

ANÁLISE DAS FORÇAS DE REAÇÃO DO SOLO NA MARCHA DE ADULTOS A 1,3M DE IMERSÃO

Analysis of Ground Reaction Forces in Underwater Gait of Adults at 1,3m of Immersion.

Roesler, H.¹,
Hauptenthal, A.²
Schütz, G. R.³
Souza, P. V.³

Resumo

Este estudo descritivo exploratório objetivou analisar as componentes vertical e ântero-posterior da curva de força de reação do solo na marcha subaquática. Participaram 60 sujeitos, estatura entre 1,60-1,85m e média de idade de 23±5 anos, divididos em três grupos, conforme o nível de imersão no esterno: grupo 1 - manúbrio, grupo 2 - ponto médio entre xifóide e manúbrio e grupo 3 - processo xifóide. Os sujeitos caminharam sobre uma passarela, com duas plataformas de força, profundidade de 1,3m e em quatro situações diferentes: alterando velocidade (lenta/rápida) e posição dos membros superiores (dentro/fora da água). Na análise de dados, utilizou-se a estatística descritiva e inferencial, com $p < 0,01$, na comparação inter e intragrupos. Na componente vertical, as forças variaram de 20 a 40% do peso corporal dos sujeitos dependendo da velocidade e posição dos membros superiores. Na componente ântero-posterior, as forças foram de 5 a 15% do peso corporal também de acordo com a situação. Dessa forma, para um mesmo nível de imersão, as forças podem variar significativamente conforme o modo de realização da marcha subaquática. Um aumento na velocidade da marcha acarreta em aumento da componente ântero-posterior, enquanto que um aumento na massa corporal fora da água acarreta em aumento principalmente da componente vertical. Conhecer estas alterações é importante para os profissionais que prescrevem atividades em ambiente aquático.

Palavras-chave: Biomecânica; Marcha; Fisioterapia Aquática; Reabilitação.

¹ Professor Dr. Coordenador do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática do CEFID – UDESC.

² Acadêmico do Curso de Fisioterapia, bolsista de iniciação científica CNPq.

³ Mestrandos do Programa de Mestrado em Ciências do Movimento Humano do CEFID – UDESC.

Abstract

This descriptive exploratory study aimed to analyze the vertical and anterior-posterior components of the ground reaction force (GRF) curve during the aquatic gait. 60 citizens had participated, with statures between 1,60 and 1,85m and age average of 23 years old, divided in three groups, according to their immersion levels at the sternum: group 1 – manubrium sterni; group 2 – medium point between manubrium sterni and xiphoid process and group 3 – xiphoid process. The citizens had walked on a footbridge, with two force platforms attached, in 1,3m of depth. The GRF components had been analyzed in four different situations modifying the speed (slow/fast) and the upper limb position (inside/outside the water). For data analysis descriptive statistics was used, considering $p < 0,01$, in the comparison inter groups and intra-groups. In the vertical component the forces had varied 20 to 40% of the citizens corporal weight depending on the aquatic gait speed and upper limb position. In the anterior-posterior component the forces had been 5 to 15% of the corporal weight also according to the situation. An increase in the gait speed causes increase of the anterior-posterior component, while an increase in the corporal mass out of the water increases the vertical component mainly. To know the values of these alterations is important for the professionals who prescribe activities in aquatic environment.

Keywords: Biomechanics; Gait; Aquatic Physical Therapy; Rehabilitation.

Introdução

São diversas as condições em que a fisioterapia aquática pode se beneficiar com a diminuição da força resultante e conseqüentemente menor sustentação do peso, dentre estas condições, podem ser citados os processos de recuperação funcional das fraturas de fêmur e tibia, dos pós-operatórios de próteses, das reconstruções de ligamentos e tendões, dos problemas de coluna, etc. (1, 2, 3). Para tanto, deve-se saber quanta carga o indivíduo pode suportar e prescrever a devida profundidade de imersão e situação em que deve realizar a marcha subaquática.

A quantificação da força resultante atuante sobre o indivíduo submerso com a finalidade de embasar cientificamente o processo de recuperação funcional terapêutica pode ser remetida ao trabalho de Harrison e Bulstrode (4), pela mensuração do peso hidrostático de pessoas em diversos níveis de imersão, embora se soubesse que os valores iriam variar quando os indivíduos estivessem em movimento.

O estudo das variáveis dinâmicas da marcha dentro da água foi iniciado por Harrison, Hillmann e Bulstrode (5, 4). Este estudo mensurou pela primeira vez a componente vertical da força de reação ao solo (FRS) em 9 sujeitos com estatura de 1,65 a 1,82 m. Foi feita a comparação entre a marcha subaquática nos níveis 1,1 e 1,3m de profundidade com a marcha fora da água. Os sujeitos caminharam em duas velocidades determinadas como lenta e rápida. Para a profundidade de 1,3m os valores da componente vertical da força de re-

ação do solo foram de 0,5 a 0,75N/PC para as situações rápidas e 0,25 a 0,5N/PC para as situações lentas. Com o equipamento disponível na época, este trabalho conseguiu estimar a força resultante e o autor é amplamente citado nos livros de hidroterapia (1, 2, 3). Embora devido ao equipamento ou ao pequeno número de sujeitos do experimento a margem de segurança para cada situação ficou em 0,25N/PC, valor que atualmente pode ser considerado muito amplo na medida em que se sabe com maior precisão o quanto de carga pode ser suportado durante o processo de recuperação funcional terapêutica com relação à situação do paciente.

Com o desenvolvimento das plataformas de força subaquáticas (6), um equipamento de maior precisão, a medição das forças durante a caminhada na água com a finalidade de analisar a força resultante para a prescrição do tratamento fisioterapêutico deveria ser reavaliada. Esse processo foi iniciado pelo Grupo de Pesquisas em Biomecânica Aquática em 2000 com a análise da força vertical na hidrocinesioterapia (7), em 2002 foi criado o protocolo de análise da marcha subaquática (8), em 2003 foi publicado o resultado de um trabalho que analisa as variáveis temporais e as forças verticais (9) e em 2004 foi realizado o trabalho que analisa a marcha nos níveis de imersão próximos ao quadril e ao joelho (10).

O presente estudo teve como objetivo a análise das componentes vertical e ântero-posterior das forças de reação do solo em duas velocidades e duas posições dos membros superiores com o intuito de fornecer subsídios para a prescrição

do processo de recuperação funcional terapêutica realizado em ambiente aquático.

Materiais e métodos

Amostra

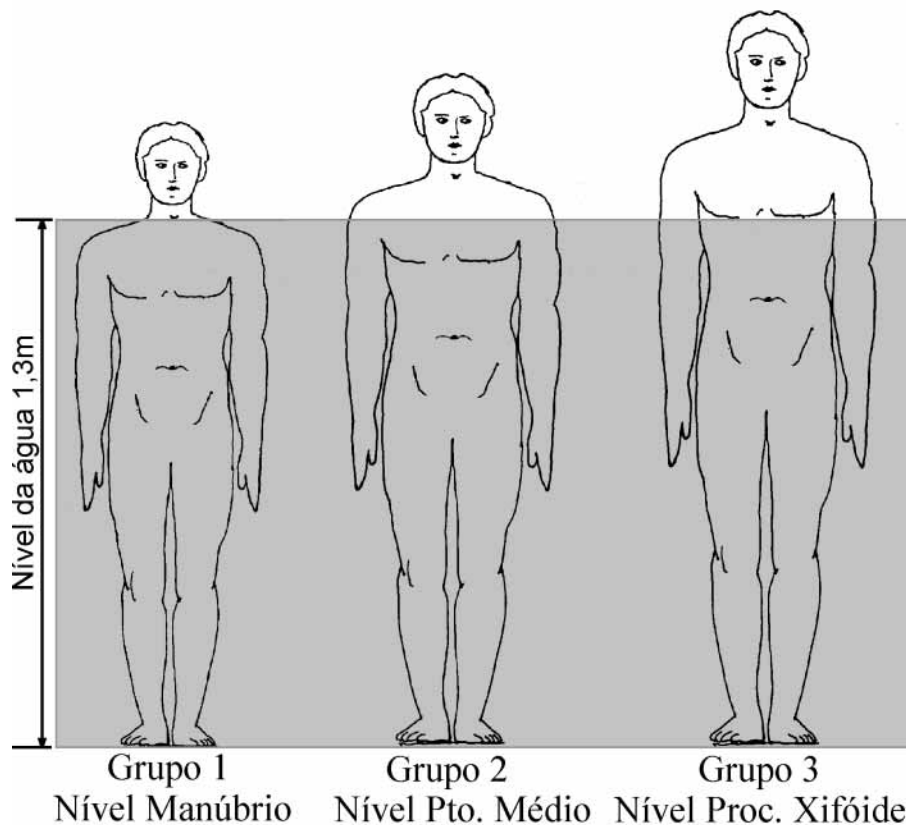
O processo de amostragem foi caracterizado como não probabilístico do tipo intencional, pois os indivíduos foram aqueles que aceitaram fazer parte do estudo e se encaixavam nos critérios de inclusão: possuir estatura entre 1,60 a 1,85m e ter entre 20 a 30 anos de idade.

Após a aprovação do Comitê de Ética em pesquisa do Centro de Educação Física, Fisioterapia e Desportos da Universidade do Estado de Santa

Catarina, participaram deste estudo descritivo exploratório 60 sujeitos (28 mulheres e 32 homens), com média de idade em 23 ± 5 e nenhum comprometimento da marcha.

A profundidade da água foi de 1,30m. Foi escolhida essa profundidade de imersão porque corresponde ao nível do esterno nos sujeitos que participaram deste trabalho. Assim, os sujeitos foram divididos em três grupos, conforme o nível de imersão no esterno: (G1) manúbrio, (G2) ponto médio entre xifóide-manúbrio e (G3) processo xifóide. Esta divisão foi realizada para facilitar o trabalho de prescrição de exercício em ambiente aquático pela visualização de um ponto anatômico nos sujeitos que pode ser facilmente identificado pelo fisioterapeuta.

Figura 1 – Visualização do nível de imersão nos três grupos



O grupo 1 foi composto por 19 mulheres e um homem. No grupo 2 ficaram 10 mulheres e 14 homens. No grupo 3 foram classificados uma mulher e 15 homens. O coeficiente de variação do

nível de imersão ficou em 2,0, 1,9 e 2,0 %, respectivamente para os grupos 1, 2 e 3, o que indica a homogeneidade intragrupo. As características dos grupos estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização dos grupos

	Nível de imersão (m)	Estatura (m)	Massa (kg)	Densidade (g/ml)	Número de sujeitos (n)
Grupo 1	1,30 ± 0,03	1,65 ± 0,04	57,6 ± 5,5	1,0466 ± 0,008	20
Grupo 2	1,31 ± 0,03	1,72 ± 0,04	65,6 ± 9,6	1,0648 ± 0,019	24
Grupo 3	1,34 ± 0,03	1,80 ± 0,04	75,5 ± 10,4	1,0719 ± 0,011	16

* m = metro; kg = quilograma; g/ml = grama por mililitro; n = número de sujeitos; ± desvio padrão.

Materials

Foram utilizados para a realização deste estudo: a) duas plataformas de força subaquáticas (6) de 500x500mm; b) placa CIO-EXP-BRIDGE e conversor A/D CIO-DAS-16Jr, ambos da empresa Computer Boards; c) microcomputador com o sistema de aquisição e tratamento de dados SAD 2 versão 3.0 (11); d) balança eletrônica Plenna, modelo MEA-08128, escala de 0,1 Kg; e) plicômetro CESCORF, escala 0,1 mm; f) metrônomo digital Korg, modelo MA-20 e g) câmera digital JVC Super VHS com capacidade de 60Hz.

Foi adquirida a FRS nas componentes vertical e ântero-posterior numa taxa de amostragem de 600Hz.

Protocolo de Coleta

No fundo de uma piscina térmica (30±1°C) foi colocada uma passarela de 6,15 m de compri-

mento contendo as duas plataformas de força subaquáticas. As plataformas de força foram posicionadas a 3,5m do início da passarela, foi deixado um espaço de 0,15m entre as passarelas para melhor ajustar-se ao comprimento da passada dos sujeitos.

Primeiramente foi mensurado nos sujeitos: a) a massa corporal; b) a estatura; c) a distância do processo xifóide e manúbrio ao solo e d) as dobras cutâneas. Para obtenção da densidade corporal dos sujeitos foi utilizada nos homens a equação geral de regressão pela soma das dobras cutâneas tripectral, peitoral e subescapular (12). Nas mulheres, a equação geral de regressão utiliza a soma das dobras cutâneas tripectral, abdominal e supra-ílica (13).

Após as medidas antropométricas, os sujeitos entraram na piscina, tiveram um tempo para a familiarização com o equipamento e foram instruídos a caminharem na passarela nas quatro situações expostas no Quadro 1.

Quadro 1 – Situações da marcha subaquática

Abreviaturas	Situações
MDL	marcha lenta com os membros superiores dentro da água ao lado do corpo
MFL	marcha lenta com os membros superiores fora da água
MDR	marcha com os membros superiores dentro da água o mais rápido que o sujeito conseguiu realizar
MFR	marcha com os membros superiores fora da água o mais rápido que o sujeito conseguiu realizar

Para o controle da velocidade denominada lenta (MDL e MFL), foi utilizado um metrônomo digital com a frequência de 40 toques por minuto (14). Cada toque do metrônomo correspondia ao início de uma fase de apoio simples na marcha. Esta velocidade foi verificada posteriormente pela cinemetria com uma câmera digital. A velocidade média na marcha lenta foi de $0,42 \pm 0,05\text{m/s}$. No entanto, para as situações rápidas, MDR e MFR, foi requisitado aos sujeitos que caminhassem o mais rápido que conseguissem sem a intervenção do metrônomo e respeitando os seguintes critérios: não desequilibrar ou sair da passarela, não obter auxílio dos membros superiores (bater com a mão na água) e não iniciar uma corrida. A velocidade média para a MDR foi de $0,55 \pm 0,06\text{m/s}$ e para a MFR ficou em $0,66 \pm 0,06\text{m/s}$. Foi observado que os sujeitos quando realizaram a marcha com os membros superiores fora da água obtinham um maior equilíbrio e controle corporal, por isso na MFR os sujeitos conseguiram realizar uma marcha mais rápida.

Cada sujeito realizou quatro passagens na passarela, uma para cada situação do estudo. Foram adquiridas 16 curvas de força por sujeito num total 480 curvas de força para cada componente vertical e ântero-posterior.

Análise de Dados

Para a análise de dados foram seguidas as etapas: (1) aplicação do coeficiente de calibração e filtragem (filtro passa baixa FFT tipo Butterworth na frequência de corte 30Hz e ordem 3); (2) normalização pelo peso corporal fora da água (para visualização da redução dos valores de força e comparação com os valores fora da água); (3) verificação da força máxima na componente vertical; (4) normalização da curva pela porcentagem de apoio (5) cálculo das curvas médias e (6) verificação da média dos picos de força nas componentes vertical e ântero-posterior. Para a análise de dados foi utilizada a estatística descritiva e inferencial. Na comparação intragrupo e diferentes situações

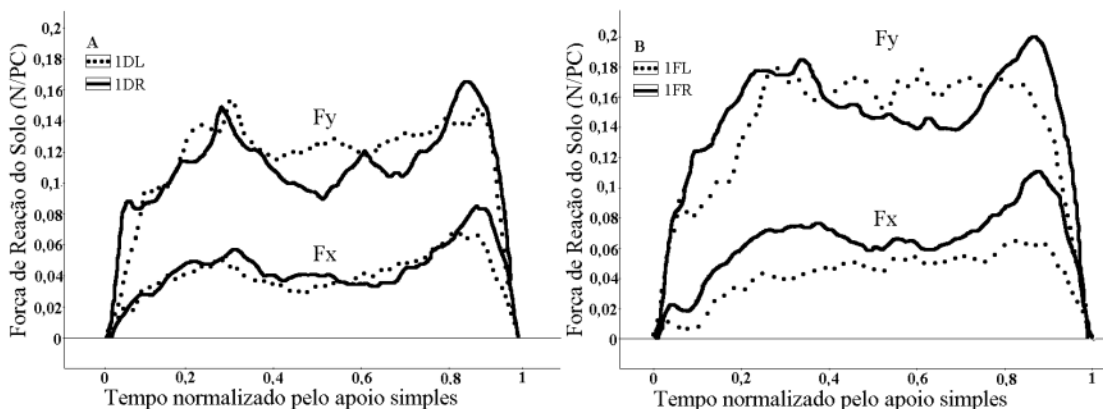
foi utilizado o teste “t” para amostras pareadas. Na comparação intergrupos foi utilizada a ANOVA e *Post Hoc* por meio do teste *Tukey* HSD. Ambos os testes com $p < 0,01$. Para a análise estatística, foram utilizados os programas Microsoft Excel e o pacote estatístico SPSS versão 10.0. (15).

Para este trabalho, define-se: a) força máxima como o valor máximo absoluto na componente vertical da curva de FRS ocorrendo em qualquer período de tempo desde o início ao final da curva; b) primeiro pico de força como o valor máximo encontrado durante a primeira metade do tempo de contato na componente vertical da curva de FRS; c) segundo pico de força como o valor máximo encontrado durante a segunda metade do tempo de contato na componente vertical da curva de FRS e d) pico mínimo como o menor valor encontrado na deflexão da curva ou próximo à metade da curva de FRS.

Resultados

No grupo 1, que tinha a maior imersão e conseqüentemente maior dificuldade para realizar a marcha na velocidade requisitada, pode-se caracterizar as curvas de FRS como irregulares. Na Figura 2 são apresentadas as curvas médias da FRS onde pode ser observado que na situação lenta, MDL e MFL, a componente vertical toma a forma da figura de um trapézio e não ficam caracterizados os picos de força e a deflexão na curva. A componente ântero-posterior, diferentemente do que ocorre fora da água, não apresenta a fase negativa, relacionada à frenagem do movimento e vai aumentando gradualmente até atingir um pico de força. A ausência do pico negativo representa a realização da marcha de uma forma diferente para dentro da água em relação a fora. Para a situação rápida, MDR e MFR, pode ser vista a caracterização principalmente dos segundos picos de força e da fase de deflexão da curva. A componente ântero-posterior apresenta um pico de força bem delineado na fase final do apoio.

Figura 2 – Curvas de força de reação do solo nos componentes vertical (F_y) e ântero-posterior (F_x) para o grupo 1. A) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com os membros superiores dentro da água (MDL x MDR). B) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com o membro superior fora da água (MFL x MFR).



O componente ântero-posterior apresentou uma curva de força diferente para a marcha subaquática do que apresenta para a marcha em solo. No solo, este componente apresenta dois picos de força, um negativo e um positivo. Durante a fase negativa, o pé está empurrando o solo anteriormente, e no solo causa uma reação na direção posterior (pico negativo) para desacelerar o movimento. Durante a fase positiva, o pé empurra o solo na direção posterior, e no solo causa uma força de reação na direção anterior (pico positivo) para acelerar o movimento (16, 17). Na água, a forma da curva assemelha-se com um triângulo retângulo com o pico positivo próximo ao final da curva. Pode-se supor que a marcha na água necessite de uma menor força de frenagem do movimento pela maior resistência do meio aquático decorrente da força de arrasto, e tam-

bém, devido à possibilidade de sustentação oferecida pela água fazer com que os sujeitos modificassem a fase de apoio, inclinando seu corpo anteriormente, realizando o contato com o solo quando o membro inferior já está próximo ao centro de massa. Dessa forma, realizando somente a fase positiva. Nota-se uma tendência ao pico negativo somente nas situações lentas e com a diminuição do nível de imersão.

Os valores das forças nas componentes vertical e ântero-posterior para o grupo 1 estão apresentados na Tabela 2. Pode ser destacado que as forças aumentam nas situações rápidas para a força máxima e o segundo pico de força, e diminuem para o pico mínimo. Em relação à posição dos membros superiores os valores aumentam com os membros fora da água para todas as variáveis.

Tabela 2 – Força vertical (F_y) e ântero-posterior (F_x) para o grupo 1

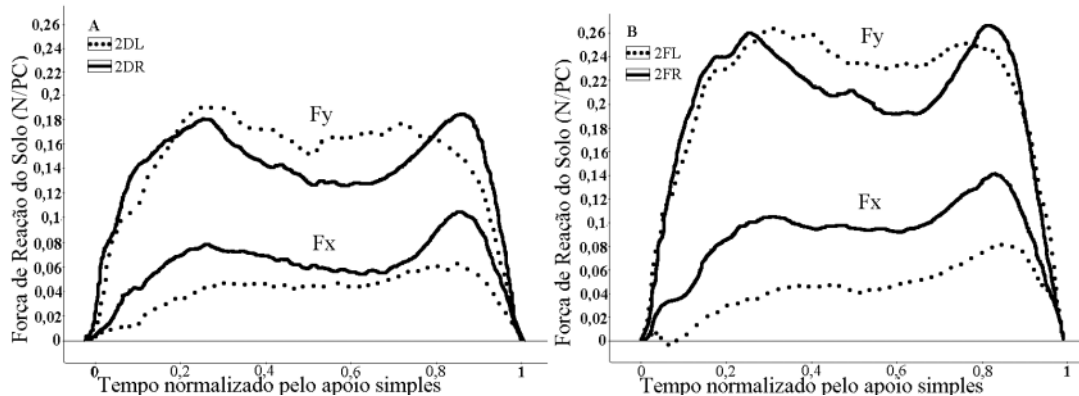
	MDL (N/PC)	MDR (N/PC)	MFL (N/PC)	MFR (N/PC)
Fy Pico máximo	0,20 ± 0,07	0,23 ± 0,08	0,28 ± 0,07	0,30 ± 0,08
Fy Primeiro Pico	0,14 ± 0,06	0,14 ± 0,06	0,18 ± 0,07	0,18 ± 0,06
Fy Pico Mínimo	0,11 ± 0,06	0,08 ± 0,04	0,14 ± 0,04	0,11 ± 0,04
Fy Segundo Pico	0,14 ± 0,08	0,16 ± 0,08	0,17 ± 0,03	0,21 ± 0,07
Fx Pico positivo	0,05 ± 0,04	0,08 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,11 ± 0,04

*N/PC = Newton por peso corporal; ± desvio padrão

Na Figura 3 são apresentadas as curvas para o grupo 2. Este grupo apresenta uma menor oscilação das curvas de força. Na componente vertical houve uma maior definição dos picos de força e na velocidade rápida uma maior

fase de deflexão. Na componente ântero-posterior, velocidade lenta e com os membros superiores fora da água (MFL) ocorre uma maior tendência a um pico negativo da curva de FRS.

Figura 3 – Curvas de força de reação do solo nos componentes vertical (F_y) e ântero-posterior (F_x) para o grupo 2. A) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com os membros superiores dentro da água (MDL x MDR). B) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com o membro superior fora da água (MFL x MFR).

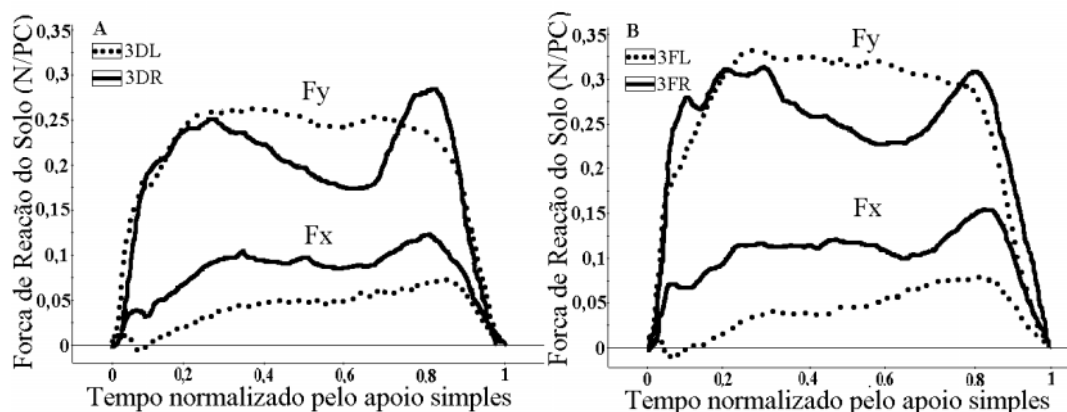


No grupo 2 ocorre o mesmo padrão descrito para o grupo 1 na comparação entre as diferentes situações do estudo. Em relação ao grupo 1, os valores aumentam em torno de 5% na componente vertical, diferença confirmada pela ANOVA com $p < 0,01$, e em 1% na componente ântero-posterior. (Tabela 3).

O grupo 3 foi o grupo que possuía maior parte do corpo emersa e teve maior facilidade para a realização da tarefa. Nas situações lentas para a componente vertical segue a forma semelhante ao trapézio (Figura 4). Na componente ântero-posterior é encontrada a presença de um pico negativo, confirmando a tendência do pico ocorrer nos me-

nores níveis de imersão e velocidade lenta. Na componente vertical e velocidade rápida, a deflexão está presente e os picos de força estão bem caracterizados, principalmente o segundo pico de força. Para a componente ântero-posterior, novamente não há um pico negativo nas situações rápidas e a força vai aumentando gradualmente, o valor chega a 0,15 N/PC. Acredita-se que, apesar da menor velocidade, a proximidade destes valores com os valores em solo 0,20N/PC segundo Winter e Perry, (16, 17) é devida à maior resistência ao movimento que ocorre na água em relação a fora da água.

Figura 4 – Curvas de força de reação do solo nos componentes vertical (F_y) e ântero-posterior (F_x) para o grupo 3. A) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com os membros superiores dentro da água (MDL x MDR). B) Comparação entre a marcha subaquática lenta e rápida com o membro superior fora da água (MFL x MFR).



No grupo 3 na componente vertical os valores dos picos de força e força máxima também aumentam e o pico mínimo diminui com o aumento da velocidade e com a retirada dos membros superiores da água. Em relação ao grupo 2, os valores aumentaram em torno de 7% na componente vertical e 2% na ântero-posterior, para o grupo 1 aumentaram em torno de 12% na vertical e 3% na ântero-posterior (Tabela 4). Na comparação do grupo 3 com o 2 e o 1 ocorreram diferenças estatisticamente significativas nos valores das

componentes verticais. No componente ântero-posterior, a diferença estatisticamente significativa ocorreu somente para velocidades rápidas, entre os três grupos.

Na comparação intragrupo e diferentes situações, na componente vertical, ocorreram diferenças estatisticamente significativas com $p < 0,01$ na retirada dos membros superiores da água nos três grupos (MDL X MFL e MDR X MFR). Para o componente ântero-posterior, ocorreu diferença na comparação entre a velocidade lenta e rápida para os três grupos (MDL X MDR e MFL X MFR).

Tabela 4 – Força vertical (F_y) e ântero-posterior (F_x) para o grupo 3

	MDL (N/PC)	MDR (N/PC)	MFL (N/PC)	MFR (N/PC)
Fy Pico máximo	0,30 ± 0,04	0,33 ± 0,06	0,36 ± 0,05	0,41 ± 0,09
Fy Primeiro Pico	0,28 ± 0,06	0,24 ± 0,08	0,33 ± 0,02	0,31 ± 0,11
Fy Pico Mínimo	0,24 ± 0,04	0,17 ± 0,05	0,31 ± 0,05	0,21 ± 0,04
Fy Segundo Pico	0,25 ± 0,03	0,28 ± 0,08	0,31 ± 0,02	0,30 ± 0,09
Fx Pico positivo	0,07 ± 0,01	0,14 ± 0,05	0,08 ± 0,07	0,15 ± 0,06

*N/PC = Newton por peso corporal; ± desvio padrão

A diferença entre a média dos picos máximos de força e a média do primeiro e segundo picos de força deve ser destacada melhor. A cada passo durante a marcha subaquática ocorre um instante de tempo em que age uma maior força. Frente aos resultados obtidos nesse estudo, deve-se ter cuidado em situações de risco, em que mesmo instantes curtos de aplicação de força possam ser prejudiciais. No grupo 3, na situação com os membros superiores fora da água e velocidade rápida, o pico máximo de força chegou ao valor de 0,41 N/PC, valor que pode ser encontrado para a marcha subaquática no nível próximo ao quadril (10). Dessa forma, enfatiza-se a importância do conhecimento da alteração dos valores de força com a velocidade e posição dos membros superiores para a prescrição dos exercícios aquáticos, pois estes valores são superiores aos relatados anteriormente para este nível de imersão e podem ser superiores ao que um indivíduo pode

suportar. Logo, em situações de risco nas quais existe a necessidade de maior cuidado, estes picos máximos de força devem ser evitados, procurando realizar a marcha num nível de imersão maior ou numa velocidade menor.

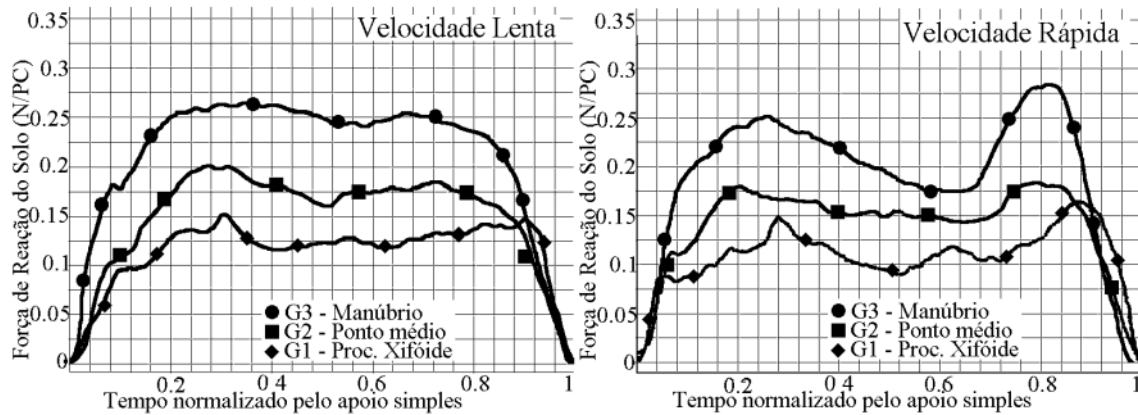
Os valores das forças na componente vertical da FRS encontrados neste trabalho são menores, mesmo para a força máxima e velocidade rápida, dos dados relatados por Harrison, Hillmman e Bulstrode (5), apesar do autor não citar a velocidade que os indivíduos caminharam.

Na Figura 5, são apresentadas as curvas da componente vertical da força de reação do solo para os três grupos na situação com os membros superiores dentro da água e nas velocidades lenta e rápida. Na componente vertical para as situações lentas a curva de FRS toma a forma da figura de um trapézio, não apresentando a fase de flexão/suporte médio e com os picos de força muito semelhantes. Para as situações rápidas ocorre

a deflexão da curva levando sua forma a uma maior semelhança com o “M” da marcha (17, 16) e o segundo pico de força tende a ser maior e mais definido que o primeiro. Estas características tam-

bém foram encontradas pelos trabalhos de Yano, Nakazawa e Yamamoto (18) e Yamamoto, Yano e Nakazawa (19) na comparação da velocidade lenta e rápida da marcha subaquática.

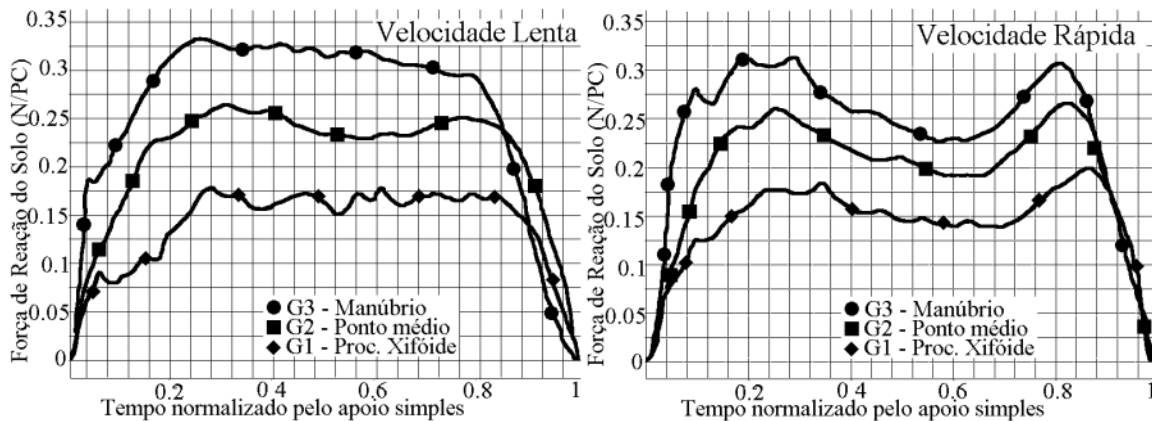
Figura 5 - Comparação dos três grupos na componente vertical da força de reação do solo com os membros superiores dentro da água na velocidade lenta e rápida.



Na Figura 6, são apresentadas as curvas da componente vertical da força de reação do solo para

os três grupos na situação com os membros superiores fora da água e nas velocidades lenta e rápida.

Figura 6 - Comparação dos três grupos na componente vertical da força de reação do solo com os membros superiores fora da água na velocidade lenta e rápida.



A análise dos valores das forças aponta que um aumento na velocidade da marcha acarreta em aumento da componente ântero-posterior, enquanto que um aumento na massa corporal fora da água acarreta em aumento principalmente da

componente vertical. Conhecer estes valores e saber sua relação em cada situação torna-se importante para a prescrição de atividades em ambiente aquático.

Na literatura, preconiza-se o uso da “técnica da balança” na qual o paciente pisa sobre uma balança com um pé para ver o quanto pode descarregar de peso naquele membro (20). Consideramos esta técnica arriscada e insegura porque é muito provável que logo aos primeiros passos o indivíduo irá variar a carga, pois não possui controle suficiente do movimento para descarregar somente o peso indicado na balança. Em vez disso, o mesmo indivíduo pode realizar a marcha subaquática com segurança, podendo realizar o treinamento da marcha sem o risco de cair ou prejudicar seu processo de recuperação funcional. A evolução deve prosseguir aumentando a velocidade, diminuindo o nível de imersão até gerar segurança e recuperar funcionalmente a marcha em solo.

Considerações finais

A marcha subaquática pode e deve ser utilizada como um meio seguro para a recuperação funcional terapêutica, no entanto, deve ser bem controlada a situação em que o indivíduo realizará a marcha, pois com uma alteração na velocidade da marcha ou no posicionamento dos membros superiores, os valores das forças são alterados.

O nível de imersão é o fator determinante acerca das forças que agem durante a marcha subaquática, mas a análise da alteração da velocidade e posição dos membros superiores mostra que estas mudanças também podem causar uma alteração nos valores das forças durante a marcha subaquática. Devido a estas alterações nos valores das forças, não basta analisar o nível de imersão em que o indivíduo realizará seu processo de reabilitação, mas também se deve levar em conta a situação em que ele realiza o movimento. Pode ser notado que, sem alterar o nível da água, podemos ter quatro situações diferentes. A escolha entre uma delas dependerá do objetivo da prescrição da atividade na água.

Para dar continuidade a este trabalho, fazem-se as seguintes sugestões: (1) Analisar o andar em ambiente aquático em um maior número de profundidades e velocidades; (2) Estudar eletromiograficamente os principais grupos musculares envolvidos na marcha subaquática, correlacionando a intensidade da atividade elétrica muscular com variação da profundidade; (3)

Analisar a marcha subaquática com a cinemetria e dinamometria.

Agradecimentos

Ao CNPq e aos membros do Laboratório de Pesquisas em Biomecânica Aquática, especialmente Fladimir A. G. Gress, Aline Faquin, Roberta O. Gatti, Marcel Hubert, Suzana M. Pereira e Luciana G. Araújo.

Referências

1. Ruoti RG, Morris DM, Cole AJ. **Reabilitação aquática**. São Paulo: Manole; 2000.
2. Kuori JM. **Programa de fisioterapia aquática: um guia para a reabilitação ortopédica**. São Paulo: Manole; 2000.
3. Champion MR. **Hidroterapia: princípios e prática**. São Paulo: Manole; 2000.
4. Harrison R, Bulstrode S. Percentage weight bearing during partial immersion in the hydrotherapy pool. **Physiotherapy Practice** 1987;3:60-63.
5. Harrison R, Hillmann M, Bulstrode S. Loading of the lower limb when walking partially immersed. **Physiotherapy** 1992;78(3):164-166.
6. Roesler H.. **Desenvolvimento de plataforma subaquática para medições de forças e momentos nos três eixos coordenados para utilização em Biomecânica**. [Tese] - Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
7. Brito RN, Fonseca JCP, Roesler H, Santos GM. Comparação da componente vertical da força de reação do solo dentro e fora da água utilizando plataformas de força subaquáticas. Anais do 8. Congresso de Educação Física e Ciências do Esporte dos Países de Língua Portuguesa. 2000. Lisboa; 2000.
8. Roesler H, Pereira SM, Brito RN, Schutz, GR. Determinação de protocolo para a aquisição de dados da marcha humana em ambiente

- aquático. Anais do 12. Seminário de Iniciação Científica da Universidade do Estado de Santa Catarina, 12. 2002. Joinville: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2002.
9. Roesler H., Haupenthal A., Brito RN, Souza PV. Análise biomecânica subaquática da marcha humana em ambos os sexos e diferentes grupos etários em diferentes níveis de imersão. Anais do 13. Seminário de Iniciação Científica da Universidade do Estado de Santa Catarina. 2003. Lages: Universidade Do Estado De Santa Catarina, 2003.
 10. Brito RN, Roesler H, Haupenthal, Souza PV. Análise comparativa da marcha humana em solo à subaquática em dois níveis de imersão: joelho e quadril. **Revista Brasileira de Fisioterapia** 2004;1:7-12.
 11. Silva LM, Zaro MA. SAD 2 VERSÃO (3.0) - Sistema de Aquisição de dados – Manual de Operação. **Caderno Técnico da Engenharia Mecânica CT 07**. Porto Alegre: DEMEC; 1997.
 12. Pollock ML, Jackson A.L. Generalized equations for predicting body density of men. **British Journal Nutrition** 1978;40:497-504.
 13. Pollock ML, Jackson AL, Ward A. Generalized equations for predicting body density of women. **Medicine Science in Sports Exercise** 1980; 12: 175-182.
 14. Nakazawa K, Yano H, Miyashita M. Ground reaction forces during walking in water. **Medicine and Science in Aquatic Sports** 1994;39:28-34.
 15. Tritschler K. **Medida e avaliação em educação física e esportes**. São Paulo: Manole; 2003.
 16. Winter DA. **The biomechanics and motor control of human gait: normal, elderly and pathological**. 2. th. Canada: Waterloo Cover; 1991.
 17. Perry J. **Gait analysis: normal and pathological function**. New York: MacGraw-Hill; 1992.
 18. Yano H, Nakazawa K, Yamamoto S. Activation patterns of human ankle muscles during walking in water. [Book of Abstract]. Proceedings of the XVth. Congress ISB. 1995. Finland: University of Jyraskyla, 1995. P.1018-1019.
 19. Yamamoto S, Yano H, Nakazawa K. Lower limb kinematics during walking in water. [Book of Abstracts] Proceedings Of the XVth Congress ISB. 1995. Finland: University of Jyraskyla; 1995. P.1012-1013.
 20. Brotzman SB. **Clinical orthopaedic rehabilitation**. Missouri: Mosby; 1996.

Recebido em: 17/04/2005

Aprovado em: 27/07/2005