

Estudo comparativo entre a corrida em esteira e a corrida aquática em duas profundidades diferentes¹

CDD. 20.ed. 612.76
613.716
796.42

Jaime Rodrigues da SILVA FILHO *
Josiane Regina Pejon FERNANDES *
Paula Hentschel LOBO DA COSTA *

*Departamento de
Educação Física,
Universidade Federal
de São Carlos.

Resumo

Este estudo objetiva analisar comparativamente a corrida terrestre em esteira com a corrida aquática realizada em piscina rasa e em piscina funda, a fim de descrever semelhanças e diferenças no padrão de movimento em função das demandas ambientais impostas. Foram identificadas variáveis espaço-temporais e angulares fundamentais à descrição do correr nas três situações, partindo-se de uma padronização do esforço percebido. Seis voluntários, três mulheres e três homens, idade média de $28 \pm 5,8$ anos, ativos em um programa extensivo de corrida aquática em piscina funda participaram do estudo, após consentirem com os procedimentos experimentais. Foi utilizado o método da cinemática em uma abordagem bidimensional, com avaliação das amplitudes de movimento no plano sagital, para a quantificação das projeções dos ângulos formados entre os segmentos coxa e perna, perna e pé e entre o tronco e a horizontal, além das durações das fases de apoio e balanço, cadência (ciclos por minuto) e as amplitudes de passo. As formas de corrida foram avaliadas em duas velocidades: auto-selecionada e máxima. Os resultados foram discutidos com base nas diferenças e semelhanças entre as formas de corrida que poderiam ser atribuídas às demandas mecânicas do meio líquido, bem como à falta de apoio fixo. Avaliou-se que algumas características observadas poderiam responder por alterações nas funções dos segmentos durante a propulsão no meio aquático, com prováveis efeitos na atividade física da musculatura envolvida.

UNITERMOS: Corrida aquática em piscina rasa e funda; Variáveis espaço-temporais; Cinemática planar.

Introdução

O corpo humano interage dinamicamente com o meio ambiente através de movimentos e mudanças nas características físicas do ambiente podem gerar novas demandas ao sistema motor humano, alterando padrões de movimento. Quando se considera a realização de atividades corporais no meio aquático, é importante compreender de que maneira o meio líquido cria adaptações em um padrão de movimento.

O padrão de movimento da corrida, dado como o realizado em ambiente terrestre, encontra-se bem definido quanto aos seus aspectos biomecânicos (CAVANAGH, 1990), porém deve sofrer adaptações quando desempenhado na água, tanto em piscina rasa quanto em piscina funda e essas mudanças são o foco principal deste estudo.

Dessa maneira, o objetivo deste estudo foi analisar comparativamente a corrida terrestre em esteira com a corrida aquática realizada em duas profundidades diferentes, piscina rasa e piscina funda, considerando-se intensidades equivalentes de exercício. A designação de “corrida em piscina funda” corresponde, para efeito deste estudo, àquela realizada sem o apoio dos pés com o piso da piscina, com a flutuação do corpo facilitada por um colete.

Atualmente, esportistas de diversas modalidades utilizam-se da corrida aquática em piscina funda em suas rotinas de treinamento, além disso, os seus efeitos na reabilitação de condições ortopédicas têm sido bem aceitos (WEIMANN & WYDRA, 1999; ZENHÄUSERN & FREY, 1997). A corrida aquática em piscina funda pode

ser indicada também em programas de condicionamento físico relacionado à saúde, programas orientados para populações especiais como obesos e idosos (GERLACH, 1991) e mesmo na fase pós-recuperação de patologias de origens reumática, respiratória e ortopédica (STOMMEL & ALTMANN, 1996).

A preocupação com a adequação e o controle das cargas físicas durante um programa de corrida aquática em piscina funda tem gerado conhecimento acerca do comportamento das variáveis fisiológicas. Demonstrou-se que a frequência cardíaca e o consumo de oxigênio na corrida aquática em piscina funda para cargas máximas equivalentes são mais baixos que aqueles da corrida terrestre em esteira, além disso, há consenso na literatura quanto à importância do domínio do gesto técnico para a corrida em piscina funda (BUTTS, TUCKER & GREENING, 1991; DARBY & YAEKLE, 2000; DEMAERE & RUBY, 1997; DENADAI, ROSAS & DENADAI, 1997; FRANGOLIAS & RHODES, 1995; GEHRING, KELLER & BREHM, 1997; KAMINSKY, WEHRLI, MAHON, ROBBINS, POWERS & WHALEY, 1993; NAKANISHI KIMURA & YOKOO, 1999; RITCHIE & HOPKINS, 1991; SVEDENHAG & SEGER, 1992; TOWN & BRADLEY, 1991; YAMAJI, GREENLEY, NORTHLEY & HUGHSON, 1990).

As características biomecânicas do andar na água têm sido comparadas ao andar terrestre. Excursões articulares, atividade eletromiográfica de diversos músculos dos membros inferiores e tronco, comparação do padrão de andar aquático entre adultos e idosos, bem como o efeito de profundidades diferentes sobre as características do andar aquático já foram investigados (BARELA & DUARTE, 2005; BARELA, STOLF & DUARTE, 2003; BARELA, STOLF, DA LUZ & DUARTE, 2005; ERVILHA, DUARTE &

AMADIO, 2002). De maneira geral, estes estudos revelam que há semelhanças entre o andar terrestre e o aquático no que se refere às excursões articulares para tornozelo e quadril, exceção feita ao joelho que apresentou maiores amplitudes de movimento no ambiente terrestre; diferenças também foram encontradas quanto às magnitudes de velocidades angulares e forças de reação do solo, além de quanto ao padrão temporal da atividade muscular.

A corrida aquática, por sua vez, tem sido menos investigada. MOENING, SCHEIDT, SHEPARDSON e DAVES (1994) compararam a corrida aquática em piscina funda com a corrida terrestre em esteira, avaliando máximas excursões angulares para quadril, joelho e tornozelo. Generalizações das diferenças encontradas podem estar comprometidas, pois apenas um sujeito participou do estudo, cuja experiência com a corrida aquática em piscina funda não foi relatada. MERCER (2003), em estudo preliminar semelhante ao anterior, padronizou as intensidades de exercício através da Escala de Borg e avaliou as atividades eletromiográficas de m. reto femoral e m. bíceps femoral. Seus resultados, porém, também precisam ser avaliados com cautela, pois somente um indivíduo participou do estudo, este experiente na corrida aquática em piscina funda.

Diante da crescente importância da corrida aquática em contextos pedagógicos e da falta de conhecimento sobre suas características mecânicas, é fundamental que se compreenda melhor: quais são as principais mudanças na postura global do corpo durante a corrida aquática; quais as semelhanças e diferenças na mecânica das três formas de corrida; em que medida é possível inferir mudanças da atividade muscular quando a corrida se realiza em meio aquático?

Materiais e métodos

Nesse estudo foi utilizado o método da cinemática em uma abordagem bidimensional, com avaliação das amplitudes de movimento no plano sagital, considerado como o plano de progressão das formas de locomoção (WINTER, 1983), onde é possível a quantificação das projeções dos ângulos formados entre os segmentos coxa e perna, perna e pé e o tronco com a horizontal.

Participaram do estudo seis voluntários, três homens e três mulheres, com experiência na corrida aquática em piscina funda, idade média de $28 \pm 5,8$ anos, estatura média de $1,71 \pm 0,1$ metros e massa média de $65 \pm 9,13$ kg. Todos assinaram um termo de

consentimento aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos. Os sujeitos foram avaliados em tantas tentativas até que se obtivesse três ciclos completos de corrida em esteira, em piscina rasa e em piscina funda.

Foram avaliadas variáveis espaço-temporais que caracterizam as fases da corrida (durações das fases de apoio e balanço e amplitude de passo), além das posições angulares no plano sagital entre os segmentos coxa e perna, perna e pé, bem como a variação da angulação do segmento tronco em relação à direção horizontal, no sentido da progressão do corpo. Para feito da comparação entre as três formas de corrida,

foi padronizado o nível de esforço físico a ser desempenhado durante os testes através de uma medida subjetiva de percepção de esforço.

Para definir as fases de movimentos da corrida aquática em piscina funda, bem como a duração do ciclo, utilizou-se a padronização sugerida por MERCER (2003), que associa as conhecidas fases da corrida às fases propulsivas dos estilos da natação. Assim, para a corrida aquática em piscina funda, a fase de balanço foi delimitada pelo início e fim do movimento no sentido de trás para a frente do membro inferior, enquanto que a fase de apoio foi delimitada pelo movimento no sentido de frente para trás do membro inferior, sempre relativamente ao sentido do deslocamento do corpo.

A avaliação da corrida aquática foi realizada através da imersão de uma câmara de vídeo dentro de uma caixa estanque, ambas apoiadas sobre um tripé, permitindo o registro subaquático dos movimentos. Cada haste do tripé foi fixada ao piso da piscina com tornoeleiras de chumbo, servindo como lastros, colocadas a fim de manterem o tripé imóvel. Os sujeitos tiveram os seguintes pontos anatômicos marcados com lápis dermatográfico no plano sagital direito: proeminência da superfície externa do grande trocânter, epicôndilo lateral do fêmur, maléolo lateral. Além desses, foram marcados o calcânhar, o quinto metatarso e um ponto para o segmento do tronco, colocado acima da base da costela numa direção perpendicular à espinha ilíaca anterior superior, no mesmo plano.

Uma caixa estanque Ikelite 6010.90 e uma câmara de vídeo digital JVC GR-DVL 9800U com frequência de amostragem de 60 Hz foram utilizados para a descrição cinematográfica no ambiente aquático. Para a corrida em esteira foi utilizada uma câmara fotográfica digital COOL PIX 885 Nikon, que adquiriu imagens à taxa de 30 Hz. As câmeras foram posicionadas a uma distância de oito metros do objeto, a fim de permitirem a clara visualização das marcas corporais e da identificação de um ciclo completo de corrida no plano da imagem.

Foi feita uma calibração bidimensional das câmeras, através de estruturas metálicas de dimensões conhecidas que cobriam o espaço no qual o passo da corrida acontecia, utilizando-se para tanto apenas as direções vertical e ântero-posterior.

Após a realização dos registros em vídeo, as imagens foram digitalizadas manualmente, quadro a quadro, através do “Software” APAS System versão 1.0. Foram mensuradas as seguintes variáveis: duração da fase de apoio, duração da fase de balanço,

duração total do ciclo de corrida, cadência (ciclos por minuto), amplitude de passo, ângulo entre o tronco e a horizontal, ângulo entre coxa e perna, ângulo entre perna e pé. Para a medida de tais ângulos, foram quantificadas as posições relativas entre os segmentos no plano da imagem de vídeo em eventos específicos do ciclo da corrida, descritos em mais detalhes na seção dos resultados.

A corrida aquática foi realizada numa situação com apoio no solo a uma profundidade que mantivesse o tronco totalmente submerso (chamada de corrida aquática com apoio - CAA) e noutra situação sem apoio no solo (chamada de corrida aquática em piscina funda - CAF). A corrida terrestre foi realizada em esteira motorizada (chamada de corrida em esteira - CE).

A corrida aquática foi realizada de tal maneira a garantir que o esforço realizado pelo sujeito fosse equivalente ao percebido na corrida terrestre. Nesse sentido, foi padronizado previamente o esforço com o uso de uma escala de percepção subjetiva de esforço, a fim de que uma mesma intensidade de exercício fosse realizada nas diferentes situações de corrida, tanto terrestre quanto aquática. Para o monitoramento da intensidade individual de exercício, foram empregados a Escala de Borg e um metrônomo para o controle do ritmo nas corridas aquáticas.

Duas intensidades de corrida foram testadas: auto-selecionada e máxima. Na intensidade auto-selecionada, o voluntário correu à vontade por alguns minutos até atingir o equilíbrio de suas funções físicas e psicológicas (sentir-se confortável com seu ritmo), então, foi anotada a velocidade escolhida. Esta velocidade auto-selecionada foi utilizada nas coletas de dados. Após isso, foi solicitado que o voluntário realizasse a corrida em um ritmo máximo e anotada a sua velocidade “máxima”. Após um intervalo para descanso, o voluntário realizou a corrida em velocidade máxima, usada para posterior análise. Estes procedimentos foram realizados para a coleta de dados da corrida em esteira e das corridas aquáticas. Estímulo verbal foi dado aos voluntários durante as tentativas nos testes máximos, a fim de manter a motivação. Durante a corrida aquática em piscina rasa, todos os voluntários calçavam sapatilhas anti-derrapantes.

Determinação dos ângulos entre os segmentos

Os ângulos selecionados para análise corresponderam aos valores discretos encontrados nas seguintes fases de movimento da corrida:

apoio inicial, apoio médio, apoio final e balanço médio.

A fase de apoio inicial foi determinada a partir da identificação do contato do pé com solo, tenha sido este executado com o calcanhar ou o antepé. Para a corrida em piscina funda, correspondeu ao início do movimento para trás do membro inferior, após a extensão máxima do joelho. A fase de apoio médio foi caracterizada como o instante em que o membro inferior encontrava-se entre o início e o final do apoio, na metade de sua trajetória. O apoio final foi considerado como sendo o instante em que

o pé estava na iminência de sair do solo. Para a corrida em piscina funda, correspondeu ao momento em que a coxa parava seu movimento do tipo pendular para trás (maior extensão do quadril) e o joelho começava a aumentar sua flexão. O balanço médio foi determinado através do instante da maior flexão que o joelho atingia em seu trajeto para a frente, no sentido do deslocamento. As referências usadas para a mensuração dos ângulos estão na FIGURA 1.

Os ângulos entre os segmentos foram definidos de acordo com o QUADRO 1.

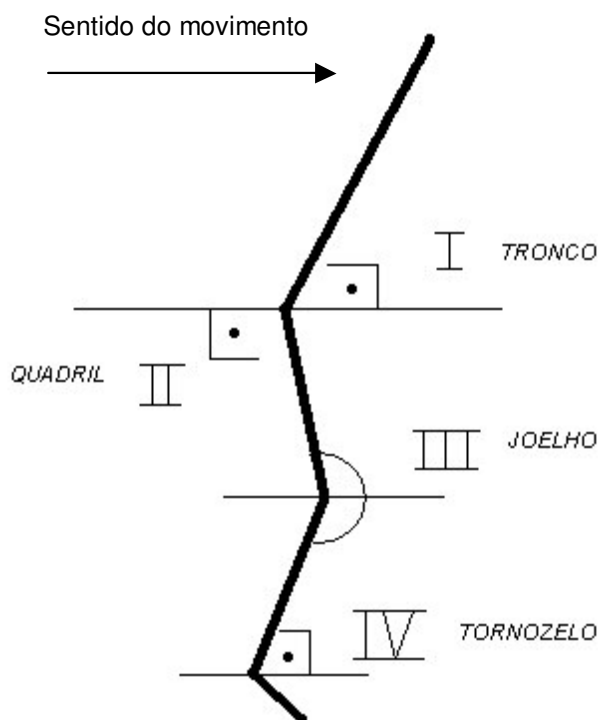


FIGURA 1 - Referências para a mensuração dos ângulos entre os segmentos: I: tronco; II: coxa; III: joelho; IV: tornozelo.

QUADRO 1 - Definição das medidas angulares entre os segmentos.

1	Ângulo do tronco	Mensurado em relação a um eixo horizontal, considerado como posição inicial o ângulo de 90°. Valores decrescentes indicam anteriorização do tronco e valores crescentes indicam posteriorização em relação à direção do deslocamento;
2	Ângulo da coxa	Mensurado em relação ao mesmo eixo horizontal anterior, considerado como posição inicial o ângulo de 90°. Valores crescentes indicam movimento de flexão e valores decrescentes indicam movimento de extensão da coxa;
3	Ângulo do joelho	Mensurado entre os segmentos da coxa e da perna, sendo considerado como posição inicial o ângulo de 180°. Valores crescentes indicam movimento de flexão e valores decrescentes indicam movimento de extensão do joelho;
4	Ângulo do tornozelo	Mensurado entre os segmentos da perna e do pé, considerado como posição inicial o ângulo de 90°. Valores crescentes indicam movimento de extensão (flexão-plantar) e valores decrescentes indicam movimento de flexão (dorso-flexão).

Determinação das variáveis espaço-temporais

As durações do ciclo, da fase de apoio, da fase de balanço e a cadência foram obtidas através da visualização do “software” APAS System versão 1.0, avançando quadro a quadro entre os limites que caracterizavam cada fase. A amplitude de passo foi mensurada no mesmo programa utilizado para mensurar os ângulos entre os segmentos inferiores. Para a medida das velocidades de deslocamento foi utilizado um cronômetro e padronizado o espaço percorrido nas corridas aquáticas. Na corrida em esteira, o controle de velocidade foi feito pela esteira motorizada.

Análise de dados

Foram agrupados todos os valores dos sujeitos participantes da pesquisa.

As variáveis selecionadas foram avaliadas quantitativamente e comparadas entre as três formas de corrida (em esteira, em piscina rasa, em piscina funda) nas duas intensidades de trabalho (auto-selecionada e máxima). Através de análise estatística

paramétrica de natureza descritiva obteve-se a média aritmética e o desvio padrão para todas as variáveis estudadas em três tentativas para cada uma das três formas de corrida para cada sujeito (seis sujeitos), nas duas intensidades.

Previamente, foi verificada a distribuição normal para cada variável selecionada através de testes de Shapiro-Wilks. Em seguida, uma ANOVA one-way com um pós-teste de Tukey foi feita para a determinação de diferenças entre as três formas de corrida nas variáveis espaço-temporais e angulares selecionadas. Para o tronco foi usado o teste-t pareado, pois os valores do tronco puderam ser obtidos apenas na corrida em esteira e em piscina funda e não na corrida aquática em piscina rasa. É importante ressaltar que as duas intensidades de trabalho, auto-selecionada e máxima, não foram comparadas entre si; comparações foram feitas entre as formas de corrida dentro de uma dada intensidade. O grau de significância foi determinado para um alfa de $p = 0,05$. O “software” Bioestat 3.0 foi utilizado para a realização dos cálculos estatísticos. O pós-teste de Tukey trabalha com um $p < 0,01$, entretanto, fornece o nível de “p” em que as comparações entre as médias dos grupos são significativamente diferentes.

Resultados

Variáveis espaço-temporais

As velocidades utilizadas na condição auto-selecionada (AS) e máxima (Max) estão apresentadas na TABELA 1. Estas expressam valores médios de velocidades para cada voluntário frente às três tentativas em cada uma das corridas.

Pode-se notar que as velocidades médias (m/s) no ambiente aquático foram menores (TABELA 1), demonstrando a seguinte relação: corrida em esteira (CE) > corrida aquática com apoio (CAA) > corrida aquática em piscina funda (CAF). Conseqüentemente, pode-se esperar um aumento da duração das fases da corrida dentro do ambiente aquático em relação à corrida terrestre. Além disso, as velocidades durante as corridas aquáticas apresentaram menores desvios-padrão quando comparadas às da corrida em esteira, tanto na condição auto-selecionada, quanto na máxima.

A duração da fase de apoio apresentou diferenças estatísticas entre as três técnicas de

corrida apenas durante o ritmo auto-selecionado (TABELA 2), enquanto no ritmo máximo não foram encontradas diferenças estatísticas nessa variável.

TABELA 1 - Velocidades médias e desvios-padrão para três tentativas de cada forma de corrida para cada voluntário (V1 a V6).

	Velocidades médias das corridas - m/s					
	CE AS	CE max	CAA AS	CAA max	CAF AS	CAF max
V1	2,78	3,89	1,10	1,34	0,24	0,38
V2	2,78	4,17	0,81	0,92	0,40	0,56
V3	3,33	4,44	0,92	1,24	0,26	0,46
V4	2,22	3,33	0,88	1,19	0,28	0,51
V5	2,22	3,06	0,66	0,68	0,26	0,37
V6	2,08	3,06	0,57	0,69	0,33	0,40
Média	2,57	3,66	0,82	1,01	0,29	0,45
Desvio-Padrão	0,48	0,59	0,19	0,29	0,06	0,08

CE AS = corrida em esteira em velocidade auto-selecionada;
CE max = corrida em esteira em velocidade máxima;
CAA AS = corrida aquática com apoio na velocidade auto-selecionada;
CAA max = corrida aquática com apoio na velocidade máxima;
CAF AS = corrida aquática em piscina funda na velocidade auto-selecionada;
CAF max = corrida aquática em piscina funda na velocidade máxima.

TABELAS 2 a 6:
 AS = velocidade auto-selecionada;
 Max = velocidade máxima;
 CE = corrida em esteira;
 CAA = corrida aquática com apoio;
 CAF = corrida aquática em piscina funda.
 * valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$
 ** valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$.

TABELA 2 - Valores médios e de desvios-padrão para a duração da fase de apoio.

	Duração da fase de apoio (segundos)		
	CE	CAA	CAF
AS	0,26 ± 0,06*	0,40 ± 0,08*	0,46 ± 0,01*
MAX	0,21 ± 0,02	0,29 ± 0,08	0,03 ± 0,07

A duração da fase de balanço também apresentou diferenças estatísticas somente para o ritmo auto-selecionado (TABELA 3). O ritmo máximo não retornou valores com diferenças estatisticamente significantes.

TABELA 3 - Valores médios e de desvios-padrão para a duração da fase de balanço.

	Duração da fase de balanço (segundos)		
	CE	CAA	CAF
AS	0,47 ± 0,04*	0,63 ± 0,10*	0,86 ± 0,16**
MAX	0,45 ± 0,04	0,57 ± 0,07	0,57 ± 0,13

Não houve diferenças significativas para a amplitude de passo entre as técnicas da corrida tanto na velocidade auto-selecionada, quanto na máxima (TABELA 4). Apesar disso, chama a atenção o fato de que, em velocidade auto-selecionada, a corrida em piscina funda (CAF) apresentou tendência a maiores amplitudes de passo, fato que não foi observado durante a execução em velocidade máxima, com tendência à redução da amplitude de passo na CAF.

TABELA 4 - Valores médios e de desvios-padrão para a amplitude de passo.

	Amplitude de passo (centímetros)		
	CE	CAA	CAF
AS	96,7 ± 8,10	92,5 ± 17,1	115,9 ± 23,9
MAX	116,6 ± 14,0	101,7 ± 31,4	98,3 ± 36,6

Para a variável da duração do ciclo, os três tipos de corrida apresentaram diferenças estatísticas para o ritmo auto-selecionado, sendo CAF > CAA > CE,

como mostrado na TABELA 5. Diferenças estatísticas também foram encontradas para o ritmo máximo entre a corrida em esteira e a corrida aquática em piscina funda.

TABELA 5 - Valores médios e de desvios-padrão para a duração do ciclo de passada.

	Duração do ciclo (centímetros)		
	CE	CAA	CAF
AS	0,74 ± 0,03*	1,02 ± 0,06**	1,30 ± 0,24**
MAX	0,67 ± 0,03*	0,85 ± 0,10	0,88 ± 0,20*

Na cadência, dada em ciclos por minuto (TABELA 6), o ritmo auto-selecionado apresentou diferenças estatísticas entre as três formas de corrida. No ritmo máximo, houve diferenças entre a corrida em esteira e as corridas aquáticas, porém não entre as corridas aquáticas.

TABELA 6 - Valores médios e de desvios-padrão da cadência.

	Cadência (ciclos/minuto)		
	CE	CAA	CAF
AS	81 ± 2,92*	59 ± 4,33**	48 ± 9,26**
MAX	89 ± 3,64*	72 ± 8,66*	67 ± 15,02*

Variáveis angulares

Os dados angulares são apresentados em termos de valores máximos encontrados em cada fase da corrida, tanto para a velocidade auto-selecionada quanto máxima.

As diferenças significantes para o ângulo de coxa no ritmo auto-selecionado estiveram presentes principalmente no apoio médio (maiores extensões nas corridas aquáticas) e no balanço médio (maiores flexões nas corridas aquáticas). No ritmo máximo, houve o mesmo comportamento (TABELA 7).

A TABELA 8 mostra a presença de uma postura de tronco claramente diferenciada em todas as fases entre a corrida em esteira e a aquática em piscina funda.

TABELA 7 - Valores médios e de desvios-padrão para o ângulo da coxa em velocidade auto-selecionada e máxima.

	Ângulo da coxa (graus)					
	Auto-selecionado			Máximo		
	CE	CAA	CAF	CE	CAA	CAF
Apoio Inicial	110 ± 2	100 ± 4	110 ± 14	113 ± 2	100 ± 8	99 ± 22
Apoio Médio	102 ± 4*	88 ± 4*	84 ± 21*	98 ± 8*	86 ± 5*	73 ± 17
Apoio Final	72 ± 4	80 ± 4	69 ± 28	70 ± 2	77 ± 6*	59 ± 17*
Balanço Médio	109 ± 5*	126 ± 16	136 ± 18*	107 ± 5*	135 ± 15*	132 ± 24

CE = corrida em esteira;
CAA = corrida aquática com apoio;
CAF = corrida aquática em piscina funda.
* valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$.

TABELA 8 - Valores médios e de desvios-padrão para o ângulo do tronco em velocidade auto-selecionada e máxima.

	Ângulo do tronco (graus)			
	Auto-selecionado		Máximo	
	CE	CAF	CE	CAF
Apoio Inicial	88 ± 4*	52 ± 9*	90 ± 10*	52 ± 10*
Apoio Médio	82 ± 8*	51 ± 7*	77 ± 11*	47 ± 8*
Apoio Final	74 ± 7*	49 ± 6*	71 ± 9*	45 ± 7*
Balanço Médio	81 ± 7*	59 ± 8*	79 ± 8*	57 ± 11*

CE = corrida em esteira;
CAF = corrida aquática em piscina funda.
* valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$.

O comportamento de anteriorização do tronco na corrida aquática em piscina funda (identificado pelos valores consistentemente menores de ângulo de tronco) foi observado em todas as fases da corrida e ainda acentuado com o aumento da velocidade de deslocamento.

O ângulo de joelho (TABELA 9) mostrou-se estatisticamente diferente entre as três formas de corrida em todas as fases de movimento durante o ritmo auto-selecionado. Nesse ritmo, houve diferenças significantes no apoio inicial para o ângulo de joelho entre os três tipos de corrida, com maiores flexões para a CAA, seguida da CE

e menores flexões para a CAF. O mesmo comportamento foi observado no ritmo intenso. No apoio médio, maiores flexões foram encontradas para a CE, seguida da CAA e menores flexões para a CAF em ambos os ritmos testados. Para o apoio final, somente foram observadas diferenças estatísticas no ritmo auto-selecionado, com maiores flexões para a CAA. No balanço médio, o joelho mostrou-se mais estendido na CE, tanto no ritmo auto-selecionado quanto no intenso. Nesta mesma fase, o joelho esteve consistentemente mais flexionado nas formas de corrida aquática, comparativamente à corrida em esteira.

TABELA 9 - Valores médios e de desvios-padrão para o ângulo do joelho em velocidade auto-selecionada e máxima.

	Ângulo do joelho (graus)					
	Auto-selecionado			Máximo		
	CE	CAA	CAF	CE	CAA	CAF
Apoio Inicial	202 ± 7*	213 ± 5*	191 ± 7*	199 ± 4*	216 ± 11	196 ± 7*
Apoio Médio	217 ± 4*	209 ± 5*	181 ± 4*	215 ± 6*	204 ± 7*	180 ± 3*
Apoio Final	197 ± 4*	201 ± 8*	198 ± 7*	196 ± 6	202 ± 7	196 ± 5
Balanço Médio	268 ± 7*	296 ± 19*	301 ± 15*	286 ± 8*	312 ± 10*	301 ± 17

CE = corrida em esteira;
CAA = corrida aquática com apoio;
CAF = corrida aquática em piscina funda.
* valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$.

Os ângulos do tornozelo estão apresentados na TABELA 10. Na velocidade auto-selecionada, diferenças estatísticas foram encontradas na fase de apoio médio e apoio final. O comportamento do

tornozelo no início do apoio foi semelhante entre os tipos de corrida, todos iniciados com uma flexão-plantar. No apoio médio, as maiores flexões-plantares estiveram presentes na CAF, seguida da CAA e as menores na CE.

TABELA 10 - Valores médios e de desvios-padrão para o ângulo do tornozelo em velocidade auto-selecionada e máxima.

	Ângulo do tornozelo (graus)					
	Auto-selecionado			Máximo		
	CE	CAA	CAF	CE	CAA	CAF
Apoio Inicial	119 ± 9	125 ± 14	135 ± 10	124 ± 13	126 ± 12	136 ± 17
Apoio Médio	101 ± 8*	108 ± 10*	141 ± 10*	103 ± 8*	113 ± 13*	139 ± 13*
Apoio Final	139 ± 6	132 ± 4*	146 ± 10*	142 ± 12	132 ± 8	146 ± 11
Balanço Médio	123 ± 13	126 ± 11	137 ± 17	137 ± 13	124 ± 9	142 ± 20

CE = corrida em esteira;
CAA = corrida aquática com apoio;
CAF = corrida aquática em piscina funda.
* valores com diferenças significativas para $p \leq 0,05$.

O mesmo comportamento se repetiu na velocidade máxima. Ao final do apoio, na velocidade auto-selecionada, tanto CAF, quanto CE

apresentaram maiores flexões-plantares do que CAA. Não houve outras diferenças estatísticas para a velocidade máxima.

Discussão

A falta de estudos semelhantes, avaliando aspectos biomecânicos entre as três formas de corrida, torna muito difícil a comparação dos resultados encontrados com outros semelhantes já publicados, uma vez que os estudos comparáveis a este têm investigado preferencialmente variáveis fisiológicas.

A grande dificuldade encontrada quanto à equivalência de respostas fisiológicas nos ambientes terrestre e aquático, reportada por diversos autores (BUTTS, TUCKER & GREENING, 1991; DEMAERE & RUBY, 1997; NAKANISHI, KIMURA & YOKOO, 1999), fez com que no presente estudo se optasse por utilizar velocidades auto-selecionadas, a fim de tornar as tarefas de corrida terrestre e aquática comparáveis, mesmo que sob o ponto de vista da percepção individual do esforço desempenhado. Mesmo assim, houve controle das velocidades individuais, de maneira que estas não podiam variar além do estabelecido no teste para a verificação da velocidade auto-selecionada para que a tentativa fosse considerada como válida. Na condição da corrida em esteira motorizada, esse controle é direto, pois o motor do equipamento fixa a velocidade. Nas corridas aquáticas, esse controle foi feito pelo uso de metrônomo, que acionava regularmente um sinal sonoro, indicando o ritmo do passo a ser mantido pelo sujeito. Caso o passo fosse realizado fora desse

ritmo, a tentativa não era considerada. Esse procedimento foi considerado mais importante sob o ponto de vista metodológico do que a imposição de uma mesma velocidade a todos, que poderia resultar em maiores interferências nas variáveis selecionadas para estudo, devido às características antropométricas de cada sujeito.

Dessa maneira, a velocidade auto-selecionada ofereceu uma melhor aproximação do comportamento do organismo durante uma corrida que lhe foi subjetivamente confortável nas três condições (corrida em esteira, aquática em piscina rasa e em piscina funda) ainda que medições pudessem indicar que as exigências fisiológicas não fossem as mesmas, a resposta final podia ser considerada próxima, sugerindo a manutenção de um estado de equilíbrio das funções fisiológicas durante o ritmo auto-selecionado e, acima disso, durante o ritmo máximo.

A corrida na água foi realizada em velocidades significativamente mais baixas do que a corrida em esteira. Além disso, os baixos desvios-padrão das corridas aquáticas podem indicar que no ambiente aquático, principalmente para o caso da ausência de apoio no solo (para a corrida em piscina funda), as mudanças de velocidade de deslocamento possam ser interpretadas como efeitos diretos das características mecânicas do meio líquido e não de

escolhas dos sujeitos, uma vez que a percepção do esforço desempenhado nas três corridas foi, em tese, sempre a mesma. Não fosse essa a escolha metodológica, seria necessário impor a mesma velocidade a todos os sujeitos, ou realizar o estudo com sujeitos com comprimentos de membros inferiores iguais, o que, muito provavelmente, resultaria em interferências ainda maiores nas variáveis de estudo. Assim, o critério do domínio do gesto técnico da corrida em piscina funda foi o mais relevante para o presente estudo e, conseqüentemente, levado em conta na seleção dos voluntários.

A duração do ciclo de corrida mostrou-se maior para o ambiente aquático, comparativamente à corrida em esteira. O mesmo efeito já foi observado para o andar terrestre comparado ao aquático (BARELA & DUARTE, 2005; BARELA et al., 2005). Este comportamento está provavelmente ligado à densidade da água, impondo maior resistência ao avanço, resultando em maiores durações dos ciclos e fases de movimento na comparação entre a corrida em esteira e as corridas aquáticas. Com o aumento da velocidade, no ritmo máximo, houve diferenças na duração do ciclo apenas entre a corrida em esteira e a corrida aquática em piscina funda, desaparecendo as diferenças entre as corridas aquáticas com apoio e em piscina funda, bem como entre a corrida em esteira e a aquática com apoio.

É interessante observar que todas as variáveis temporais estudadas diferenciaram-se mais entre as formas de corrida na velocidade auto-selecionada do que na máxima. Talvez haja uma maior possibilidade de ajustes na mecânica de movimentos para manter velocidades consideradas pelo sujeito como confortáveis, do que para manter velocidades máximas. Esse fato, no entanto, mereceria uma análise mais rigorosa, impossível de ser empreendida dadas as condições deste estudo.

Embora as diferenças encontradas para a amplitude de passo não tenham sido estatísticas, o menor crescimento da amplitude de passo na corrida aquática com apoio, comparativamente à corrida em esteira, pode ter sido influenciado tanto pela resistência da água ao avanço do membro, quanto pela redução do atrito entre o pé e o fundo da piscina, principalmente em ritmo máximo, apesar da sapatilha anti-derrapante ter sido calçada nas tentativas da corrida aquática com apoio. No ambiente terrestre é bem conhecida a estratégia preferencial para se obter aumento de velocidade através do aumento da amplitude de passo. Na corrida aquática em piscina funda, no entanto, foi observado o

comportamento inverso: houve uma tendência a uma menor amplitude de passo na condição de velocidade máxima, quando as três formas de corrida foram comparadas. Uma vez que não foram identificadas diferenças estatísticas nesse caso, esse dado precisa ser avaliado com cautela e um maior número de ciclos precisa ser avaliado futuramente para se concluir definitivamente a esse respeito.

Sabe-se que a resistência da água aumenta com o quadrado da velocidade, assim, é provável que desenvolver uma maior amplitude de passo no ambiente aquático para se aumentar a velocidade de deslocamento não seja o mais adequado, pelo custo energético extra desta estratégia, já que o membro inferior realizaria um maior percurso e estaria por um maior tempo atuando contra a resistência da água. Além disso, a inexistência de um apoio rígido na corrida aquática em piscina funda pode ser outro fator limitante de maiores amplitudes de passo, pois a propulsão contra o piso fixo é essencial para se alcançar passos maiores.

Quanto à postura corporal, a ausência de fase de contato com o solo provavelmente contribuiu para as diferenças encontradas entre a corrida aquática em piscina funda e a corrida em esteira. Porém, a tentativa de diminuir a área frontal do corpo orientada perpendicularmente ao fluxo da água a fim de reduzir a resistência, principalmente nas tentativas máximas, talvez possa ser considerada como principal fator responsável pela maior anteriorização do tronco na corrida aquática em piscina funda. A posição do tronco na corrida aquática com apoio não foi avaliada, pois este encontrava-se fora d'água e a câmera dentro.

Nas corridas em esteira e aquática com apoio, observou-se que a coxa e o joelho estiveram mais flexionados durante a fase de apoio, quando comparados com suas posições durante a corrida aquática em piscina funda. Na corrida aquática em piscina funda, o joelho encontrou-se hiperestendido na fase de apoio e com maior flexão na fase de balanço. Mudanças na amplitude de movimento de joelhos também foram encontradas no andar em ambiente aquático, principalmente na fase de balanço, quando comparado ao andar terrestre (BARELA & DUARTE, 2005; BARELA et al., 2005). Na corrida terrestre, a musculatura extensora do quadril e joelho precisa lidar com a força de reação do solo no início da fase de apoio, conseqüentemente, quadril e joelho estão mais flexionados no apoio médio, na transição da fase de absorção para a fase de geração de energia (NOVACHEK, 1995), o

que não ocorre na corrida aquática em piscina funda, devido à ausência do apoio fixo.

Quanto ao comportamento do tornozelo, observou-se que na corrida aquática em piscina funda, a fase de apoio é iniciada já em um grau elevado de flexão-plantar e que esta flexão-plantar ainda se intensifica na passagem para o apoio médio. Este comportamento somente esteve presente na corrida aquática em piscina funda, pois tanto na corrida aquática com apoio, quanto na corrida em esteira houve um movimento no sentido de uma dorso-flexão (identificado pela redução do ângulo mensurado), desde o apoio inicial até o apoio médio. Esta peculiaridade da corrida aquática em piscina funda revela a importância da planta do pé, bem como de toda a superfície posterior do segmento inferior, na função propulsiva desta forma de corrida, uma vez que não há apoio fixo contra o qual atuar.

Considerações finais

Em relação às variáveis temporais, a corrida aquática em piscina funda mostrou uma tendência a uma relação diferenciada para a amplitude de passos. Esse fato deve ser levado em conta em programas de atividades físicas que envolvam a corrida em piscina funda, já que exigir passos mais amplos pode, além de não produzir o aumento desejado de velocidade, aumentar as exigências fisiológicas do exercício. Por outro lado, trabalhar em amplitudes aumentadas de passo pode ser estratégia útil para o aumento da carga de treinamento. Assim, na corrida aquática em piscina funda é preciso distinguir o "mais rápido" do "mais intenso", pois envolvem estratégias motoras distintas.

A articulação do joelho possui um papel muito conhecido e importante na absorção de impactos durante a corrida terrestre. O ambiente aquático já é considerado como um ambiente redutor de impacto, o que representa um dos benefícios da prática da corrida aquática. A ausência de contato com o solo na corrida aquática em piscina funda, por sua vez, deve alterar a função das articulações do joelho e tornozelo durante o movimento e, conseqüentemente, também a atividade muscular relacionada a estas articulações.

Com base em observações práticas, especula-se que na corrida aquática em piscina funda possa

Nesse sentido, pode-se especular que as demandas de trabalho concêntrico da musculatura flexora-plantar sejam provavelmente aumentadas durante a fase de apoio da corrida aquática em piscina funda, do contrário, a pressão da água contra a planta dos pés e o segmento inferior durante o seu movimento para trás, relativamente ao sentido do deslocamento do corpo, tenderia a produzir uma dorso-flexão passiva no tornozelo e parte da propulsão seria, nessas circunstâncias, perdida.

Pode-se interpretar ainda que ciclos mais longos na corrida aquática alterem o padrão da atividade elétrica da musculatura dos membros inferiores, quando esta é comparada à corrida terrestre em esteira. Este fato pode ser especialmente importante na fase de balanço que precisa reposicionar o membro para um novo ciclo, transportando-o contra a resistência da água.

haver menor exigência de trabalho muscular de tronco e membros inferiores devida à perda aparente de peso na água. Por outro lado, as demandas impostas pelo trabalho dito não propulsivo, qual seja, de vencer a resistência da água e manter-se na superfície, poderia "esconder" o efeito do menor trabalho anti-gravitacional dos músculos. Em que medida a carga hidrostática e a força de arrasto independentemente alteram o padrão de atividade muscular (nível de ativação, duração e curso temporal da ativação muscular) e, conseqüentemente, o custo metabólico da atividade da corrida aquática ainda precisa ser investigado.

Assim, é necessário considerar as exigências musculares do ambiente aquático para a corrida com e sem apoio, questões não avaliadas diretamente no presente estudo, porém muito freqüentemente observadas em contextos pedagógicos. As conseqüências da falta de apoio fixo, bem como das propriedades mecânicas do meio líquido, por exemplo quando se pensa sobre os movimentos do tipo pendulares dos membros inferiores nas fases de balanço, precisam ser conhecidas a fim de se identificar como o problema coordenativo para uma tarefa conhecida, o correr, é solucionado no meio líquido. Esse fato indica uma futura direção para este estudo.

Abstract

A comparative study between treadmill running and water running in two different depths

Deep water running has increased in popularity as a mode of exercise. Biomechanical studies on deep water running are important because they would explain whether the techniques used during deep and shallow water running can really be considered mechanically similar to that of running on land. Thus, the purpose of this study was to compare the spatio-temporal variables and body positions of deep water, shallow water and treadmill running techniques. Three males and three females experienced in deep water running volunteered to this study. A bidimensional approach was performed using video analysis. Sagittal plane images were recorded with an underwater view of the water running techniques. Two velocities were tested: self-selected and maximal. The discussion made concerns the changes in the running pattern that were considered as effects of the mechanical characteristics of the water environment and of the absent of ground contact during deep water running.

UNITERMS: Deep water running; Spatio-temporal variables; Planar kinematics

Nota

1. Este estudo foi desenvolvido com apoio da FAPESP, através da concessão de Bolsa de Iniciação Científica a Jayme R. da Silva Filho.

Referências

- BARELA, A.M.; DUARTE, M. Aspectos biomecânicos do andar de adultos e idosos nos ambientes terrestre e aquático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2005. p.69.
- BARELA, A.M.; STOLF, S.F.; DUARTE, M. Características biomecânicas do andar em ambiente aquático. **Motriz**, Rio Claro, v.9, n.1, p.155, 2003. Suplemento.
- BARELA, A.M.; STOLF, S.F.; DA LUZ, B.S.; DUARTE, M. Padrão da marcha no ambiente terrestre e em dois níveis de imersão no ambiente aquático. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 11., 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 2005. p.70.
- BUTTS, N.K.; TUCKER, M.; GREENING, C. Physiologic responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. **American Journal of Sports Medicine**, Columbus, v.19, n.6, p.612-4, 1991.
- CAVANAGH, P.R. **Biomechanics of running**. Champaign: Human Kinetic, 1990.
- DARBY, L.A.; YAEKLE, B.C. Physiological responses during two types of exercise performed on land and in the water. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v.40, n.4, p.303-11, 2000.
- DeMAERE, J.M.; RUBY, B.C. Effects of deep water and treadmill running on oxygen uptake and energy expenditure in seasonally trained cross country runners. **The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, Torino, v.37, n.3, p.175-81, 1997.
- DENADAI, B.S.; ROSAS, R.; DENADAI, M.L.D.R. Limiar aeróbico e anaeróbico na corrida aquática: comparação com os valores obtidos na corrida em pista. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde**, Londrina, v.2, n.1, p.23-8, 1997.
- ERVILHA, U.L.; DUARTE, M.; AMADIO, A.C. Cinemática da articulação do joelho e atividade eletromiográfica de músculos do membro inferior durante a marcha em ambiente aquático e terrestre. **Revista Brasileira de Biomecânica**, n.4, p.21-6, 2002
- FRANGOLIAS, D.D.; RHODES, E.C. Maximal and ventilatory threshold responses to treadmill and water immersion running. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.27, n.7, p.1007-13, 1995.
- GEHRING, M.M.; KELLER, B.A.; BREHM, B.A. Water running with and without a flotation vest in competitive and recreational runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.29, n.10, p.1374-8, 1997.

- GERLACH, M. **Zur objektiven und subjektiven Belastung nichtsportiver Erwachsener der zweiten Lebenshälfte durch Aquajogging.** 1999. (Diplomarbeit) - Deutsche Sporthochschule, Köln, 1991.
- KAMINSKY, L.A.; WEHRLI, K.W.; MAHON, A.D.; ROBBINS, G.C.; POWERS, D.L.; WHALEY, M.H. Evaluation of a shallow water running test for the estimation of peak aerobic power. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.25, n.11, p.1287-92, 1993.
- MERCER, J.A. **Biomechanical comparison in deep water and treadmill running.** Disponível em: <<http://www.unlv.edu/faculty/jmercer/dwr/dwr2.html>>. Acesso em: 28 maio 2003.
- MOENING, D.; SCHEIDT, A.; SHEPARDSON, L.; DAVES, G.J. Biomechanical comparison of water running and treadmill running. **Isokinetics and Exercise Science I**, Stoneham, v.3, n.4, p.207-15, 1994.
- NAKANISHI, Y.; KIMURA, T.; YOKOO, Y. Physiological response to maximal treadmill and deep water running in the young and the middle aged males. **Applied Human Science**, Chiba, v.18, n.3, p.81-6, 1999.
- NOVACHEK, T.F. **Walking, running and sprinting: three dimensional analysis.** Disponível em: <<http://www.viconstandard.org/archives/1995no2/walkingrunningsprintinpart1/>>. Acesso em: 10 mar. 2003.
- RITCHIE, S.E.; HOPKINS, W.G. The intensity of exercise in deep-water running. **International Journal of Sports Medicine**, Stuttgart, v.12, n.1, p.27-9, 1991.
- STOMMEL, A.; ALTMANN, D. Neue therapeutische Perspektiven des Aquajoggings. **Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin**, Köln, v.47, n.4, p.305-6, 1996.
- SVEDENHAG, J.; SEGER, J. Running on land and in water: comparative exercise physiology. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.24, n.10, p.1155-60, 1992.
- TOWN, G.P.; BRADLEY, S.S. Maximal metabolic responses of deep and shallow water running in trained runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, Madison, v.23, n.2, p.238-41, 1991.
- WEIMANN, D.; WYDRA, G. Aquajogging als Ausdauertrainingsform bei orthopädischen Beeinträchtigungen. **Gesundheit und Sporttherapie**, v.15, n.2, p.40-5, 1999.
- WINTER, D.A. Biomechanics and motor patterns in normal walking. **The Journal of Motor Behavior**, Washington, v.25, p.302-30, 1983.
- YAMAJI, K.; GREENLEY, M.; NORTHLEY, D.R.; HUGHSON, R.L. Oxygen uptake and heart rate responses to treadmill and water running. **Canadian Journal of Sports Science**, Champaign, v.15, n.2, p.96-8, 1990.
- ZENHÄUSERN, R.; FREY, W.O. Aquajogging in der Rehabilitation. **Der Orthopäde**, Berlin, v.26, p.926-9, 1997.

Agradecimentos

À Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (EEFE-USP) que autorizou as coletas de dados em sua piscina.

Ao Laboratório de Biofísica da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo (EEFE-USP) que viabilizou toda a sessão experimental, desde a coleta à análise dos dados.

À FAPESP pela concessão de bolsa de Iniciação Científica.

ENDEREÇO

Paula H. Lobo da Costa
Departamento de Educação Física
Universidade Federal de São Carlos
Rod. Washington Luis, km 235
13565-905 - São Carlos - SP - BRASIL
e-mail: paulahlc@power.ufscar.br

Recebido para publicação: 18/08/2005

Revisado: 01/02/2006

Aceito: 03/03/2006