [38]. Кроме того, содержание минералов и микроэлементов также изменяется в зависимости от глубины океана [37, 39], а гидротермальная активность и диффузия из донных отложений также могут влиять на состав минералов и микроэлементов в океанических водах [40]. Эксперименты с использованием вод Антарктического океана также показали, что не вся глубинная океанская вода обеспечивает сопоставимые биогенные преимущества [41].

Что касается применения, мы подтверждаем преимущество добавок с высоким содержанием ГОМ в снижении физической усталости с устранением окислительного стресса после нагрузки. Однако сообщалось о снижении эффекта тренировок, когда антиоксидант был добавлен тренированным мужчинам [42], что позволяет предположить, что свободные радикалы могут играть определенную роль в адаптации к тренировкам. Таким образом, вопрос о том, может ли снижение окислительного стресса с помощью добавок с ГОМ оказывать негативное влияние на адаптацию к тренировкам, требует дальнейшего изучения.

Заключение

Наши результаты демонстрируют, что опресненная вода с ГОМ может повысить устойчивость человека к энтропийным физическим нагрузкам, и этот положительный результат, по-видимому, связан с его защитой от повреждения мышц, вызванного физической нагрузкой. ГОМ включают многие минералы и микроэлементы, которые не могут быть синтезированы организмом человека *de novo*. Таким образом, кратковременный дисбаланс между потерей и приобретением необходимых минералов и микроэлементов после длительной физической нагрузки может лежать в основе замедленного восстановления после физической усталости у человека. В соответствии с гипотезой происхождения жизни из глубинных океанических вод результаты настоящего исследования подразумевают, что ГОМ может обеспечить человека необходимыми питательными элементами, которые ускоряют восстановление после энтропийного физического стресса.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов

Ц.-В. Х., В.-Х. Ж., Ю.-Ш. Ц., Ч.-Ю. Ч., Ч.-Я. Х. и Ц.-Х. Г. разработали дизайн исследования. Ц.-В. Х. и Ю.-Ш. Ц. провели исследование. Ц.-В. Х. выполнил статистический анализ. Ц.-В. Х., Д. Л. А. и Ц.-Х. Г. написали текст рукописи. Все авторы прочитали и одобрили окончательную версию рукописи.

Благодарности

Настоящее исследование было проведено при частичной поддержке в виде грантов Бюро промышленного развития Министерства экономики (грант № 9831101073-6) и Национального научного совета Тайваня (грант № 99-2410-H-154-004-MY3).

Информация об авторах

1 Лаборатория биохимических исследований физической нагрузки, Тайбэйский колледж физической культуры, Тайбэй, Тайвань, 2 Отделение анестезиологии, Дальневосточная мемориальная больница, Нью-Тайбэй, Тайвань, 3 Кафедра кинезиологии и медицины, Техасский университет Остина, Остин, Техас, США, 4 Институт последипломного образования основных медицинских дисциплин, Китайский медицинский университет, Тайчжун, Тайвань, 5 Школа китайской медицины, Колледж китайской медицины, Китайский медицинский университет, Тайчжун, Тайвань, 6 Кафедра биотехнологии, Азиатский университет, Тайчжун, Тайвань.

Получено: 28 ноября 2012 года

Принято: 07 февраля 2013 года

Опубликовано: 12 февраля 2013 года

Библиография

1. Martin W, Baross J, Kelley D, et al: Hydrothermal vents and the origin of life. *Nat Rev Micro* 2008, 6:805-814.
2. Whitfield J: Nascence man. *Nature* 2009, 459:316-319.
3. Farrington JW: Achievements in chemical oceanography, Ocean Studies Board NRC (Series Editor): 50 years of ocean discovery: National Science Foundation 1950-2000 Washington, D.C.: The National Academics Press; 2000.
4. Miyamura M, Yoshioka S, Hamada A, et al: Difference between deep seawater and surface seawater in the preventive effect of atherosclerosis. *Biol Pharm Bull* 2004, 27:1784-1787.
5. Fu ZY, Yang FL, Hsu HW, et al: Drinking deep seawater decreases serum total and low-density lipoprotein-cholesterol in hypercholesterolemic subjects. *J Med Food* 2012, 15:535-541.
6. Lee CL, Kung YH, Wang JJ, et al: Enhanced hypolipidemic effect and safety of red mold dioscorea cultured in deep ocean water. *J Agric Food Chem* 2013, 59:8199-8207.
7. Radhakrishnan G, Yamamoto M, Maeda H, et al: Intake of dissolved organic matter from deep seawater inhibits atherosclerosis progression. *Biochem Biophys Res Commun* 2009, 387:25-30.
8. Othmer DF, Roels OA: Power, fresh water, and food from cold, deep sea water. *Science* 1973, 182:121-125.
9. Venturi S: Evolutionary significance of iodine. *Curr Chem Biol* 2011, 5:155-162.
10. Gingerich PD, Haq M, Zalmout IS, et al: Origin of whales from early artiodactyls: hands and feet of Eocene protocetidae from Pakistan. *Science* 2001, 293:2239-2242.
11. Nose H, Mack GW, Shi XR, et al: Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol* 1988, 65:325-331.
12. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB, et al: Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and drink sodium content. *Med Sci Sports Exerc* 1996, 28:1260-1271.
13. Wright GA, Pustina AA, Mikat RP, et al: Predicting lower body power from vertical jump prediction equations for loaded jump squats at different intensities in men and women. *J Strength Cond Res* 2012, 26:648-655. doi:10.1519/JSC.0b013e3182443125.
14. Siegelman AJ, Silverman LM, Evans WJ: Elevated skeletal muscle creatine kinase mb isoenzyme levels in marathon runners. *JAMA* 1983, 250:2835-2837.
15. Friis-Hansen B, Aggerbeck B, Jansen JA: Unaffected blood boron levels in newborn infants treated with a boric acid ointment. *Food Chem Toxicol* 1982, 20:451-454.
16. Yazici Z, Kaya Y, Baltaci AK, et al: The effects of boron administration on plasma leptin and lactate levels in ovariectomized rats which had acute swimming exercise. *Neuro Endocrinol Lett* 2008, 29:173-177.
17. Nielsen FH: Biochemical and physiologic consequences of boron deprivation in humans. *Environ Health Perspect* 1994, 102:59-63.
18. Dominguez LJ, Barbagallo M, Lauretani F, et al: Magnesium and muscle performance in older persons: the inchiati study. *Am J Clin Nutr* 2006, 84:419-426.
19. Santos DA, Matias CN, Monteiro CP, et al: Magnesium intake is associated with strength performance in elite basketball, handball and volleyball players. *Magnes Res* 2011, 24:215-219.
20. Friden J, Lieber RL: Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med Sci Sports Exerc* 1992, 24:521-530.
21. Rowlands DS, Rossler K, Thorp RM, et al: Effect of dietary protein content during recovery from high-intensity cycling on subsequent performance and markers of stress, inflammation, and muscle damage in well-trained men. *Can J Appl Physiol* 2008, 33:39-51.
22. Wang JS, Huang YH: Effects of exercise intensity on lymphocyte apoptosis induced by oxidative stress in men. *Eur J Appl Physiol* 2005, 95:290-297.
23. Garcia LA, DeJong SC, Martin SM, et al: Magnesium reduces free radicals in an in vivo coronary occlusion-reperfusion model. *J Am Coll Cardiol* 1998, 32:536-539.
24. Manuel y Keenoy B, Moorkens G, Vertommen J, et al: Magnesium status and parameters of the oxidant-antioxidant balance in patients with chronic fatigue: effects of supplementation with magnesium. *J Am Coll Nutr* 2000, 19:374-382.
25. Shukla GS: Mechanism of lithium action: In vivo and in vitro effects of alkali metals on brain superoxide dismutase. *Pharmacol Biochem Behav* 1987, 26:235-240.
26. Rock E, Astier C, Lab C, et al: Dietary magnesium deficiency in rats enhances free radical production in skeletal muscle. *J Nutr* 1995, 125:1205-1210.
27. Markiewicz-Gorka I, Zawadzki M, Januszewska L, et al: Influence of selenium and/or magnesium on alleviation alcohol induced oxidative stress in rats, normalization function of liver and changes in serum lipid parameters. *Hum Exp Toxicol* 2011, 30:1811-1827.
28. Adipudi V, Reddy VK: Effect of chronic lithium chloride on membrane adenosine triphosphatases in certain postural muscles of rats. *Eur J Pharmacol* 1994, 259:7-13.
29. Sheldon JH, Ramage H: A spectrographic analysis of human tissues. *Biochem J* 1931, 25:1608-1627.
30. Burch GE, Threefoot SA, Ray CT: The rate of disappearance of rb86 from the plasma, the biologic decay rates of rb86, and the applicability of rb86 as a tracer of potassium in man with and without chronic congestive heart failure. *J Lab Clin Med* 1955, 45:371-394.
31. Yokoi K, Kimura M, Itokawa Y: Effect of low dietary rubidium on plasma biochemical parameters and mineral levels in rats. *Biol Trace Elem Res* 1996, 51:199-208.
32. Hock A, Demmel U, Schicha H, et al: Trace element concentration in human brain. *Brain* 1975, 98:49-64.
33. Johnson FN: Effects of alkali metal chlorides on activity in rats. *Nature* 1972, 238:333-334.
34. Hoffmann C, Smith DF: Lithium and rubidium: effects on the rhythmic swimming movement of jellyfish. *Cell Mol Life Sci* 1979, 35:1177-1178.
35. Relman AS: The physiological behavior of rubidium and cesium in relation to that of potassium. *Yale J Biol Med* 1956, 29:248-262.
36. Alverson DL, Longhurst AR, Gulland JA, et al: How much food from the sea? *Science* 1970, 168:503-505.
37. Butler A: Acquisition and utilization of transition metal ions by marine organisms. *Science* 1998, 281:207-210.
38. Schutz DF, Turekian KK: The investigation of the geographical and vertical distribution of several trace elements in sea water using neutron activation analysis. *Geochim Cosmochim Acta* 1965, 29:259-313.
39. James RH, Palmer MR: Marine geochemical cycles of the alkali elements and boron: The role of sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 2000, 64:3111-3122.
40. Von Damm KL, Edmond JM, Grant B, et al: Chemistry of submarine hydrothermal solutions at 21n, east pacific rise. *Geochim Cosmochim Acta* 1985, 49:2197-2220.
41. Martin JH, Fitzwater SE, Gordon RM: Iron deficiency limits phytoplankton growth in antarctic waters. *Global Biogeochemical Cycles* 1990, 4:5-12.
42. Gomez-Cabrera MC, Domenech E, Romagnoli M, et al: Oral administration of vitamin C decreases muscle mitochondrial biogenesis and hampers training-induced adaptations in endurance performance. *Am J Clin Nutr* 2008, 87:142-149.

ИЦО: 10.1186/1550-2783-10-7

Цитирование настоящей статьи: Хоу и др.: Вода с содержанием глубоководных океанических минералов ускоряет восстановление после физической усталости. Журнал международного общества спортивного питания, 2013 г., 10:7 (Journal of the international Society of Sports Nutrition 2013 10:7)

Отправьте вашу следующую рукопись в «БиоМед Централ» и воспользуйтесь всеми преимуществами:

- удобное представление онлайн;
- тщательная экспертная оценка;
- отсутствие ограничений по пространству или сборов за цветные иллюстрации;
- мгновенная публикация после принятия;
- включение в PubMed, CAS, Scopus и Google Scholar;
- исследования, которые свободно доступны для повторного распространения.

Отправьте свою рукопись на веб-сайте: www.biomedcentral.com/submit.

«БиоМед Централ»