

MODULAÇÃO DA MARCHA AQUÁTICA PELA RESISTÊNCIA E SEUS EFEITOS SOBRE O COMPORTAMENTO MOTOR

AQUATIC GAIT MODULATION BY RESISTANCE AND ITS EFFECTS ON MOTOR BEHAVIOR

Vanessa Z. Rebutini¹, Elisângela V. Rodrigues², Leonardo Maiola³, Vera L. Israel⁴

RESUMO:

O meio aquático determina diversas modificações nos gestos motores, estas mudanças estão diretamente ligadas às características e princípios físicos que regem este meio. A marcha é um ato motor funcional adquirido na infância, repetido e automatizado. O objetivo é identificar como a resistência da água interfere no comportamento motor na marcha aquática. Método: realizou-se uma revisão bibliográfica na base de dados da Bireme (LILACS, IBECs, MEDLINE, Biblioteca Cochrane, SciELO). Os artigos estudados apresentam que a marcha pode ser definida e influenciada pelo seu histórico evolutivo, pelas variáveis do ambiente aquático (profundidade, densidade, fluxo), pelas características do corpo em deslocamento (forma, composição, peso, etc). Os achados apontam para uma resposta somatosensorial, que se efetiva pela ação em função da composição, da forma, do peso, etc.

Palavras-chave: água; marcha; cinemática; atividade motor.

ABSTRACT:

The aquatic environment causes many modifications in motor gestures, changes directly linked to the characteristics and physical principles that govern this medium. Gait is a functional motor act acquired in childhood, repeated and automated. The objective of this study was to identify how the resistance of the water interferes with the motor behavior in aquatic gait. Methods: a review was carried out using the Bireme database (LILACS, IBECs, MEDLINE, Cochrane Library, SciELO). The articles studied showed that gait could be defined and influenced by its historical evolution, the variables of the water environment (depth, density, flow) and the characteristics of the body being displaced (shape, composition, weight, etc). The findings point to a somatosensory response that is enabled by the action as a function of the composition, shape, weight, etc.

Key words: water; gait; kinematics; motor activity.

INTRODUÇÃO

Os estudos envolvendo movimento humano no ambiente aquático têm grande relevância nas pesquisas de treinamento e reabilitação devido às diferentes propriedades físicas e mecânicas que este meio impõe¹. Dentre essas propriedades, aqui destaca-se a resistência aquática: característica determinante quando consideramos os diversos deslocamentos possíveis neste meio.

O desempenho do deslocamento no meio aquático pode ser descrito pela interação que o corpo tem com a água, visando vencer as resistências que a água lhe oferece. Um dos efeitos resistivos negativos mais influentes é o arrasto hidrodinâmico, definido pela ação opositiva da água ao deslocamento do corpo imerso². Esse arrasto se efetiva pela relação entre a forma ou área de contato frontal do corpo imerso e pela velocidade em que esse corpo se desloca^{3,4}, relação que se dá em

1 Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR - Brasil.

2 Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Paraná (UFPR); Docente no Instituto Federal do Paraná, Curitiba, PR.

3 Aluno do Programa de Pós-Graduação em Educação Física, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR - Brasil.

4 Doutora, Centro de Estudos do Movimento e Postura Humana (CEMPH), Universidade Federal do Paraná - Litoral (UFPR-Litoral), Matinhos, PR - Brasil.

Correspondência para: vanerebutini@hotmail.com

Suggested citation: Rebutini VZ, et al. Aquatic gait modulation by resistance and its effects on motor behavior. J. Hum. Growth Dev. 2012; 22(3): 378-387

Manuscript submitted Nov 05 2011, accepted for publication Aug 02 2012.

proporções quadradas, ou seja, a resistência aumenta exponencialmente segundo o incremento na velocidade⁵.

Outro efeito a ser considerado é o da viscosidade, que resulta da interação e agrupamento das moléculas segundo sua agitação térmica², que depende da temperatura da água, tornando-se um fator facilitador ou dificultador do deslocamento neste meio⁶. Além dos citados, o fluxo turbulento, caracterizado pelo movimento desordenado da água, também atua como um elemento resistivo ao deslocamento neste ambiente; entretanto, sua ação irá favorecê-lo quando a direção do fluxo for igual a do movimento e o dificultará quando estiver contrário ao movimento⁷.

A ação da resistência do meio aquático propicia também o denominado arrasto ativo - movimento de propulsão criado pelo próprio corpo em deslocamento através dos movimentos dos membros. Tal movimento de propulsão pode ser explicado pelas seguintes teorias: a primeira baseia-se na terceira lei de Newton (ação e reação) e estabelece a propulsão dos corpos pela reação da água ao movimento (ao empurrar a água para trás, esta exerce uma força de igual magnitude para impulsionar os corpos à frente); a segunda teoria baseia-se no princípio de Bernoulli, a qual define a existência de uma força de sustentação criada pela diferença de pressão entre os lados opostos das mãos, quando movimentadas "varrendo" a água: maior pressão na palma e menor no dorso da mão (a diferença de pressão produz uma força de sustentação perpendicular à direção do fluxo de água que passa pelas mãos e o corpo é impulsionado à frente), sujeita à influência do ângulo de ação das mãos no movimento, sendo este principal ou auxiliar³.

Uma das formas de deslocamento possível no ambiente aquático, que estará sob a ação das propriedades descritas, é a marcha: habilidade motora fundamental e gesto motor habitual automatizado, composta por movimentos integridos do corpo e definida pelos sucessivos desequilíbrios do corpo que determinam o avanço à frente⁸. No ser humano normal, o padrão de marcha é adquirido e desenvolvido na infância, de modo que o sistema sensorio motor torna-se muito adaptado e gera automaticamente um conjunto repetitivo de comandos de controle motor sobre os segmentos, para permitir que a pessoa caminhe sem esforço consciente¹.

Mesmo sendo um ato complexo e automatizado da vida diária, a marcha pode sofrer interferência e modificações nos padrões de movimento segundo os tipos de superfície e ambiente em que é realizada⁹. Para o estudo da marcha, utilizam-se parâmetros sob a ótica da biomecânica (variáveis cinemáticas lineares e angulares/articulares: velocidade, deslocamento, aceleração, etc), do comportamento motor (orientação ou controle postural, manipulação e locomoção - padrões de movimento, nível de habilidade, etc) e pela interação de ambos.

O deslocamento angular, por exemplo, descreve as amplitudes dos movimentos articulares durante a marcha. As variáveis cinéticas incluem a força de reação ao solo, momentos de força, potência e trabalho das articulações durante o movimento¹⁰. As modificações cinemáticas, dinâmicas ou neuromusculares é que determinam a interferência do meio no qual o movimento acontece¹⁰, permitindo conclusões e propostas para o mecanismo desta influência.

No ambiente aquático, assim como no terrestre, a marcha é executada com o indivíduo na vertical, com variações de direção e sentido². Devido às propriedades físicas da água descritas acima, o comportamento das variáveis da marcha em água diferencia-se das do solo e entre as diferentes profundidades¹¹, determinando ajustes que variam de acordo com as características do indivíduo e com a idade¹². A marcha pode ser facilitada se a temperatura da água estiver elevada e, portanto, sua viscosidade diminuída; o arrasto ativo, por sua vez, pode determinar uma maior eficiência da marcha de acordo com a aplicação do membro propulsor - nesse caso, utiliza-se o auxílio dos braços. Assim, seja facilitando ou oferecendo resistência à execução dos movimentos, o meio aquático demanda que ocorram ajustes em relação ao comportamento motor terrestre do indivíduo como a maior ativação dos eretores da espinha e do reto femoral¹³.

Os ajustes, observáveis e definidos pelos meios aquático e terrestre, podem ser avaliados pela ótica da biomecânica e do comportamento motor. Há uma ênfase quanto aos estudos sob a perspectiva biomecânica, mas ao considerar a ótica do comportamento motor, existem poucos estudos que tentam argumentar a respeito, especificamente no meio aquático.

Assim, o objetivo é verificar como a resistência aquática promove adequações do comportamento motor na marcha aquática.

MÉTODO

Trata-se de pesquisa em base de dados, realizada no período de setembro de 2010 a novembro de 2011 na base de dados da Bireme (que engloba as seguintes bases de dados LILACS, IBECs, MEDLINE, Biblioteca Cochrane, SciELO), com o objetivo de encontrar estudos relacionados à marcha no ambiente aquático e terrestre. Inicialmente foram escolhidas as palavras-chave encontradas no sistema DeCS: *flow mechanics, gait, biomechanics, motor behavior e physical aquatic*, combinadas em grupos de três palavras para a pesquisa. Esta escolha resultou em 68 artigos: 35 destes foram excluídos e os 33 restantes não abrangiam os estudos sobre marcha no ambiente aquático - motivo para abandono desta pesquisa.

Novas buscas foram realizadas com as palavras-chave *water, walking and kinematics*, dispo-

tas em busca única. Foram inicialmente identificadas 36 publicações potencialmente elegíveis nesta revisão. Os critérios de inclusão foram: disponibilidade de acesso livre online ou pelo portal da Capes, pesquisas realizadas em seres humanos, trabalhos publicados nos últimos 10 anos, estudos publicados em português e/ou inglês e estudos realizados no meio aquático e terrestre.

Em seguida excluíram-se artigos que, pela leitura dos títulos e resumos, atenderam aos critérios de exclusão: estudos realizados há mais de dez anos (8 artigos), realizados com animais (9 artigos), estudos com populações com comorbidades do Sistema Nervoso Central e/ou sistema músculo-esquelético (3 artigos).

Os 16 artigos restantes foram divididos aleatoriamente e equitativamente entre os autores, agrupados por objetivo de pesquisa e descritos por ordem cronológica.

RESULTADOS

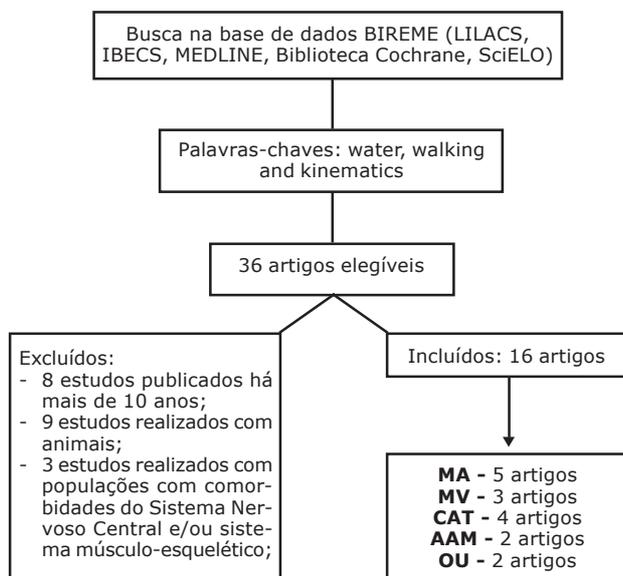


Figura 1 – Fluxograma do Estudo. **MA** - marcha aquática, atividade muscular e cinemática. **MV** - marcha em terrenos variados e diferenças biomecânicas. **CAT** - comparação marcha aquática e terrestre. **AAM** - análise antropológica da marcha humana. **OU** - outros.

Os estudos encontrados foram agrupados segundo seus objetivos de pesquisa, além da sequência cronológica: **MA** - marcha aquática, atividade muscular e cinemática (5 artigos); **MV** - marcha em terrenos variados e diferenças biomecânicas (3 artigos); **CAT** - comparação marcha aquática e terrestre (4 artigos); **AAM** - análise antropológica da marcha humana (2 artigos); **OU** - outros (2 artigos).

Os artigos do grupo MA apresentaram que há um aumento na ativação muscular no ambiente aquático segundo: a carga e a velocidade do movimento⁵; a velocidade do fluxo da água e a estabilidade¹; o deslocamento e postura¹³; o posicionamento de membros superiores, influência de peso, nível de imersão, área do corpo e velocidade¹¹.

Sobre as variações de terreno e diferenças biomecânicas (MV), os artigos demonstraram que as interferências, que alteram parâmetros dos movimentos, podem ser: pela inclinação e modificação da composição da superfície de tráfego²; pela adição de dupla tarefa, cognitivas e/ou motoras concomitantes, com ou sem ajuste por feedback³. No entanto, também foram encontrados resultados que demonstram que há similaridade de comportamento de fatores cinemáticos entre uma superfície irregular e a plana⁴.

Quando comparados os dois tipos de meio em que a marcha pode ser realizada, aquático e terrestre (CAT), os artigos apresentaram a variação dos momentos articulares segundo a diferença de carga corporal, influenciada pelos meios⁶; a redução dos valores de força verticais⁶ e do impacto na água⁵; o aumento dos momentos articulares e das ativações musculares em função do aumento da velocidade de deslocamento na água⁶; a redução na amplitude articular do movimento no ambiente aquático^{19, 18} ou a manutenção desta⁷; a diferença da ação articular de tornozelo na marcha aquática – apoio plano¹⁸ e aumento de flexão plantar nas demais fases¹⁹; a variação, entre os meios, da característica de velocidade de execução¹⁸; o aumento na ativação muscular para mover o corpo à frente, na água, contra a resistência⁶.

Por fim, os artigos que estabelecem uma análise antropológica da marcha humana (AAM) defendem que a bipedalidade tem origem em termos de melhorias da locomoção: a redução do custo no andar em quatro apoios, para que grandes distâncias fossem cobertas em velocidade e com baixo desgaste⁸; na troca da locomoção bípede, porém com joelhos e tornozelos flexionados (dispendioso na marcha terrestre, mas facilitador no ambiente aquático), pela ereta⁹.

Figura 2: estudos encontrados, organizados por ano, tipo e base de dados

Estudo	Ano	Tipo de estudo	Base de dados encontrada
Miyoshi <i>et al.</i> MA	2006	experimental	MEDLINE
Roesler <i>et al.</i> MA	2006	experimental	MEDLINE
Chevuttschi <i>et al.</i> MA	2007	experimental	MEDLINE
Masumoto; Mercer MA	2008	revisão	MEDLINE
Kotani <i>et al.</i> MA	2009	experimental	MEDLINE
Cham; Redfern MV	2002	experimental	MEDLINE
Wade; Redfern MV	2007	experimental	MEDLINE
Verhoeff <i>et al.</i> MV	2009	experimental	MEDLINE
Miyoshi <i>et al.</i> ; CAT	2009	experimental	MEDLINE
Miyoshi <i>et al.</i> CAT	2005	experimental	MEDLINE
Barela <i>et al.</i> CAT	2006	experimental	MEDLINE
Barela; Duarte CAT	2008	experimental	MEDLINE
Preuschtoft AAM	2004	revisão	MEDLINE
Kuliukas <i>et al.</i> AAM	2009	experimental	MEDLINE
House <i>et al.</i> OU	2004	experimental	MEDLINE
Prendergast; Lee OU	2006	revisão	MEDLINE

Figura 3: descrição de objetivos, métodos e desfecho para artigos MA - marcha aquática, atividade muscular e cinemática

Estudo	Ano	Objetivo	Método	Desfecho
Miyoshi <i>et al.</i> MA	2006	Investigar as ativações relacionados aos músculos sinérgicos da planti-flexão do tornozelo, enquanto os sujeitos andavam na água.	10 voluntários saudáveis; caminhada na água com 3 diferentes cargas e 4 diferentes velocidades; nível da água na axila. EMG dos músculos gastrocnêmios e sóleo	Os resultados revelaram que o a ativação EMG do sóleo depende mais da carga da caminhada do que da velocidade na água; a ativação do gastrocnêmio medial dependente mais da velocidade.
Roesler <i>et al.</i> MA	2006	Analisar o componente V e AP da força de reação do solo (FRS) durante a marcha aquática e comparar a influência da velocidade e da posição dos membros superiores (MMSS) nos componentes da FRS.	28 homens e 32 mulheres, altura 1,6-1,85m, divididos em 3 grupos de acordo com o nível de imersão. Marcha sobre uma plataforma (a 1,3m de profundidade) com 2 células de carga anexadas, em 4 diferentes situações: velocidade (lenta/rápida) e posição de MMSS (dentro/fora da água). Análise do componente vertical e antero-posterior da FRS.	Comparando os valores da marcha com os MMSS dentro e fora da água, os resultados foram significativos para MMSS fora da água. O componente vertical a FRS variou de 20 a 40 %. O componente AP a FRS variou de 8 a 20% considerando os três níveis de imersão.
Chevuttschi <i>et al.</i> MA	2007	Definir o grau de ativação muscular na marcha, a fim de auxiliar na escolha de exercícios para a prática clínica de hidroterapia.	7 mulheres saudáveis; comparação de EMG do reto femural, sóleo (perna direita) e o eretor da espinha contra lateral lombar.	Nas duas situações não houve diferenças tanto em picos amplitudiniais ou na forma de padrões. A velocidade do ciclo da marcha é reduzida em água, o andar na água aumenta a atividade dos eretores da coluna e ativa o reto femural a níveis próximos ou superiores ao caminhar em solo.
Masumoto; Mercer MA	2008	Discutir as considerações metodológicas da mensuração da atividade muscular da locomoção na água, resumir os achados da atividade muscular na locomoção aquática.	Revisão sistemática - Atividade EMG na água	Considerações metodológicas: utilização de material impermeável para mensuração na água.
Kotani <i>et al.</i> MA	2009	Medir a ativação muscular na marcha a fim de estimar a distância para uma evacuação segura quando há o efeito do fluxo e mudanças de velocidade.	8 homens saudáveis; caminhada contra fluxo de água em 4 diferentes velocidades (0, 0.47, 0.76, e 1.12 m/s); caminhada em terreno seco. EMG: reto femural, vasto lateral, bíceps femoral, gastrocnêmio, tibial anterior, glúteos médio.	A ativação dos glúteos médio aumentou com a velocidade do fluxo, sugerindo que o objetivo tende a ser para estabilizar a área pélvica para evitar a queda; o tibial anterior exibe maior ativação muscular com o aumento da velocidade de fluxo.

Figura 4: descrição de objetivos, métodos e desfecho para artigos MV - marcha em terrenos variados e diferenças biomecânicas

Estudo	Ano	Objetivo	Método	Desfecho
Cham, Redfern MV	2002	Quantificar se os indivíduos modificam a biomecânica da marcha em terrenos escorregadios.	8 homens e 8 mulheres. Rampa com plataforma de força embutida, para diferentes inclinações (0, 5, 10°) e extensão (1,8m de comp., 1m de larg., 1,4 de ext), revestida com compensado fino. LEDs foram anexados em: acrômio, trocânter maior, cômulo femoral, maléolo lateral e pé. 3 experimentos: base de referência (sabiam que o piso estava seco), expectativa (não sabiam) e recuperação (sabiam porque lhes era dito).	Na "base de referência" as variáveis cinéticas foram afetadas com a inclinação da rampa. Aumento na angulação aumenta a FRS. Na avaliação cinemática o apoio do calcanhar desacelera o final da fase de balanço. Na "expectativa": a FRS foi 16-33% menor em comparação com a de referência, com maior diminuição quando aumentava a angulação da rampa. Adaptações posturais e temporais da marcha que afetaram a FRS, foram utilizados para reduzir o pico de FRS. Adaptações da marcha incluiu a redução da duração do apoio. A diminuição do comprimento do passo diminuiu o ângulo do pé e a velocidade angular no contato do calcanhar. As adaptações realizadas para andar em piso escorregadio levou a mudar o momento angular das articulações.
Wade; Redfern MV	2007	Determinar a viabilidade do uso de plataformas de força para medir a FRS durante a marcha em superfícies de cascalho (especificamente a viabilidade e precisão de plataformas de força sob o cascalho, para medir a FRS da marcha)	5 indivíduos; passarela de 5x8,5m, cobertura de vinil sobre o chão e plataformas, cobertura de cascalho (alturas: 31, 63, 101mm); teste estático para averiguar FRS segundo localização e altura de cobertura; testes de marcha com velocidade auto-selecionada e sem/com cobertura - apoio no centro da plataforma	A cobertura de cascalho não afetou a capacidade da plataforma de medir com precisão as FRS; na marcha observou-se que as curvas de FRS demonstraram as similaridades entre as condições de superfície; valores de FRS foram os mesmos na marcha para todas as superfícies
Verhoeff <i>et al.</i> MV	2009	investigar o efeito de um sistema de biofeedback (BF) na oscilação do tronco (OT) na caminhada, com aplicação de dupla tarefa (DT)	13 idosos e 16 jovens saudáveis; realizar marcha com giroscópios corpo (L1-3) para medir a oscilação; as tarefas na marcha: andar normal, andar com contagem decrescente (-7), andar carregando uma bandeja com copos de água	Ângulo de oscilação corporal não se alterou significativamente após a adição da DT cognitiva; a tarefa motora envolveu uma redução significativa na OT; os jovens reagiram ao BF ao caminhar e realizaram a DT ao mesmo tempo; os idosos reduziram ação do tronco (com BF) na caminhada normal, menor capacidade de reagir ao BF e reduzir a OT quando a tarefa cognitiva ou motora foi adicionada (o acréscimo pode ter excedido a capacidade de processamento disponível); a OT não diminuiu em idosos, porém o desempenho da tarefa cognitiva melhorou com BF

Figura 5: descrição de objetivos, métodos e desfecho para artigos CAT - comparação marcha aquática e terrestre

Estudo	Ano	Objetivo	Método	Desfecho
Miyoshi <i>et al.</i> CAT	2004	Comparar as FRS, deslocamentos articulares, momentos articulares e a atividade de EMG que ocorre durante a marcha em diferentes velocidades no solo e na água.	50 homens saudáveis. Na água, a profundidade era ajustada até que o peso corporal reduzisse a 80%. Realizada análise por vídeo, com auxílio de plataforma de força para as variáveis cinéticas e cinemáticas de quadril, joelho e tornozelo. EMG	O componente AP difere entre a água e solo; o médio-lateral é similar. O deslocamento angular da articulação do quadril e tornozelo são similares na água e solo. A amplitude de movimento (ADM) de joelho é menor na água que no solo. O momento articular das três articulações foi menor na água que em solo no apoio, o momento de extensão do quadril e a atividade EMG dos extensores de quadril estavam aumentadas, como a velocidade da marcha na água.
Miyoshi <i>et al.</i> CAT	2005	Explicar o papel do momento articular de membro inferior e sua contribuição nas tarefas de sustentação e propulsão da marcha, em ambiente aquático e terrestre	Cinemática, EMG de bíceps femoral e glúteo máximos e FRS foram medidos nas condições: andar em terra e água em ritmo auto-determinado, andar devagar na terra, caminhar rápido na água com/sem carga adicional (8 kg)	O momento de flexão plantar do tornozelo teve alta sensibilidade ao peso e menor à velocidade da marcha; a principal função deste momento é manter a estabilidade contra a gravidade. A força do impacto em ambas as condições aumentaram com o peso das cargas e/ou da velocidade da marcha; a principal função do momento articular do joelho é absorver a força de impacto na marcha. Andar na água reduziu a carga e aumentou a força para mover o corpo à frente (empuxo e resistência) - uma forte propulsão é necessária para o deslocamento; o momento da articulação do quadril é de extensão (fase de apoio) e aumenta à medida que a velocidade aumenta (água); a principal função deste momento é impulsionar o corpo à frente contra a resistência da água
Barela <i>et al.</i> CAT	2006	Caracterizar qualitativamente e quantitativamente um ciclo completo da marcha de adultos em água rasa e comparar com a marcha terrestre.	10 adultos (6 homens e 4 mulheres). Análise da marcha bidimensional, água no processo xifóide de cada indivíduo. Uso de marcadores reflexivos: cabeça do 5º metatarso, maléolo lateral, epicôndilo lateral do fêmur, trocanter e 5 cm abaixo e lateral do processo xifóide. EMG: TA, VL, BF, tensor da fáscia lata (TFL), glúteos (G) e eretor da espinha (ES). Plataforma de força para componentes V e AP de FRS.	Qualitativamente todas as articulações obtiveram padrões semelhantes no ciclo em ambos os ambientes. O padrão do tornozelo na água foi de flexão plantar para as fases de apoio e balanço. O joelho apresentou redução da flexão durante os primeiros 15% o ciclo (água) e esteve mais estendido na fase de apoio na água do que em solo. O padrão do quadril foi similar em ambos. Qualitativamente, na água, os segmentos apresentaram postura neutra no início e no final das fases. A amplitude de movimento de tornozelo, joelho e tronco foi a mesma para água e solo; nos segmentos pé, perna e tronco houve diferença entre os ambientes. O componente V e AP da FRS foi diferente nas duas condições. EMG: G apresentou padrão similar em ambos os ambientes. TA e TFL foram ativados na fase de balanço, BF e VL na de apoio e ES no final desta e em toda a de balanço. RA na fase de contato.

Figura 6: descrição de objetivos, métodos e desfecho para artigos CAT - comparação marcha aquática e terrestre; AAM - análise antropológica da marcha; OU - outros

Estudo	Ano	Objetivo	Método	Desfecho
Barela; Duarte AAM	2008	Comparar qualitativamente e quantitativamente a marcha de idosos saudáveis na água e no solo. Comparar a marcha na água e em solo de idosos com o estudo prévio (Barela; Stolf; Duarte, 2005) realizado com adultos jovens.	10 idosos (6 homens e 4 mulheres). Análise da marcha bidimensional, água no processo xifóide de cada indivíduo. Braços na superfície da água. Uso de marcadores reflexivos: cabeça do 5º metatarso, maléolo lateral, epicôdilo lateral do fêmur, trocanter e 5 cm abaixo e lateral do processo xifóide. EMG: TA, VL, BF, TFL, G e ES. Plataforma de força para as componentes V e AP de FRS.	Não houve diferença na duração do passo (solo) entre grupos, idosos apresentaram menor duração na água. Em solo, a velocidade da marcha de idosos é menor que a de adultos jovens, mas é igual na água. Qualitativamente todas as articulações obtiveram padrões semelhantes na marcha (dois ambientes). Padrão do tornozelo: na água foi de flexão plantar para o apoio e final do balanço; toque no solo realizado com o pé aplanado, não com o calcanhar. O joelho apresentou maior flexão no início e final do ciclo (água e solo). Padrão do quadril: flexão em todo o ciclo no solo e água. A ADM de tornozelo (idosos) foi menor que dos adultos jovens. ADM de joelho foi menor na água que no solo (dois grupos). Idosos tem maior flexão de joelho na fase de apoio na água e comparado a adultos jovens. No balanço, idosos tiveram menor dorsiflexão na água que adultos jovens. Adultos jovens realizaram maior flexão de joelho (solo) e idosos maior flexão de quadril (água). FRS: o primeiro pico do componente V foi menor em idosos e na água; o segundo foi menor na água para os dois grupos. O impacto é menor em idosos e na água, para os dois grupos. O impulso horizontal é menor no solo e na água para idosos. EMG: G atividade de pico na água menor que em solo. TFL foram ativados na fase de balanço na água, BF e VL no apoio na água, TA em ambas as fases, ES no final do apoio e durante todo o balanço. RA em pontos na fase de contato.
Preuschoft AAM	2004	Discutir as características morfológicas gerais da maioria das espécies (mecânica teórica e descritiva do esqueleto e proporções - chimpanzés, orangotangos, gorilas, gibões, siamangs, humanos modernos)	não descrita	A bipedalidade do homem moderno tem diversas fontes de explicação, por referências aos membros superiores ou simplesmente em termos de melhorias que reduzem o custo do andar abaixo, de modo que grandes distâncias fossem cobertas em velocidade considerável para um consumo de energia mínimo
Kuliukas <i>et al.</i> AAM	2009	Analisar as duas possíveis formas de locomoção de australopitecos, qual tem padrão de maior desgaste energético	30 voluntários; os indivíduos foram submetidos à testes dentro da água com diferentes graus de flexão de joelho, na posição vertical.	Em águas profundas percebe-se que o gasto energético da locomoção com os joelhos flexionados não é tão grande quanto percebido na locomoção no ambiente terrestre.
House <i>et al.</i> OU	2004	Testar a eficiência de palmilhas para treinamento de militares, verificando a diminuição da retenção de líquidos.	Militares utilizaram as palmilhas nas semanas 12 e 30 de treinamento, análise de aspectos biomecânicos da pressão sobre o bico do pé e o calcanhar.	As palmilhas são suficientemente duráveis para militares; a retenção de água foi reduzida, diminuindo os ferimentos decorrentes do não congelamento dos pés.
Prendergast; Lee OU	2006	Analisar contribuições do autor para a biomecânica: ênfase a teoria da hidrodinâmica da lubrificação das articulações	Análise de livros e publicações de MacConaill	O autor tem um grande papel científico na área de estudos sobre as articulações do joelho. Após o ano de 1930, MacConaill aplicou uma abordagem matemática para combater cada problema.

DISCUSSÃO

Para o encadeamento, discorre-se sobre os artigos segundo o agrupamento por objetivos de pesquisa, tal qual a organização dos resultados.

Os primeiros estudos descritos abordam as características e comportamentos da marcha aquática (MA). Miyoshi *et al.*⁵ aponta que na marcha há variações na ativação muscular, podendo ser influenciada pelo peso do corpo imerso e pela velocidade com a qual este se desloca. A primeira influência é descrita como uma redução no *input* somatosensorial relacionado pela ação do empuxo; já a segunda, como o aumento dos comandos descendentes dos centros superiores, para possibilitar o transporte do corpo para a frente, contra a resistência da água.

O autor ainda explora mais a questão, dizendo que o comando descendente dos centros superiores, relacionados à maior força propulsiva, aparecem seletivamente para ativar o neurônio motor do músculo responsável pela ação; ou seja, a solicitação é direta e seletiva, sendo concebível relacioná-la ao esforço direto ou papel deste motoneurônio em superar a resistência do movimento dentro da água. Para Kotani *et al.*¹⁴ esta ativação depende da associação entre o tipo do músculo solicitado (monoarticular/biarticular) e sua função. Os autores também estabelecem que variação no tempo desta ativação está relacionado à existência de um fluxo de água ao encontro do corpo em deslocamento: ela aumentará segundo o aumento deste fluxo.

Quanto à influência do peso do corpo imerso, determinado pelas suas características e pela ação do empuxo, Roesler *et al.*¹¹ confirmam que o nível de imersão e a posição dos membros superiores (variação de peso) determinam maiores respostas de força de reação do solo (FRS) na marcha. Esta idéia é corroborada por Masumoto e Mercer², pois afirmam que a ativação muscular se dá pelo *input* somatosensorial de peso – uma relação características corporais e sua consequente ação do empuxo. Os autores explicam que o empuxo modifica a ação gravitacional no meio aquático diminuindo as reações de solo e, por sua vez, o *input* somatosensorial relacionado. Esta redução determina uma menor ativação muscular, além de modificar a influência da pressão hidrostática, alterando a ação muscular mediada por receptores corporais de pressão.

A velocidade de deslocamento de um corpo na água se comporta segundo a interação de alguns fatores: a influência da área do corpo submerso e a resistência aquática imposta, pois a relação dessa resistência com a velocidade se dá em uma proporção quadrada⁵; a viscosidade do meio². Esta interação se efetiva pela posição vertical do corpo durante a execução da marcha, pois com o aumento da área frontal, da resistência e da interação entre o corpo e o meio (viscosidade), há uma redução na velocidade em relação ao meio terrestre². Se a velocidade é resultante

da ativação de motoneurônios para um movimento¹, seja este angular ou linear, então há grande ativação para vencer a resistência da água, pois é muito maior que a do ar². Alguns ajustes motores e funcionais são realizados para o aumento da velocidade, como: a alteração da manutenção da postura pelos músculos eretores, que estabilizam em plano frontal para baixas velocidades e alternam para plano sagital em velocidades maiores; e a redução na frequência no passo em relação ao movimento na terra, em consequência do empuxo e do arrasto hidrodinâmico¹³.

Quanto às variações das superfícies (MV), os estudos encontrados relatam que, quando o corpo encontra ambiente diferente daquele no qual desenvolve a rotina para a marcha, este necessita realizar adaptações potenciais, resultando em diferenças significativas na biomecânica da marcha^{15, 16}. Cham e Redfern¹⁵ comentam em sua pesquisa que as adaptações realizadas para andar em piso escorregadio alteram o momento angular das articulações, isto está associado ao conceito de equilíbrio na biomecânica. Este equilíbrio é onde as articulações assumem uma postura estável, a qual Caromano² menciona, afirmando que este ocorre quando diversas forças agem sobre o corpo, atuando em direções opostas e se anulam. Este equilíbrio também é observado em estudos que pessoas deviam realizar duas tarefas simultaneamente¹⁶: nos testes aplicados os participantes tiveram que realizar uma tarefa de raciocínio e realizar uma ação motora, fazendo adaptações da postura em busca do equilíbrio para atingir um determinado objetivo.

A comparação da marcha em diferentes meios e pessoas é foco de pesquisa em seres humanos, considerando as diversas fases de evolução: Preuschoft²¹ demonstra o interesse em estudar as diferenças da marcha nos australopitecos e como esta forma influenciou a locomoção na atualidade. Verificou que em águas profundas o gasto energético da locomoção com os joelhos flexionados, forma da locomoção dos australopitecos, não é tão grande quanto percebido na locomoção no ambiente terrestre. O autor atribuiu tal diferença a menor atividade encontrada nos músculos gastrocnêmio e sóleo no exercício aquático, justificada pela ausência de contato e consequentes forças verticais com o fundo da piscina, durante a caminhada neste meio³.

Os estudos relacionados com a comparação da marcha aquática e terrestre (CAT) justificam seus resultados relacionando com as propriedades de empuxo, arrasto hidrodinâmico e viscosidade da água.

Miyoshi *et al.*¹⁹ e Barela *et al.*²⁰ relatam que a diminuição do componente vertical da FRS está relacionada com o empuxo, que influencia na redução da força de impacto na fase inicial do apoio na água. O que vai ao encontro do estudo de Masumoto e Mercer², que relatam a redução em 71% do peso corporal quando a água está na altura do processo xifóide, o que pode estar relacionado com a diminuição do componente vertical da FRS.

Barela *et al.*²⁰ acrescenta que a diminuição da força vertical está relacionada com a diminuição da velocidade da marcha realizada na água comparado com o solo. Considerando que as características de área e viscosidade contribuem para as alterações², corrobora-se que a velocidade da marcha aquática é metade da velocidade em solo⁴.

No entanto, Barela *et al.*¹⁸ e Barela *et al.*²⁰ explicam que a diferença encontrada na marcha aquática e terrestre não se deve somente à influência do meio, mas também às diferentes velocidades utilizadas durante o deslocamento, à diminuição do peso corporal na água devido ao empuxo e às alterações necessárias para vencer o arrasto hidrodinâmico. De acordo com os princípios da hidrodinâmica, os movimentos de segmentos dentro da água são influenciados pela força de arrasto e pelo empuxo²⁸, o que diferencia do ambiente terrestre.

Achados eletromiográficos definem a baixa velocidade, desenvolvida durante a marcha na água, como elemento fundamental para vencer o arrasto hidrodinâmico e, além disso, consideram que é a diminuição de peso que gera menor impulso propulsor para o deslocamento na água^{18, 20}.

Neste raciocínio, a diminuição da atividade muscular durante a marcha aquática comparada com a terrestre está relacionada com alterações da marcha: Masumoto *et al.*⁵, em seu estudo, verificaram diminuição da frequência do passo (aproximadamente 57% em relação ao solo) e diminuição do comprimento do passo na água em relação ao solo. A diminuição da atividade muscular na água pode estar relacionada com o empuxo e a diminuição da força da gravidade e da pressão hidrostática que atuam no sistema neuromuscular².

Barela *et al.*¹⁸ e Barela *et al.*²⁰ não encontraram diferenças na amplitude de movimento (ADM) das articulações tanto no solo quanto na água, porém com relação aos segmentos, pés, pernas e tronco, houve diferença considerando os dois ambientes, devido à manutenção do membro em posição neutra durante o deslocamento na água para vencer a força de arrasto, o que vai ao encontro do estudo de Ribas *et al.*¹.

Miyoshi *et al.*¹⁹, sugerem que a diminuição da plantiflexão de tornozelo e da extensão de joelho é devido ao empuxo e que, em seu estudo, a articulação de joelho não possui papel absorção de impacto na água. No estudo de Ribas *et al.*¹, na fase de apoio inicial e oscilação final, a extensão articular do joelho no ambiente terrestre é maior quando comparada em ambiente aquático e a flexão do joelho, na fase de balanço, é maior no ambiente aquático em virtude da tentativa de diminuir a resistência frontal da água.

Miyoshi *et al.*¹⁹ e Miyoshi *et al.*⁶ justificam que a redução do peso corporal do indivíduo ao andar dentro da água e o aumento da força necessária para mover o corpo nesse ambiente é decorrente, respectivamente, do empuxo e da resistência aquática, especificamente a viscosidade.

Argumentam também que o aumento do momento angular no quadril na extensão, durante a fase de apoio, é decorrente da força de impulsão necessária para deslocar o corpo na água. Respostas similares para a ativação dos músculos propulsores da caminhada são encontradas em investigações com velocidade fixa (mesma intensidade fisiológica de exercício)^{26, 23} em músculos responsáveis pela propulsão do movimento.

Na realização de uma mesma intensidade de esforço fisiológico nos dois meios, a velocidade da marcha terrestre precisa ser o dobro da velocidade aquática²³. Da mesma forma a atividade aumentada de músculos como o gastrocnêmio, o tibial anterior, vasto medial, o reto femoral e o bíceps femoral no meio aquático ocorre devido ao aumento da resistência imposta ao movimento pela necessidade de vencer a maior densidade do fluido líquido comparado com a do ar em uma mesma velocidade de exercício terrestre^{23, 28}.

Miyoshi *et al.*⁶ enfocam que aumento na flexão plantar do tornozelo ocorre se a instabilidade corporal, o peso corporal e a velocidade aumentarem, o que indica que maior alteração do momento articular é necessário para manter a estabilidade contra a gravidade. Miyoshi *et al.*¹⁹, relata o aumento dos momentos articulares e das ativações musculares em função do aumento da velocidade de deslocamento na água. Estas observações sugerem que atividades musculares podem ser ativadas com pequenas mudanças na velocidade de deslocamento na água em relação ao solo, o que pode ser decorrente do aumento exponencial do arrasto hidrodinâmico que influencia a velocidade de movimento durante a locomoção na água, uma vez que, a relação entre a força de arrasto e a velocidade de movimento é não linear, de modo que, o arrasto aumenta em função da velocidade ao quadrado⁶.

As alterações que o corpo sofre começam ao primeiro contato com o meio, mas é por meio do deslocamento que os efeitos da resistência são experimentados. Os artigos descritos neste estudo estabelecem que as alterações do comportamento motor têm por base os reflexos sinestésicos (receptores de visão, tato, etc), os reflexos de movimento e de carga nas ativações sensório-motoras correspondentes, nas conseqüentes ações musculares e, por fim, nas mudanças passíveis de observação: cinemáticas (linear, angular), etc. Algumas limitações foram identificadas com este estudo: as palavras-chave escolhidas e utilizadas estão longe de abranger os estudos correspondentes às áreas responsáveis pela produção deste conhecimento; apenas uma base de dados foi utilizada para a pesquisa dos artigos, o que reduziu os estudos passíveis de análise nas condições aqui especificadas. Indica-se o aprofundamento desta pesquisa com um maior número de palavras e de bases de dados, para que o tema aqui analisado possa ser discutido com mais profundidade.

REFERÊNCIAS

1. Ribas DIR, Israel VL, Manfra EF, Araújo CC. Estudo comparativo dos parâmetros angulares da marcha humana em ambiente aquático e terrestre em indivíduos hígidos adultos jovens. *Rev Bras Med Esporte*. 2007; 13(6). DOI 10.1590/S1517-86922007000600003.
2. Masumoto K; Mercer JA. Biomechanics of human locomotion in water: an electromyographic analysis. *Exerc Sport Sci Rev*. 2008; 36(3): 160-9.
3. Maglischo E. *Swimming Fastest*. Human Kinetics. 2003. USA.
4. Tucher G, Gomes ALM, Dantas EHM. Relação entre a potência mecânica de nado e o rendimento na natação. *Rev. Bras. Cienc. Esporte*. 2009; 30 (2): 169-180.
5. Miyoshi T, Nakazawa K, Tanizaki M, Sato T, Akai, M. Altered activation pattern in synergistic ankle plantarflexor muscles in a reduced-gravity environment. *Gait Posture*. 2006; 24(1): 94-9.
6. Miyoshi T, Shirota T, Yamamoto SI., Nakazawa K, Akai M. Functional roles of lower-limb joint moments while walking in water. *Clinical Biomechanics*. 2005; 20: 194-201.
7. Canderolo JM, Caromano FA. Revisão e atualização sobre a graduação da resistência ao movimento durante a imersão na água. *Revista Fisioterapia Brasil*. 2004; 5(1).
8. Alonso VK, Okaji SS, Pinheiro MT, Ribeiro CM, Souza HP, Santos SS. Análise cinemática da marcha em pacientes hemiparéticos. *Revista Fisio Brasil*. 2002;
9. Mann L, Teixeira CS, Mota CB. A marcha humana: interferências de cargas e de diferentes situações. *Arq. Ciênc. Saúde Unipar*. 2008; 12 (3): 257-264.
10. Kirkwood RN, Gomes HA, Sampaio RF, Culham E, Costigan P. Análise Biomecânica das Articulações do Quadril e Joelho Durante a Marcha em Participantes Idosos. *Acta Ortop Bras*. 2007; 15(5): 267-271.
11. Roesler H, Brito RN, Haupenthal A, Souza PV. Análise comparativa da marcha humana em solo à subaquática em dois níveis de imersão: joelho e quadril. *Revista Brasileira de Fisioterapia*. 2004; 8:1-6.
12. McGibbon CA, Krebs DE. Age-Related Changes in Lower Trunk Coordination and Energy Transfer During Gait. *J Neurophysiol*. 2001; 85: 1923-1931.
13. Chevutschi A, Lensele G, Vaast D, Thevenon A. An electromyographic study of human gait both in water and on dry ground. *J Physiol Anthropol*. 2007; 26(4): 467-7. DOI 10.2114/jpa2.26.467
14. Kotani K, Hirato Y, Ishigaki T, Shimada H, Toda K, Horii K. Biomechanical analysis of walking through a hallway under flooded conditions. *J Physiol Anthropol*. 2009; 28(1): 23-28.
15. Cham R, Redfern MS. Changes in gait when anticipating slippery floors. *Gait Posture*. 2002; 15(2): 159-71.
16. Verhoeff LL, Horlings CG, Janssen LJ, Bridenbaugh SA, Allum JH. Effects of biofeedback on trunk sway during dual tasking in the healthy young and elderly. *Gait Posture*. 2009; 30(1): 76-81.
17. Wade C, Redfern MS. Ground reaction forces during human locomotion on railroad ballast. *J Appl Biomech*. 2007; 23(4): 322-9.
18. Barela AM, Stolf SF, Duarte M. Biomechanical characteristics of adults walking in shallow water and on land. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2006; 16: 250-256. DOI 10.1016/j.jelekin.2005.06.013
19. Miyoshi T, Shirota T, Yamamoto S, Nakazawa K, Akai M. Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. *Disabil Rehabil*. 2004; 26(12): 724-32.
20. Barela AMF, Duarte M. Biomechanical characteristics of elderly individuals walking on land and in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2008; 18: 446-454. DOI 10.1016/j.jelekin.2006.10.008
21. Preuschoft H. Mechanisms for the acquisition of habitual bipedality: are there biomechanical reasons for the acquisition of upright bipedal posture? *J Anat*. 2004; 204(5): 363-84.
22. Kuliukas AV, Milne N, Fournier P. The relative cost of bent-hip bent-knee walking is reduced in water. *Homo*. 2009; 60(6): 479-88.
23. Masumoto K, Shono T, Hotta N, Fujishima K. Muscle activation, cardiorespiratory response, and rating of perceived exertion in older subjects while walking in water and on dry land. *J. Electromyogr. Kinesiol*. 2008;18(4):581-90.
24. Caromano, FA. Movimentos na água. *Revista Fisioterapia Brasil*. 2003; 4(2).
25. Silva, EM; Krueel, LFM. Caminhada em Ambiente Aquático e Terrestre: Revisão de Literatura Sobre a Comparação das Respostas Neuromusculares e Cardiorrespiratórias. *Rev Bras Med Esporte*. 2008; 14(6). DOI 10.1590/S1517-869220080006000016
26. Masumoto KS, Takasugi N, Hotta K, Fujishima, Iwamoto Y. Electromyographic analysis of walking in water in healthy humans. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci*. 2004; 23: 119-127.
27. Masumoto K, Shono T, Takasugi S, Hotta N, Fujishima K, Iwamoto, Y Age-related differences in muscle activity, stride frequency and heart rate response during walking in water. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2007; 17: 596-604.
28. Pöyhönen T, Kyröläinen H, Keskinen KL, Hautala A, Savolainen J, Mälkiä E. Electromyographic and kinematic analysis of therapeutic knee exercises under water. *Clin.Biomech*. 2001; 16: 496-504. DOI: 10.