

Процессы метаболизма при тренировках на подводной дорожке при двух уровнях воды

Jill C. Napoletan, M.S. и
Richard W. Hicks, Ph.D.

"Ходьба на подводной дорожке при двух уровнях воды требует больших затрат энергии, чем на традиционной бегущей дорожке, однако бег в воде на глубине «по грудь» не отличается от бега на воздухе."

Jill C. Napoletan, M.S.-Sports Medicine Consultant, Hest Fitness Products, Austin, TX
Richard W. Hicks, Ph.D.-Chief Executive Director, Jimmy Heuga Foundation, Avon, CO.

Несмотря на недавнее повышение интереса к гимнастике в воде, имеется не много исследований, в которых надежно проводится сравнение физиологических различий между упражнениями, проводимыми в зале и при погружении в воду. Основная проблема заключается в трудности воспроизведения одинаковых биомеханических и сердечно-сосудистых нагрузок при рассматриваемых условиях.

Из-за лобового сопротивления воды, возникающего при движении тела, трудно воспроизвести обычную походку и биомеханическую нагрузку во время ходьбы или бега в бассейне. Погружение в воду на глубину «по грудь» приводит к резкому ограничению интенсивности движений, а попытка увеличить скорость движения искажает походку, создавая движение с «неподвижным туловищем» или «головой вперед».

При беге на глубине, отсутствует опора для бега. Из-за того, что приземление на пятку и толчок пальцами не происходят, мы не можем поставить соответствие с бегом на земле ни по биомеханике походки, ни по EMG⁴.

Достоверные сравнения расхода энергии¹⁸ в ранних исследованиях были осложнены несоответствием измерительной аппаратуры в условиях действия выталкивающей силы, из-за которого различные приборы показывали различные значения.

К тому же, измерять и контролировать интенсивность движения в воде сложнее, чем на суше. Анализ состава вдыхаемого и выдыхаемого газа – это надежный индикатор произведенной работы, но сбор этих данных в условиях плавательного бассейна в лучшем случае связан с громоздкой аппаратурой. Хотя частота сердечного ритма и легко поддается измерению с помощью размещенных на теле датчиков, это не лучший показатель интенсивности упражнений в воде. Предыдущие исследования показали, что сердечный ритм при упражнениях в воде снижен по отношению к показателю потребления кислорода.¹⁵⁻⁷⁻⁸ Использование этого параметра интенсивности, таким образом, может привести к недооценке величины абсолютной работы.

Использование подводной дорожки может решить множество этих проблем. Движение пола происходит на скорости до 8 миль в час, в то время как человек остается практически на одном месте, лобовое сопротивление значительно снижено, таким образом, не требуется существенное изменение характера походки, и можно проводить занятия при высокой интенсивности. Сбор данных также облегчается из-за относительной стационарности субъекта.

Целью настоящего исследования было сравнение затраты энергии (расход кислорода, сердечный ритм и усилия) при беге на традиционной бегущей дорожке (LT) и упражнениях на подводной дорожке (UT) при двух уровнях глубины. К экспериментам были привлечены сотрудники Наблюдательного совета Центра Джимми Хеуга, Avon, Штата Колорадо. (Institutional Review Board of the Jimmie Heuga Center, Avon, Colorado).

Методика

Участники испытаний

Девять испытуемых (пять женщин и четыре мужчины) согласились на испытания. Возраст участников находился в интервале от 20 до 43, при среднем значении 32 года. Участники были здоровы и определяли себя как «физически активные». Все испытуемые дали согласие проводить упражнения при максимальном усилии три типа упражнений.

Аппаратура

Основные испытания проводились на подводной дорожке Quinton™ Treadmill, и результаты фиксировались на самописце EKG. Максимальное усилие по протоколу было достигнуто при 3-минутной стадии, увеличения скорости по 1 миле в час. Наклон не превышал 0°, для совместимости условий испытаний с подводной дорожкой. Упражнения заканчивались при респираторном показателе > 1.1, или же при невозможности испытуемым продолжать. Каждый цикл упражнений состоял из ходьбы при скорости 2 мили в час и бега при 3.5 мили в час; один цикл проводился на традиционной дорожке (Trackmaster™, модель 100E), и два других на UT (AquaCiser II 5). Упражнения на UT производились при двух уровнях погружения: на глубине бедра и «по грудь». Первая глубина определялась как средняя точка между верхней передней остью и центром коленной чашечки. Другая, на уровне мечевидного отростка. Температура воды 90°F (32°C). Дорожки калибровались и уровень выставлялся в 0° в день испытаний. Все выполняли упражнения при двух

анализировался с помощью непрямого калориметра (Сенсор Medics metabolic cart). Сердечный ритм измерялся телеметрически (импульсный монитор Polar™).

Испытуемых просили ежеминутно фиксировать ощущения усилия (RPE) по 10-бальной шкале Борга. Эти данные анализировались с помощью ANOVA и тестирования post hoc для парного сравнения.

Сбор данных

Сбор данных проходил 5 дней. Базовые исследования проводились в первый день, после него был день отдыха. Три цикла упражнений проводились в Vail Center for Physical Therapy, Vail, Colorado. На третий и пятый дни проводились упражнения на UT при случайном выборе глубины. Упражнения на традиционной дорожке проводились на четвертый день.

Каждое занятие перед сбором данных начиналось с 3-минутной разминки. Вдыхаемый и выдыхаемый воздух анализировался и усреднялся каждые 20 секунд; а сердечный ритм отслеживался телеметрически. Дважды в течение каждой 5-минутной стадии участников просили оценить уровень нагрузки по 10-бальной шкале, которую показывали перед ними.*

Участники шли 5 минут при скорости 2 мили в час и бежали 5 минут при скорости 3.5 мили в час при трех условиях: на традиционной дорожке, на UT на глубине «по мечевидный отросток»; и на глубине бедра.

Значения потребления кислорода (VO₂ в мл/кг-1/мм-1), сердечный ритм (Удар в мин.), и ощущения напряжения

Данные сравнения анализировались с помощью ANOVA и тестирования post-hoc

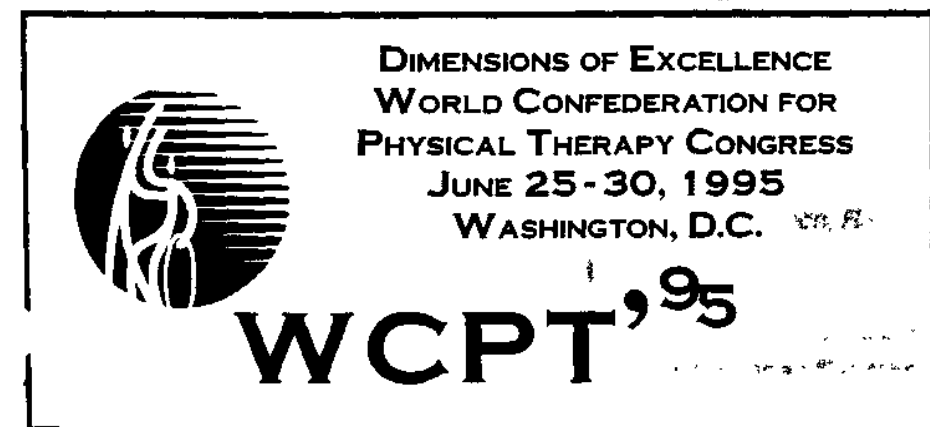
Результаты.

Результаты показали значительное отличие в поглощении кислорода при всех испытаниях при ходьбе (2 мили в час), где $p < .0001$. Величина UT VO₂ при глубине бедра была выше, чем обе UT VO₂ при глубине «по грудь» и LT VO₂, с соответствующим средним отклонением 3 и 5.4 мл/кг (см. Рис. 1). Измерения среднего значения сердечного ритма при этой скорости показали только одну значительно отличающуюся величину, между LT и UT на глубине бедра; среднее значение при глубине бедра было на 12.5 уд.в мин выше чем LT, где $p < .0001$ (см. Рис. 2). RPE был также значительно ниже для LT, чем для UT при ходьбе на глубине бедра. (см. Рис. 3).

При скорости 3.5, расход кислорода был значительно выше при беге на UT на глубине бедра, чем на глубине груди (средняя разница 13.6 мл/кг, $p < .001$) или на LT (средняя разница 12.2 мл/кг, $p < .001$). Две последние величины не отличались значительно (см. Рис. 4). Эти же соотношения справедливы для величины сердечного ритма при высоких скоростях; сердечный ритм в упражнениях на LT и на UT при глубине «по грудь» отличался не существенно. Средние значения отличий сердечного ритма от наблюдаемого при беге на глубине бедра были 41 и 39 уд.в мин, $p < .001$ для обоих сравнений. (см. Рис. 5). Анализ RPE при 3.5 мили в час продемонстрировал аналогичные значительные парные расхождения: бег на UT на глубине бедра воспринимался гораздо более трудным чем оба других упражнения UT на глубине груди и бег на LT, с разницей в 1.5 и 2 балла соответственно (см. Рис. 6).

В упражнениях при погружении в воду и на LT не было замечено существенных расхождений параметров при этих скоростях движения.

Несмотря на то, что мужчины достигали несколько больших значений VO₂, характеристика пола не повлияла на полученную разницу результатов.



скоростях в трех режимах. Вдыхаемый и выдыхаемый газ собирался и

(шкала 1 -10) усреднялись в течение 5-минутного периода на каждой стадии.

Обсуждение результатов

Интересно отметить, что ходьба при погружении при обоих уровнях воды требует больших затрат энергии чем ходьба на традиционной бегущей дорожке; однако, бег при погружении «по грудь» не отличается значительно от бега на ЛТ. Вероятно, это явление вызвано наличием фазы полета при беге. Эта фаза позволяет парить в воде над дорожкой, пока она движется вниз. При ходьбе, когда такой фазы нет, требуется точнее соответствовать скорости движения ленты.

Также заслуживает внимания тот факт, что даже при ходьбе на глубине «по грудь», сердечный ритм не отличается сильно от ритма при ходьбе на ЛТ, хотя потребление кислорода отличается значительно. Это, вероятно, можно объяснить облегчением возврата венозной крови, вызванное влиянием гидростатического давления, и эффектом всплытия венозной крови. Хотя это явление ранее объяснялось, как уменьшение сердечного ритма при погружении в воду, скорее всего это реакция непосредственно сердечно-сосудистой системы. Результаты показывают, что при определении нагрузки не следует опираться на значение сердечного ритма, взятые из упражнений на земле, так как это может привести к завышенному значению работы в упражнениях в воде.

Дальнейшее исследование будет продолжено в направлении систематического изучения сердечного выброса при погружении, в сравнении с упражнениями на земле. Также полезно изучить тенденции процессов метаболизма и сердечно-сосудистых явлений в широком диапазоне скорости, глубины и температуры.

Список литературы

- 1 Borg, Gunnar A V Psy chophsical bases of perceived exertion Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol 14, No 5, pp 377-381,1982
- 2 Butts, N.K , Tucker, M ; and Smith, R Maximal responses to treadmill and deep water running in high school female cross country runners Research Quarterly for Exercise and Sport, Vol 62, No 2, pp 236-239 1991
- 3 Delutran, D A , Noble B J, and Wilkmsn,

- J.G. Treadmill and swim bench ergometr in mathletes, runners and swimmers. Journal of Applied Sport Science Research, Vol. 4, No. 2, pp. 31-36,1990.
4. Rynn, T.W. and Soutas-Little, R.W. Mechanical power and muscle action during forward and backward running. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, Vol 17, No. 2, pp. 108-112,1993
5. Gleim, G.W. and Nicholas, J.A. Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. The American Journal of Sports Medicine, Vol. 15, pp. 248-252,1989.
6. Hall, J.; Bisson, D.; and O'Hare, P. The physiology of immersion. Physiotherapy, Vol. 76, No. 9, pp. 517-521,1990.
7. Ritchie, S.E. and Hopkins, W.G. The intensity of exercise in deep-water running. International Journal of Sports Medicine, Vol. 12. pp. 27-29,1991.
8. Towne, G.P. and Bradley, S.S. Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runntrs. Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol. 23, No. 2, pp. 238-241,1990.

AQUATIC
PHYSICAL THERAPY
Resources

PRESENTS
1995 **AQUATIC**
REHABILITATION
SYSTEMS, I, II, III

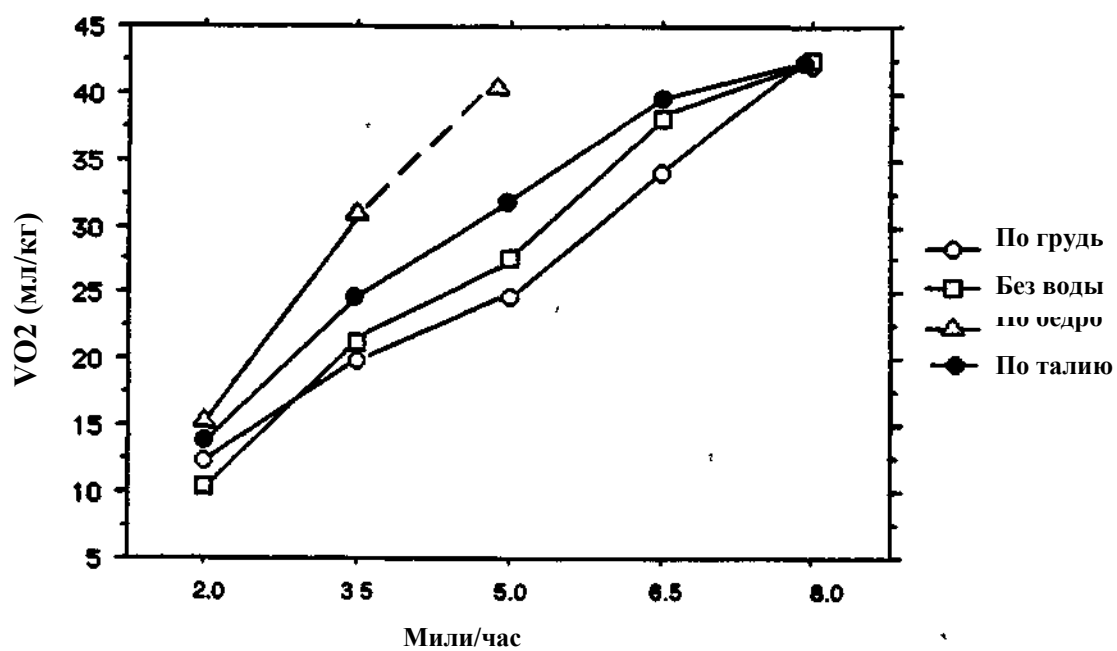
August 5-6
Dunmore, PA

August 19-20
Van Nuys, Ca

Sept. 9-10
Boca Raton, FL

Classes are limited
For Further Information Contact
Thomas J. Tiemeij, PT Director
(708) 810-1717 • Fax (708) 810-1736

ВЛИЯНИЕ УРОНЯ ВОДЫ НА РАСХОД ЭНЕРГИИ



Пунктир означает воображаемые значения

Сравнение потребления кислорода, величины сердечного ритма и минутного сердечного выброса при ходьбе на подводной и бегущей дорожках.

Резюме

Подводная дорожка (UT) в настоящее время используется как в клинических, так и в научных целях для исследования воздействия погружения. Целью настоящего исследования является сравнение метаболических и сердечно-сосудистых процессов, происходящих при занятиях на подводной и традиционной беговой дорожках (LT). Двадцать здоровых испытуемых (10 м/10 ж, 21-38 лет) согласились принять участие в двух аналогичных гимнастических программах – одна на беговой дорожке, другая на подводной. Программа заключалась в ходьбе со скоростью 2 и 3 Мили в час, при угле наклона 0%. Выдыхаемый газ (Q) собирался, и состав его анализировался. Измерялся ритм сердца (HR). Сердечный выброс (Q) измерялся с помощью анализа CO₂ при дыхании (метод анализа окиси углерода при дыхании). Ударный объем (SV) вычислялся как Q/HR. Величина воспринимаемого усилия (RPE) записывалась на каждом этапе. Для сравнения результатов использовался анализ различий при различных скоростях, условиях, а также разницы между результатами мужчин и женщин. Ходьба UT требует большего сердечного выброса и ударного объема, чем при LT на обеих скоростях. Расход кислорода на UT был больше на двух скоростях, с большей разницей при скорости 3 Мили в час. Величина RPE была выше при скорости 3 Мили в час, чем при 2 Мили в час в обоих случаях, и для UT выше, чем для LT. Анализ данных при заданных величинах потребления кислорода демонстрирует величину HR значительно меньшую, а величину SV большую в случае упражнений на подводной дорожке. Результаты показывают, что HR – плохой показатель интенсивности упражнений в воде; и что увеличение скорости ходьбы при погружении приводит к большей по абсолютной величине работе при тех же изменениях параметров при упражнениях на земле.

Ключевые слова: водный, беговая дорожка, погружение, пневмокардиальный, метаболический.

Водная среда становится все популярнее как закалывающая и имеющая терапевтические свойства. Многие работы были посвящены исследованиям физиологических процессов при обычном плавании.^{1,8} Физиология и биомеханика при процессах подводной гимнастики, ходьбы и бега под водой не так широко представлены в литературе. Эти нетрадиционные формы водных упражнений привлекли врачей клиник и специалистов по гимнастике из-за возможности терапевтического и закалывающего действия воды. Они также популярны среди тех, кто хочет воспользоваться выталкивающей силой воды и сопротивлением воды, но без приобретения специальных плавательных навыков, которые возникают из-за необходимости погружения лица в воду. Одной из самых последних разработок в области оборудования для водных упражнений является

подводная дорожка с переменной скоростью движения. Это подводная дорожка была разработана, чтобы избежать ограничений более традиционных водных упражнений: бег при большой глубине лишен стадии приземления, а также стимулировать костные ткани вертикальным нагружением на мелководье. Ходьба и бег под водой приводят к искажению походки из-за лобового сопротивления воды.⁹ Из-за того, что при занятиях человек остается практически на месте, а движется транспортная лента, лобовое сопротивление на подводной дорожке сведено к минимуму.⁹ Это позволяет идти нормальным шагом, а не двигаться головой вперед, как это происходит во время ходьбы по бассейну при упражнениях средней и высокой интенсивности.

Другим преимуществом подводной дорожки может быть то, что она обеспечивает более контролируемые условия для пациентов. На дорожке, которая просто погружается в бассейн можно контролировать скорость и направление движения, в то время как большие специальные системы имеют возможность также контролировать глубину и температуру воды.

Было продемонстрировано, что подводная дорожка может быть эффективным инструментом в физиотерапии. *Napoletan et al.*¹⁰ продемонстрировали, что у пациентов с травмами передней крестообразной связки колена восстановление происходит быстрее, объём мышцы в области бедра и икры увеличивается, увеличивается также сила четырёхглавой мышцы и увеличивается амплитуда движения колена при проведении реабилитационного курса на подводной дорожке по сравнению с курсом упражнений на традиционной дорожке или на стационарном циклическом аппарате. Все пациенты, в этом исследованные также прошли необходимый курс и упражнений в зале.

*Hicks*¹¹ считает, что подводная дорожка это жизнеспособная методика для лечения пациентов с рассеянным склерозом, у которых прежде была негативная реакция на занятиях на бегущей дорожке на земле. Из пяти пациентов, опробовавших методику, никто не увеличил симптоматику, не ухудшил мышечный тонус, силу схвата, остроту зрения, или время ходьбы после выполнения одного сеанса упражнений на подводной дорожке.

*Rosen et al.*¹² сравнил разгрузочные параметры в двух группах пациентов с артрозоартритом колена после 8-недельного лечения. Одна группа занималась на подводной дорожке,

в то время как другая проводила сгибательно-разгибательные упражнения на изокинетическом динамометре. После 8 недель занятий измерения напряжения проводились на том же изокинетическом оборудовании. Группа, занимавшаяся на подводной дорожке, показала улучшения в максимальном вращающем моменте, средненормализованном вращающем моменте, и средней общей работе сгибающей и разгибающей мышц колена, так же как и уменьшение времени ходьбы на 50-футов, в сравнении с группой, занимавшейся на изокинетическом динамометре.

В дополнение к клиническим применениям, подводная дорожка дает большие возможности для контроля научных исследований, помогающих сравнить упражнения в воде с упражнениями на традиционной бегущей дорожке. Из-за значительного снижения лобового сопротивления⁹ и уменьшения амплитуды движения бедра, походка на подводной дорожке не сильно отличается от походки на традиционной дорожке. Такое подобие движений делает возможным лучше определить действие погружения, не осложненное разницей в походке.

Несмотря на клиническую и научную пользу, немного исследований было проведено для определения физиологической реакции на тренировки на подводной дорожке. В первом опубликованном исследовании измерения энергозатрат при ходьбе и беге трусцой на подводной дорожке, *Gleim и Nicholas*¹³ сравнивали расход кислорода в течение ходьбы/бега на подводной дорожке с ходьбой бегом на традиционной дорожке при равных скоростях. Скорости увеличивались от 40.2 до 160.9

Метров/мин (м/м). Глубина воды изменялась в пределах от лодыжки до пупка. Одиннадцать человек, принимавших участие в исследовании, были - здоровые мужчины и женщины возраста 27.5± 1.8 лет.

Исследователи сделали вывод, что при увеличении уровня воды возрастает работа, затрачиваемая на ходьбу и бег. Однако однажды при скорости 134 м/м при уровне глубины по талию, какая-либо разница в метаболических затратах между двумя видами тренажеров не была обнаружена. Авторы не документировали, в какой момент участники с ходьбы переходили на бег, и сделали вывод, что возможно увеличение фазы парения при беге в воде на глубине «по талию» приводит к снижению сопротивления работе.

В дополнение исследователи измеряли различие при ходьбе в воде на глубине «по талию» в течение 20 минут в теплой (86.9°F) и горячей (97.0°F) воде и сравнивали сердечный ритм (HR) и потребление кислорода VO_2 и сравнивали результаты с наземными испытаниями при комнатной температуре (75.2°-79.7°F). Скорость увеличения HR, измеренная по VO_2 , была в теплой воде значительно выше, чем при движении на суше, а в горячей воде выше, чем в теплой. ($p < 0.05$).

В недавно опубликованной статье авторов *Napoletan и Hicks*¹⁴ сравнивались энергозатраты при ходьбе/беге на подводной дорожке с такими же упражнениями на традиционной бегущей дорожке. В исследовании принимали участие 9 здоровых взрослых мужчин и женщин. В работе исследовалось влияние скорости (2.0 и 3.5 миль в час) и уровня воды

HK Вурге, ГОСПОЖА - Кандидат наук в Отделе Образования здоровья и кинезиологии. Университет Штата Техас в Остине. Остин. TX 78712.
JN Craig, ГОСПОЖА - Консультант Исследования Физиологии гимнастики и Консультант гимнастики в Фитнесс Центре. Остин. TX 78712.

JH Wilmore, PhD - Профессор в Отделе Просвещения в области здоровья и кинезиологии. Университет Штата Техас в Остине. Остин. TX 78712.

Вопросы направляйте госпоже Хеиди К. Вурге в Отделе кинезиологии и Просвещения в области Здоровья. 222 Belmont Hall. Университет Штата Техас в Остине. Остин, TX 78712.

Грант: Данный проект был финансируван AquaCiser* Inc, Ferno/Ille. and St. David's Hospital. Austin TX.

Благодарности: Авторы благодарят AquaCiser* Inc., Ferno/Ille. и St David's Hospital за частичное финансирование проекта. Особую благодарность Tim Skelly и Sharon Wentzel и другим в St. David's Rehabilitation Center, тем кто помогал в развитии и координации этого исследовательского проекта. Благодарим всех, кто потратил свое время и силы на эту работу.

(середина бедра и грудь). Результаты показали, что при движении в воде со скоростью 2 мили в час, потребление кислорода было значительно выше как при движении на глубине «по грудь», так и при глубине «на середине бедра» по сравнению с наземными упражнениями. К тому же, при ходьбе при уровне воды «на середине бедра» потребление кислорода выше, чем на глубине «по грудь». Авторы связывают это явление с максимальным сопротивлением, которое вода оказывает на конечности и небольшой выталкивающей силой при ходьбе на глубине середины бедра. При увеличении скорости до 3.5 миль в час и переходе на бег, потребление кислорода при движении в воде было больше, чем на земле только при движении на глубине середины бедра. Существенной разницы между испытаниями при этой скорости на глубине «по грудь» и при движении на земле обнаружено не было. Авторы допускают, что это может быть связано, вероятно, с фазой полета, которая появляется при беге. Эта фаза существует и в воде, и позволяет поминутно всплывать, что приводит к уменьшению энергозатрат.

Хоть эти исследования и предоставили некоторую информацию касательно терапевтических возможностей и физиологического отклика УТ упражнений, эффект этих уникальных упражнений при погружении в воду только начинает становиться понятным. Дальнейшее сравнение подводной и традиционной дорожек требует более глубокого понимания специфики водных упражнений и специальных требований для успешной реабилитационной деятельности с использованием в водной среды. Перед составлением рекомендаций для тренировок или восстановительных процедур на любом новом оборудовании, очень важно знать происходящие процессы метаболизма и состояние сердечно-сосудистой системы при использовании этого оборудования.

Таким образом, целью настоящего исследования было измерение и сравнение потребления кислорода, величины сердечного ритма, минутного сердечного выброса, ударного объема, и восприятие нагрузки при двух скоростях при ходьбе на традиционной бегущей дорожке и на подводной дорожке с гидравлическим приводом.

Быстрая и медленная скорость были выбраны для того, чтобы попытаться избежать фазы полета, которая характеризует манеру подводного бега. Соответствующие переменные также сравнивались при фиксированных относительных метаболических затратах для этих двух типов упражнений.

МЕТОДИКА

Участники

Двадцать (10 мужчин и 10 женщин) здоровых добровольцев приняли участие в исследовании. Средний возраст участников был 27 лет (диапазон = 21-38). Средний рост 172 см (диапазон = 152-193), и средний вес 69.2 кг (диапазон = 49.6-92.3). Исследование было разработано и согласовано с Institutional Review Board of The University of Texas at Austin и City of Austin Multi-Institutional Review Board. Следуя детальному объяснению исследования, были подписаны формы соглашения и заполнен вопросник всеми участниками перед исследованиями

Все участники не имели хронических или острых расстройств и ли ортопедических отклонений. Все были физически активны, но находились на разных уровнях состояния сердечно-сосудистой системы, если базироваться на их собственных отчетах.

Протокол

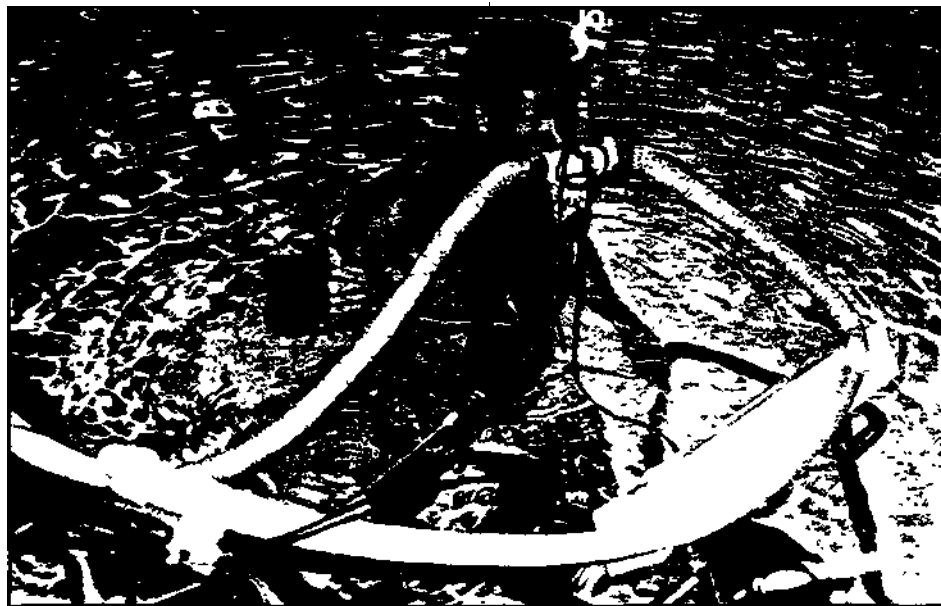
Испытания на подводной дорожке

Все участники вначале занимались на подводной дорожке, потом возвращались на испытания традиционной дорожки в специально выбранный день. Порядок проведения тестов не был рандомизирован из-за невозможности быстро перемещать чувствительную измерительную аппаратуру с одного участка на другой. Использовалась подводная дорожка, которая погружалась в бассейн производства AquaCiser® (AquaCiser® Inc. Vail, CO), она была расположена в Водном Реабилитационном Центре в Больнице Восстановления С- Дэвида в Остине



Техас (Рис.1). Температура воды поддерживалась в бассейне при 90-92°F. Средняя температура воздуха в бассейне 85 °F с относительной влажностью 51 %. Из-за того, что глубина бассейна не менялась, глубина погружения участников колебалась в пределах от середины живота для самых высоких к середине груди, для более низких. Длина ленты дорожки была предварительно измерена, и скорость движения замерялась каждый раз перед началом испытаний путем измерения времени 10 полных оборотов. Участники были проинструктированы использовать обычные движения руками и манеру походки в обоих случаях.

Все были снабжены передатчиком сердечного ритма производства компании Polar (Polar, Stamford, CT) Vantage®. Величина сердечного ритма измерялась непрерывно во время испытаний. Испытуемые двигались вначале со скоростью 2.0 мили в час, угол наклона 0%, затем скорость возрастала до 3.0 миль в час, при угле наклона 0% (Рис.2). Участники имели короткий отдых между заходами при двух скоростях пока калибровалась метаболическая измерительная аппаратура. Ходьба продолжалась не менее 5 мин при каждой скорости, перед тем как производить измерения процессов метаболизма и состояния сердечно-сосудистой системы для получения стационарных значений измеряемых величин. Метаболические данные, включая VO_2 , выдыхаемый воздух (VE), выработку CO_2 (VCO_2), и респираторное отношение обмена (RER) собирались с помощью подвешенного перекрывающего трехходового клапана баллонного типа Hans Rudolph® (Hans Rudolph Inc, Kansas City, MI), подсоединенного к камере смешения и измерителю потока, который содержал метаболическую измерительную аппаратуру (MMC), Sensormedics Horizon® (Sensormedics, Anaheim, CA), которая располагалась на палубе бассейна. Кислородные анализаторы Beckman (Beckman, Schiller Park, IL) OM-11 и LB-2, анализаторы двуокиси углерода в MMC калибровались известным газом до и после каждого метаболического теста. Данные собирались с помощью описанной методики со всех участников.



Повторные пробы проводились во время пилотных испытаний на четырех участниках перед началом сбора данных настоящего исследования. Минутный сердечный выброс (Q) измерялся не менее двух раз на каждой скорости движения подводной дорожки, и один раз проводились измерения метаболического стационарного состояния, приблизительно через 10 минут после начала ходьбы при высокой скорости. Если минутный сердечный выброс отличался более чем на 1 л, то проводилось третье измерение, и усреднялись два ближайших значения. Минутный сердечный выброс измерялся с помощью метода Collier для неинвазивного выброса ($NICO$) как было описано ранее¹⁵ в сочетании с Horizon MMC. Стационарное значение VCO_2 было получено с помощью MMC, как было уже показано. Стационарная величина парциального давления CO_2 (± 1 mmHg), определялось путем непрерывного взятия проб через мундштук. Парциальное давление венозной смеси CO_2 , оценивалось по количеству CO_2 , и равновесию парциального давления, достигаемого через 15 секунд во время повторного выдоха. Резиновая камера был наполнен смесью CO_2 - O_2 , из CO_2 , и O_2 , резервуар, соединенный с катушками, управляемыми от таймера: это обеспечивало необходимое количество газа постоянной концентрации для очередного вдоха. Ударный объем сердца (SV) высчитывался делением минутного сердечного выброса на величину сердечного ритма.

Для определения ощущения усилия использовалась 15 бальная Шкала Борга для каждой скорости движения подводной дорожки.

Традиционная бегущая дорожка.

В отдельный день все участники собрались на испытания традиционной бегущей дорожки. Измерения проводились на модели Marquette® (Marquette, Milwaukee, WI) 2000. Все испытания были проведены при нормальной комнатной температуре (приблизительно 72-74°F) в воздухе, подготовленном медицинским оборудованием. Участники проделали те же упражнения, что и на подводной дорожке со следующими исключениями: они были одеты в шорты и майки вместо купальников, и сбор метаболических данных осуществлялся с помощью мундштука, закрепленного на головном уборе. Шланги, идущие к мундштуку и от него, крепились к консоли дорожки, так что вес головного убора не грузил испытуемого. При необходимости проводилось третье измерение для фиксации относительного метаболического расхода ходьбы под водой. Для большинства этого не потребовалось, так как относительный расход кислорода либо при скорости 2.0 мили в час либо при скорости 3.0 мили в час ходьбы под водой

соответствовал метаболическому расходу при скорости 2.0 мили в час или скорости 3.0 мили в час на земле.

Статистический анализ

Вначале статистическому анализу подвергалась вся совокупность, используя данные всех 20 участников, потом для мужчин и женщин отдельно. Для исследований в бассейне, анализ отклонений (ANOVA) с повторяющимися измерениями был использован для определения разницы в минутном сердечном выбросе, ударном объеме, сердечном ритме, расходе кислорода, и в ощущении нагрузки между двумя скоростями для каждого типа, а также для определения значащих отличий между испытаниями на земле и в воде для тех же изменений при фиксированной величине метаболического расхода. Метод расчета ANOVA использовался для сравнения различий между мужчинами и женщинами, используя те же физиологические переменные, как для различных скоростей, так и для различных режимов. При обнаружении значимого превышения F-отношения (т.е. значимость превышения определялось с помощью ANOVA), использовался тест Scheffe *post-hoc*, с помощью которого определялась специфичность между групповыми различиями. Статистический анализ проводился при помощи пакета программ Statview® (Abacus Concepts, Berkeley, CA) 4.0. Уровень достоверности был установлен при $p < 0.05$ для всех анализов.

Результаты

В таблице 1 и на Графиках 1-6 показаны совокупные результаты, сравнивающие данные при 2.0 - 3.0 мили в час на земле и в воде. Минутный сердечный выброс, (Q) значимо ($p < 0.05$) увеличивался при возрастании скорости от 2 до 3 мили в час как при земных испытаниях, так и при испытаниях на воде. К тому же, Q в воде оказался больше, чем на земле при обеих скоростях. Ударный объем (SV) не возрос значимо от 2 до 3 мили в час ни на земле, ни в воде. Однако, SV значимо больше ($p < 0.05$) в воде при обеих скоростях. Сердечный ритм (HR) возрос при увеличении скорости от 2 до 3 мили в час на земле и в воде. HR не отличался значимо

Испытание	Q (л/мм)	SV (мл/бт)	HR уд/мин	Абс $\dot{V}O_2$ (л/мм)	$\dot{V}O_2$ (мл/кг/мм)	RPE
2.0 мили в час Земля	75±1.6*f	80±21f	95 + 9*	.6151±.1*t	8.87 ±1.0*t	7.7±1.5*t
3.0 мили в час Земля	8.6±2.0f	84 ± 22f	104 ±9f	.7884 + .2 t	11.34 +1.3 t	10.6 ± 2.1 1
2.0 мили в час Вода	8.8 ±2.2*	93 + 25	95 + 8*	.6960 + .2*	9.97 + 1.3*	9.97 ±1.3*
3.0 мили в час Вода	11.9 ±2.8	95 ±21	125 ±12	1.2834± .4	18.35+3.1	12.5+1.2

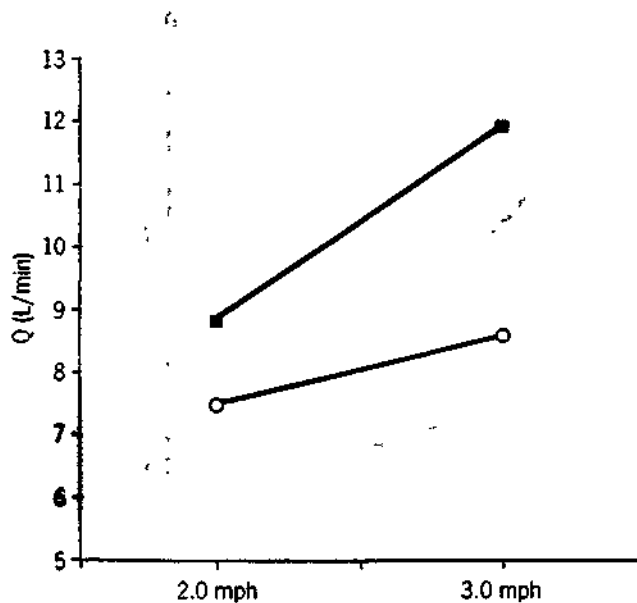
Значения описаны как средние

* отмечает значения, отличающиеся от 3 миль в час в том же режиме (вода или земля) ($p < 0.05$)

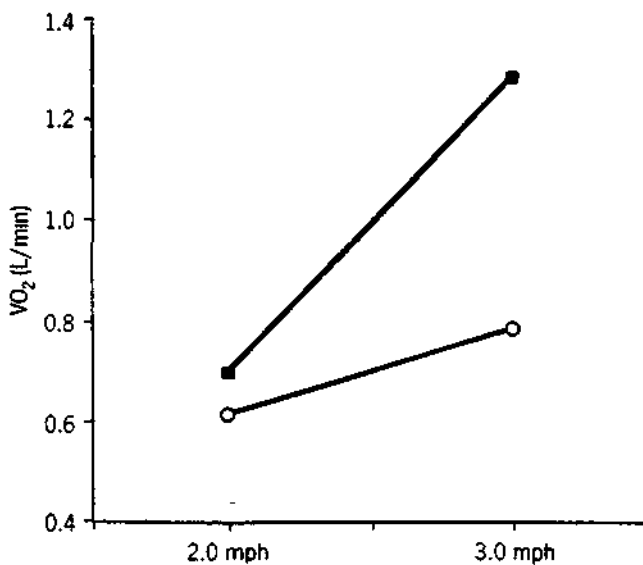
t отмечает значения, отличающиеся от тех же скоростей (вода или земля) ($p < 0.05$)

Табл 1. Метаболический и сердечно-сосудистый эффект при 2 и 3 миль в час

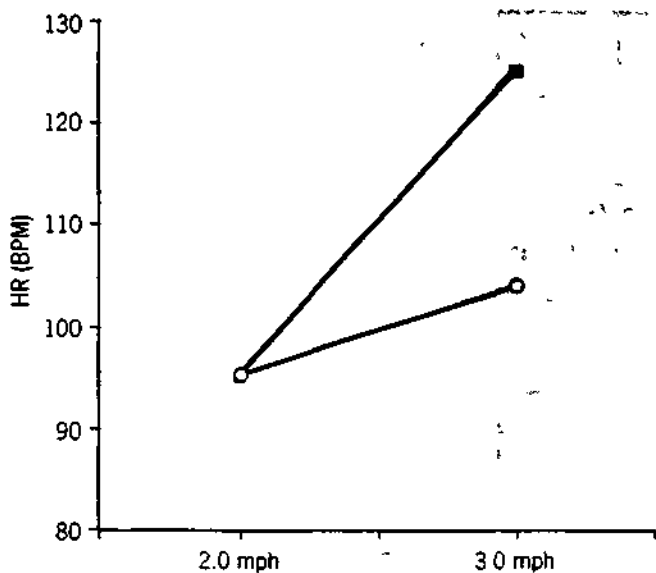
Legend for all graphs



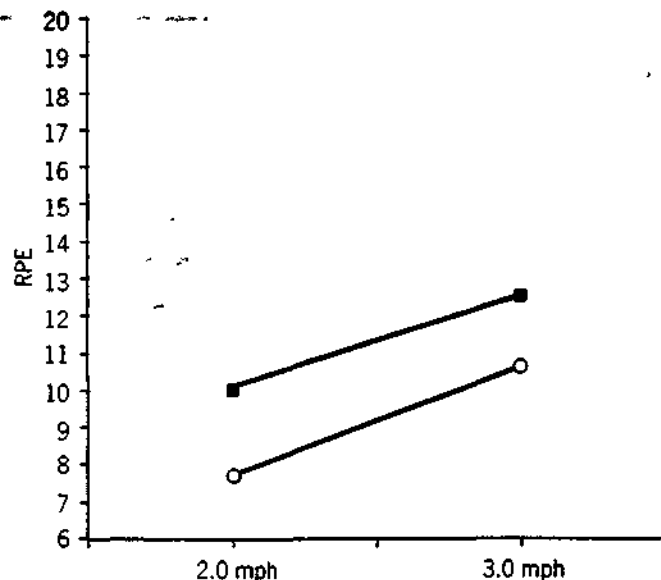
GRAPH 1. \dot{Q} at 2 and 3 mph



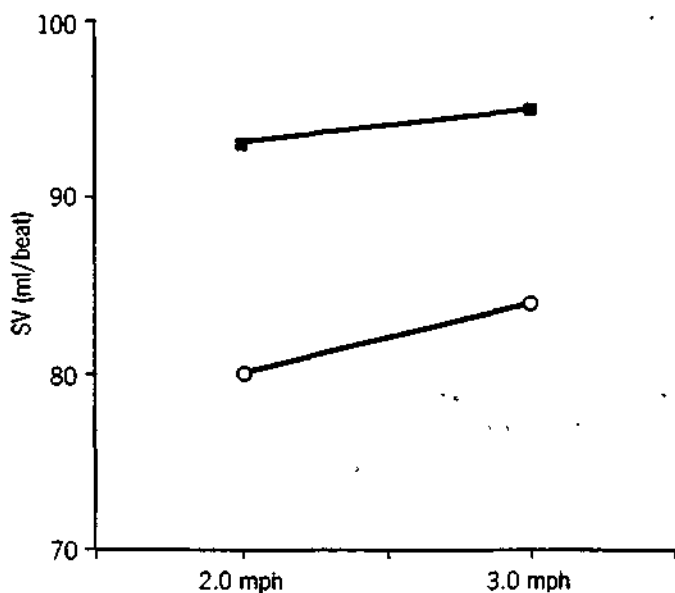
GRAPH 2. Absolute $\dot{V}O_2$ at 2 and 3 mph



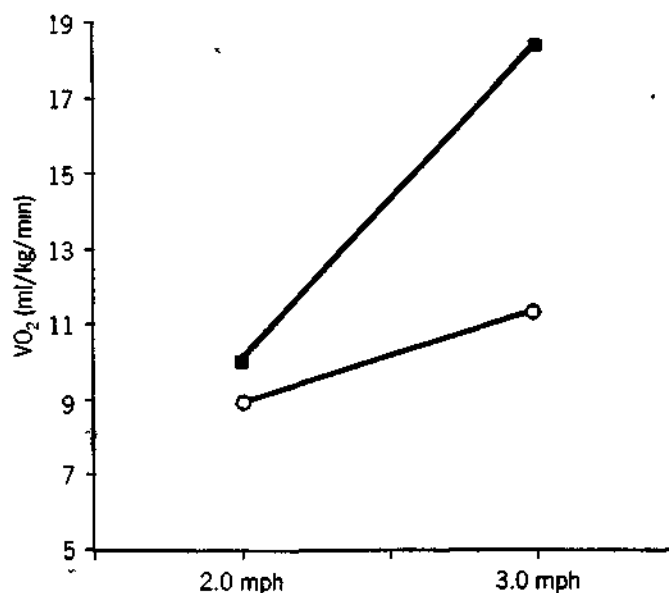
GRAPH 3. HR at 2 and 3 mph



GRAPH 4. RPE at 2 and 3 mph



GRAPH 5. SV at 2 and 3 mph



GRAPH 6. $\dot{V}O_2$ at 2 and 3 mph

между упражнениями на земле и в воде при скорости 2 мили в час, в то время как при 3 мили в час стационарное значение сердечного ритма в воде было выше по сравнению с землей.

Абсолютные значения расхода кислорода увеличиваются с увеличением скорости от 2 до 3 мили в час как в на воде, так и на земле. Потребление кислорода было также значимо выше в воде, чем на земле при обеих скоростях, с большей разницей при скорости 3 мили в час. Относительное потребление кислорода следует тем же закономерностям, что и абсолютное потребление.

Метаболическое потребление при скорости 3 мили в час в воде почти вдвое превышает потребность при скорости 2 мили в час.

Ощущение нагрузки (RPE) значимо увеличилось при переходе от 2 до 3 мили в час и на земле и в воде. RPE также при обеих скоростях выше в воде, чем на земле. До сведения участников было доведено, что необходимо воздействовать на передние мышцы дистальных отделов нижних конечностей при сгибании/разгибании ног в воде.

В таблице 2 собраны средние данные

результатов при фиксированных значениях относительного поглощения кислорода (мл/кг/мин). В этой таблице показано, что относительный расход кислорода хорошо ложится на две модели. Несмотря на соответствие относительного расхода энергии, сердечный выброс был значимо выше ($p < 0.05$) в воде, чем на земле. Сердечный ритм был значимо ($p < 0.05$) ниже в воде, чем на земле. SV был значимо ($p < 0.05$) выше в воде, проявляется как механизм большего минутного сердечного выброса при упражнениях в воде.

Увеличение SV в воде было больше чем уменьшение HR, что приводило к общему увеличению сердечного выброса во время упражнений на подводной дорожке.

Статистическая значимость, как показано в таблице The statistical significance of these responses seems to have been driven by the men in the study, as shown in Table 3. Статистический анализ показал, что у женщин не так увеличивается величина сердечного выброса, как у мужчин. Женщины показывают аналогичное уменьшение реакции HR в испытаниях в воде по сравнению с землей, но не увеличивают SV до такой же степени как мужчины. Величина RPE незначимо отличалась между испытаниями в воде и на земле при заданном уровне метаболических затрат ни в совокупности данных, ни отдельно для мужчин и женщин.

ОБСУЖДЕНИЕ

Данные результаты показали, что потребление кислорода, если его выразить в абсолютных величинах или по отношению к весу, было значимо больше при ходьбе со скоростью 2 мили в час и 3 мили в час на подводной дорожке по сравнению с испытаниями на земле. Это не удивительно, так как при ходьбе под водой требуются большие затраты энергии. Результаты исследований при скорости 2 мили в час подтверждают выводы Napoléan и Hicks¹⁴. По мере увеличения скорости до 3 миль в час, затраты энергии возрастают как в воде, так и на земле, но затраты в случае воды увеличиваются вдвое, а на земле приблизительно на 25%. Это наблюдение имеет важное применение при составлении рекомендаций и предписаний, когда увеличение скорости беговой дорожки приводит к большему потреблению энергии в воде по сравнению с традиционными упражнениями на беговой дорожке.

Также согласуется с выводами Napoléan и Hick study¹⁴, что величина сердечного ритма во время ходьбы на подводной дорожке при скорости 2 мили в час не значимо отличается от величины на земле, в то время как расход кислорода выше при подводной ходьбе.

Режим	VO ₂ (мл/кг/мин)	Q (л/мм)	HR (уд/мин)	SV(мл/уд)	RPE
Земля	10.24 ±1.3	8.1 ±1.9*	100 ±8*	84 ±23*	9.1±2.3
Вода	10.22 ±1.2	8.8 + 2.1	96 ±8	93 ±25	8.5 ±1.9

Возможным объяснением такого поведения в литературе, а также в исследованиях

	VO ₂ (мл/кг/мин)	Q (л/мм)	HR (уд/мин)	SV(мл/уд)	RPE
* Показаны значения, существенно отличающиеся от показателей в воде (p<.05) д)					
Табл. 2. Метаболическая и сердечно-сосудистая реакция при					
Земля-муж	10.85±1.15	9.4±1.6*	98±6	101±19*	8.9±2.3
Вода - муж	10.59±1.28	10.6±1.4	94±8	114±16	8.0±1.2
Земля-жен	9.63±1.03	6.8±1.1	102±10	66±9	9.6±2.2
Вода-жен	9.85±1.98	7.0±1.1	98±7	72±12	9.3±2.1

- Означает, что значение значимо отличается для воды (p<.05) для того же пола
- Таблица 3. Эффект при заданном значении относительного VO₂ для М и Ж

сердечно-сосудистой системы может быть то, что при погружении в воду, где гидростатическое давление направляет движение крови в центр тела, приводя к увеличению диастолического объема, увеличению ударного объема, и соответственно снижению величины ЧСС. Это исследование показало, что при ходьбе при низкой скорости, сердечный выброс выше в воде, так же как и расход кислорода. Как говорилось выше реакция сердечного ритма, различается не значимо. Это позволяет предположить, что больший ударный объем отвечает за увеличение сердечного выброса при скорости 2 мили в час. При скорости 3 мили в час, сердечный выброс в воде выше. Однако, возможно, что эта скорость требует значительного повышения сердечного ритма и ударного объема; обе величины, несомненно, необходимы для повышения скорости доставки кислорода. Наблюдение, что SV не увеличивается от одной работы к другой, дает возможность предположить, что ударный объем может выравниваться на уровне 50-60% от максимального, как было показано раньше.¹⁷ Это наблюдение недавно уже было отмечено в

Лаборатории физиологии гимнастики в Университете Штата Техас в Остине.^{18, 19} Картина расхождения в поведении сердечного выброса и потребления кислорода, могла бы ожидаться при скоростях движения конечностей против возрастающего сопротивления воды. Ощущения нагрузки (RPE) отражают действительные данные о протекающих процессах метаболизма.

С целью отделения самого по себе воздействия погружения, проводилось сравнение реакции сердечно-сосудистой системы при заданном значении работы нагрузки и потребления кислорода для двух условий: в воде и на суше. Эти результаты показывают, что при фиксированном расходе энергии, сердечный выброс выше при подводной ходьбе. Различие относится к увеличению ударного объема в воде и происходит, возможно, из-за большего диастолического объема, как уже обсуждалось ранее. Одновременно величина сердечного ритма была значительно уменьшена по сравнению с значениями на земле как компенсация увеличения ударного объема.

Хоть участники исследования были абсолютно здоровы,

Наклон кривой энергии в случае воды может служить предохраняющим индикатором при составлении рекомендаций для престарелых или людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Рекомендации к интенсивности упражнений при использовании значений сердечного ритма, применяемые на традиционной беговой дорожке могут привести к значительно большей работе, для пациента, который занимается в бассейне. Важно отметить, что кривая потребления кислорода, из-за возрастания скорости движения в воде гораздо круче, чем почти линейная зависимость, которая относится к традиционной беговой дорожке.

При обзоре данных RPE, оказалось, что испытуемые воспринимали водные упражнения, как требующие больших усилий, чем наземные испытания. Это дает возможность предложить что метод RPE, использующий шкалу типа шкалы Борга, может быть более надежным методом измерения интенсивности водных упражнений, чем метод определения целевой функции сердечного ритма основанный на значении возраста, который был разработан для упражнений на земле.

Несмотря на одно ограничение данного исследования (переменная величина глубины для испытуемого), метаболическая и сердечно – сосудистая реакция на занятия в воде и на суше имеет сильные отличия. Дальнейшие исследования должны сфокусироваться на изучении влияния глубины на потребление энергии и реакцию сердечно-сосудистой системы. Величина температуры при наземных и водных испытаниях также должна быть переменной величиной для отделения вклада сердечно-сосудистой составляющей (в противовес терморегуляционной) реакции при водных упражнениях. Равно важно определить различие между мужчинами и женщинами, обращая внимание на строение тела и уровень физподготовки. Также важно понимать, что сердечно-сосудистая и метаболическая реакция, выявленная в настоящем исследовании может не быть показательной для людей с сердечными, сосудистыми, пульмонологическими или нервно-мышечными патологиями.

Вне фокуса исследования остались описание и количественно-качественные различия в мышечной активности между упражнениями в воде и на земле, которые также представляют прямой интерес для клинической практики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burke EJ, Keenan TJ. Energy cost, heart rate, and perceived exertion during the elementary backstroke. *Physician Sportsmed.* 1984;12(12):75-80.
2. Councilman JE. *The science of swimming.* New Jersey: Prentice-Hall, Inc; 1968.
3. Flynn MG, Costill DL, Kirwan JP, Mitchell JB, Houmard JA, Fink WJ, Beltz JD, D'Acquisto JD. Fat storage in athletes: metabolic and hormonal responses to swimming and running. *International J Sports Med.* 1990;11(6):422-440.
4. Haralambie G, Senter L. Metabolic changes in man during long-distance swimming. *Eur J Appl Physiol Occupat Physiol.* 1980;43(2):115-125.
5. Holmer I, Burgh U. Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperatures. *J Appl Physiol.* 1974;37(5):702-705.
6. Kasch F. Physiological changes with swimming and running during two years of training. *Scand J Sports Sci.* 1981;3:23-26.
7. Lavoie JM, Montpetit RR. Applied physiology of swimming. *Sports Med.* 1986;3(3): 165-189.
8. McArdle WD, Glaser R, Magel J. Metabolic and cardiovascular responses during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol.* 1971;30:733-738".
9. Napoletan J. An innovation in aquatic therapy: the underwater treadmill. *Phys Ther Prod.* 1994: July:43-44.
10. Napoletan J, Janes P, Hicks R. The effect of underwater treadmill exercise in the rehabilitation of ACL reconstruction. *Med Sci Sports Exerc.* 1991;5(24):S32(Abstract).
11. Hicks RW. *The effect of underwater treadmill exercise on patients with multiple sclerosis. (Unpublished pilot study).* Avon CA: Jimmie Heuga Center: Multiple Sclerosis Research Institute; 1989.
12. Rosen A, Czajkowski K, Moran M. *Osteoarthritis: isokinetic vs underwater treadmill exercise. (Unpublished study).* Comprehensive Physical Therapy, Lutheran and General Medical: Chicago, IL; 1993.
13. Gleim GW, Nicholas J. Metabolic costs and heart rate responses to treadmill walking in water at different depths and temperatures. *Am J Sports Med.* 1989;17(2):248-252.
14. Napoletan J, Hicks R. The metabolic effects of underwater treadmill exercise at two depths. *Aquatic Phys Ther Report.* 1995;3(2):9-11.
15. Wilmore JH, Farrell PA, Norton AC, Cote RW, Coyle EF, Ewy GA, Temkin LP, Billing JE. An automated, indirect assessment of cardiac output during rest and exercise. *J Appl Physiol.* 1982;52(6):1493-1497.
16. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-381.
17. Sal tin B. Physiological effects of physical conditioning. *Med Sci Sports Exerc.* 1969; 1:50.
18. Scruggs KD, Martin NB, Breeder CE, Hofman Z, Thomas EL, Wambsgans KC, Wilmore JH. Stroke volume during submaximal exercise in endurance-trained normotensive subjects and in untrained hypertensive subjects with beta blockade (propranolol and pindolol). *Am J Cardiol.* 1991 ;67:416-421.
19. Wilmore, JH. Personal communication. Austin, TX: University of Texas at Austin; March, 1996.

