



HIPO-HIDRATAÇÃO E PRODUÇÃO DE FORÇA PELO MÚSCULO ESQUELÉTICO: UMA BREVE REVISÃO¹

Rodrigo Rodrigues
Bruno Manfredini Baroni
Flávia Meyer
Marco Aurélio Vaz

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brasil

Resumo: O objetivo da presente revisão é identificar a influência da hipohidratação na produção de força do músculo esquelético e descrever seus prováveis/possíveis mecanismos de ação. Parte dos achados da literatura sugere que a hipohidratação tende a apresentar uma redução da produção de força, o que parece estar principalmente associado a fatores de ordem central que prejudicam o recrutamento de unidades motoras. Entretanto, os resultados mostram que esta questão permanece em aberto, bem como seu mecanismo de ação, sobretudo em função da ausência de controle sobre variáveis intervenientes por parte dos estudos da área. No entanto, apesar da carência de evidências, a manutenção do estado de hidratação por meio da ingestão de líquidos é uma estratégia interessante para evitar possíveis prejuízos da hipohidratação sobre o desempenho físico.

Palavras-chave: desidratação; força muscular; desempenho.

INTRODUÇÃO

A prática de exercício físico é muitas vezes realizada em ambientes quentes (HAYES; MORSE, 2009), o que proporciona significativas alterações termorregulatórias, hormonais e, principalmente, cardiovasculares no organismo (CASA, 1999). Estes efeitos agudos decorrentes do exercício no calor contribuem diretamente para o decréscimo de desempenho, o que é facilmente observado pela comparação entre um determinado esforço físico que é realizado em ambiente quente, termoneutro ou

¹ Os autores agradecem ao Programa de Educação Tutorial (PET) dos cursos de Educação Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, à Pró-Reitoria de Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) o apoio financeiro.

frio (PARKIN et al., 1999). No organismo humano, a principal forma de dissipação do calor durante o exercício ocorre através da evaporação do suor secretado pelas glândulas sudoríparas écrinas (SHIBASAKI; WILSON; CRANDALL, 2006). Esta perda de água corporal promovida pela sudorese pode ser substancial, promovendo desidratação (ACSM, 2007), levando o indivíduo a um quadro de hipo-hidratação caso não haja reposição num volume de fluido perdido (CASA, 1999; ACSM, 2007).

De acordo com o American College of Sports Medicine (ACSM, 2007), o aparecimento da hipo-hidratação como consequência da prática esportiva é muito frequente, atingindo perdas correspondentes a 3,5% da massa corporal em esportes de longa duração, como o *Ironman*. Por outro lado, a hipo-hidratação também pode ser utilizada como estratégia de controle de peso em esportes de combate, em que os atletas fazem uso de técnicas específicas (por exemplo, restrição de líquidos, exposição em sauna e exercícios em ambiente quente) para reduzir a massa corporal e se enquadrar em categorias inferiores (ARTIOLI; FRANCHINI; LANCHÁ JUNIOR, 2006), podendo este valor ser superior a 5% da massa corporal (KRAEMER et al., 2001), caracterizando um quadro severo de hipo-hidratação (ACSM, 2007; CASA et al., 2000).

A perda hídrica promove alterações cardiovasculares e termorregulatórias significativas, tais como redução no volume plasmático, elevação da frequência cardíaca, redução no débito cardíaco, redução no fluxo sanguíneo para a pele, redução na taxa de sudorese e aumento da temperatura central (CASA, 1999; ACSM, 2007; SBME, 2009), fatores que afetam significativamente a capacidade de realizar exercício, principalmente de característica predominantemente aeróbia (CASA, 1999; ACSM, 2007). No entanto, embora a manutenção do estado de hidratação seja considerada fundamental para o desempenho em modalidades com predominância aeróbia, permanecem incertos os efeitos da hipo-hidratação sobre a capacidade de produção de força máxima (JUDELSON et al., 2007a), que é dependente de fatores de origem central (recrutamento de unidades motoras) e periférica (características estruturais do músculo esquelético) (ENOKA, 2000).

O objetivo do presente estudo de revisão é apresentar os principais resultados reportados pela literatura e averiguar os prováveis/possíveis mecanismos envolvidos na influência da hipo-hidratação sobre a capacidade de produção de força pelo músculo esquelético.

METODOLOGIA

Para tal, foram realizadas buscas nas bases de dados PubMed, Scopus e SciELO a partir dos termos *hydration*, *dehydration*, *hypohydration*, *muscular strength*, *muscle strength*, *muscular performance*, *muscle performance* e *neuromuscular function*. Os resultados obtidos estão demonstrados na Tabela I.

Tabela I
Resultado da busca a partir dos termos e bases de dados
utilizadas no presente estudo

Descritores	Pubmed	Scopus	SciELO
<i>Hydration and muscular strength</i>	32	16	1
<i>Hydration and muscle strength</i>	40	96	1
<i>Hydration and muscular performance</i>	44	133	1
<i>Hydration and muscle performance</i>	65	23	2
<i>Hydration and neuromuscular function</i>	21	26	0
<i>Dehydration and muscular strength</i>	37	30	2
<i>Dehydration and muscle strength</i>	50	126	2
<i>Dehydration and muscular performance</i>	89	28	3
<i>Dehydration and muscle performance</i>	127	256	5
<i>Dehydration and neuromuscular function</i>	26	36	0
<i>Hypohydration and muscular strength</i>	4	7	0
<i>Hypohydration and muscle strength</i>	8	16	0
<i>Hypohydration and muscular performance</i>	8	7	0
<i>Hypohydration and muscle performance</i>	16	29	0
<i>Hypohydration and neuromuscular function</i>	2	3	0
Total	569	832	17

Fonte: Elaborada pelos autores.

A filtragem ocorreu inicialmente em título e resumo dos artigos encontrados e posteriormente pela leitura do texto completo. Para a escolha dos artigos, foram respeitados os seguintes critérios de inclusão/exclusão: 1. estudos com seres humanos; 2. artigos originais com testes de avaliação da produção de força; 3. artigos de maior fator de impacto; 4. artigos somente em línguas inglesa e portuguesa; 5. artigos de revisão que apresentassem contribuição significativa acerca do tema, principalmente para a compreensão de parâmetros fundamentais para a temática do estudo. Adicionalmente, capítulos de livros foram agregados ao corpo de referências.

DIAGNÓSTICO DO ESTADO DE HIDRATAÇÃO

É comum atletas terminarem uma sessão de treinamento ou uma competição em estado de hipo-hidratação (GODEK; BARTOLOZZI; GODEK, 2005), ou até mesmo iniciarem o exercício nessa condição (OSTERBERG; HORSWILL; BAKER, 2009).

Portanto, tendo em vista os efeitos deletérios dessa condição (CASA, 1999; ACSM, 2007; SBME, 2009), o monitoramento do estado de hidratação do indivíduo antes, durante e após o exercício é fundamental para o planejamento de uma adequada reposição hídrica ao praticante de atividade física. Com este intuito, diversos marcadores têm sido utilizados em campo e em laboratório para aferir o estado de hidratação, tais como: osmolaridade plasmática, alterações no volume plasmático, fluxo salivar, concentração proteica na saliva, bioimpedância, alterações na massa corporal, gravidade específica da urina, coloração da urina e sensação de sede (ARMSTRONG, 2007).

Em situação de pesquisa laboratorial em que se exige maior precisão, a osmolaridade plasmática é o principal método de avaliação do estado de hidratação (ARMSTRONG et al. 1998), sendo considerado padrão de referência de verificação do estado de hidratação quando combinada a alterações na água corporal total (ARMSTRONG, 2007). Em campo, entretanto, os métodos mais utilizados para acessar o estado de hidratação durante o exercício, situação na qual se faz necessária uma resposta rápida no próprio local de realização da prática esportiva, são as medidas da massa corporal (ARMSTRONG et al., 1998; ARMSTRONG, 2007) e a análise da coloração da urina (ARMSTRONG et al., 1994).

A alteração na massa corporal, um método de fácil aplicabilidade e considerável grau de fidedignidade, é baseada na verificação da diferença existente entre massa corporal antes e após o exercício, sendo possível calcular o estado de hidratação de acordo com o percentual de perda. Com base nesse marcador, o American College of Sports Medicine (ACSM, 2007) e a National Athletic Trainer's Association (CASA et al., 2000) apontam que reduções na massa corporal superiores a 3% do valor pré-exercício colocam o indivíduo em um estado de hipo-hidratação significativo. Quando esse percentual supera os 5%, o indivíduo apresenta um estado severo de hipo-hidratação e pode apresentar sintomas como dificuldade para engolir, perda de equilíbrio, pele seca e murcha, olhos afundados, visão fosca, disúria, pele dormente, delírio e espasmos musculares, coma e morte (SBME, 2009).

A coloração da urina é baseada em uma escala proposta por Armstrong et al. (1994). Esta escala utiliza oito níveis de cor e foi desenvolvida em um estudo com 54 homens e mulheres que estavam em diferentes graus de hidratação, verificado a partir das medidas de osmolaridade plasmática, gravidade específica e coloração da urina. Os resultados demonstraram que, para medidas realizadas durante o exercício em campo, a coloração da urina é um indicador fidedigno para a determinação do estado de hidratação.

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FORÇA

A produção de força pelo sistema musculoesquelético depende da interação entre: I. fatores intrínsecos dos músculos, caracterizados pelas propriedades mecânicas

(relações força-comprimento e força-velocidade) e estruturais (arquitetura) dos músculos, e 2. fatores neurais, relacionados à ativação das unidades motoras por parte do sistema nervoso central (ENOKA, 2000). Do ponto de vista intrínseco, a teoria proposta por Andrew Huxley na década de 1950 afirma que a força gerada pelos músculos esqueléticos provém da interação entre os filamentos finos e grossos, possível por meio da conexão das chamadas pontes cruzadas entre as cabeças de miosina e os monômeros de actina. Conhecida como teoria das pontes cruzadas ou Teoria dos Filamentos Deslizantes, esse modelo vem sendo considerado o mais aceito, servindo de base para inúmeros trabalhos científicos que se propõem a investigar os mecanismos de geração de força pelo músculo esquelético (ENOKA, 2000). Gordon, Huxley e Julian (1966), em experimentação com fibras isoladas de músculos de rãs, demonstraram que a força é dependente do grau de sobreposição dos filamentos de actina e miosina, reforçando as premissas de Huxley e estabelecendo o conceito da relação força-comprimento. Porém, antes mesmo de a teoria das pontes cruzadas ser desenvolvida, Hill estabelecera, também por meio de experimentos com fibras isoladas, a relação força-velocidade, uma curva hiperbólica descendente que demonstra que a capacidade de produção de força no músculo esquelético decresce com o aumento da velocidade de contração em ações concêntricas (ENOKA, 2000). *In vivo*, a influência do comprimento muscular, durante uma ação isométrica, e da velocidade de contração, durante uma ação dinâmica, comumente tem sido avaliada por meio das relações torque-ângulo articular e torque-velocidade de contração em equipamentos de dinamometria isocinética (LIEBER; FRIDÉN, 2000).

Além das propriedades mecânicas, as características estruturais também afetam a capacidade de produção de força de um músculo. A arquitetura muscular é definida como a organização espacial das fibras musculares em relação ao eixo de desenvolvimento da força de um músculo (LIEBER; FRIDÉN, 2000), tendo como os principais aspectos a serem destacados a área de secção transversa anatômica (ASTA) e fisiológica (ASTF), o volume muscular, o comprimento das fibras, o ângulo de penação das fibras e a espessura muscular. Estas características variam de indivíduo para indivíduo, entre músculos de mesmo sujeito e entre diferentes porções de um mesmo músculo, de modo que esse arranjo das fibras musculares influencia significativamente a transferência da força produzida pelas fibras musculares para as estruturas tendínea e óssea (KORIAK, 2008).

As unidades motoras, cada uma composta por um motoneurônio e um número variado de fibras musculares, representam a unidade funcional do sistema neuromuscular, sendo por meio delas que o sistema neuromuscular controla a força produzida. Ou seja, a força muscular é afetada quando se altera a quantidade de unidades motoras ativadas e/ou o grau de atividade de unidades motoras individuais,

uma vez que elas tenham sido ativadas para a execução de determinada tarefa motora (KERNELL, 1992).

Em virtude da característica conhecida por plasticidade neuromuscular, tanto o componente morfológico quanto o componente neural desse sistema são capazes de se adaptar a estímulos crônicos como o treinamento e a redução de uso (NARICI; MAGANARIS, 2006). Além disso, estímulos promovidos pela variação da temperatura (MORRISON; SLEIVERT; CHEUNG, 2004) e pela fadiga (ENOKA; DUCHATEAU, 2008) geram respostas agudas imediatas do sistema neuromuscular. Assim, diante da elevada capacidade de adaptação que caracteriza o músculo esquelético, a perda hídrica seria um estímulo capaz de modificar a produção de força muscular?

ESTADO DE HIDRATAÇÃO E CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE FORÇA

As investigações acerca dos efeitos do estado de hidratação sobre a capacidade de produção de força apresentam resultados conflitantes, conforme sumarizado na Tabela I. A partir dos estudos analisados, observa-se que a força produzida em contrações isométricas apresenta resultados inconclusivos, com evidências que mostraram redução (HAYES; MORSE, 2009; KRAEMER et al., 2001; SCHOFFSTALL et al., 2001; FTAITI et al., 2001; VALLIER; GREGO; BASSET, 2005; BIGARD et al., 2001) ou não encontraram diferença (KRAEMER et al., 2001; MONTAIN et al., 1998; GREIWE et al., 1998; JUDELSON et al., 2007b; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002) no torque gerado com o indivíduo hipo-hidratado. Além disso, fica comprometida uma melhor análise já que diferentes grupos musculares são utilizados entre os estudos (HAYES; MORSE, 2009; KRAEMER et al., 2001; SCHOFFSTALL et al., 2001; FTAITI et al., 2001; VALLIER; GREGO; BASSET, 2005; BIGARD et al., 2001; MONTAIN et al., 1998; GREIWE et al., 1998; JUDELSON et al., 2007b; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002), ou ângulos articulares diferentes para a produção de torque de uma mesma musculatura, como os extensores de joelho (HAYES; MORSE, 2009; KRAEMER et al., 2001; FTAITI et al., 2001; VALLIER; GREGO; BASSET, 2005; BIGARD et al., 2001; MONTAIN et al., 1998; GREIWE et al., 1998). No entanto, não existem evidências de estudos que buscaram verificar a influência da perda hídrica em diferentes comprimentos musculares, bem como na arquitetura do músculo, uma vez que a produção de força é também dependente da interação desses fatores (ENOKA, 2000). Quanto à força dinâmica, apesar de a hipo-hidratação parecer influenciar diretamente o desempenho durante uma repetição máxima (SCHOFFSTALL et al., 2001), os resultados obtidos em avaliações isocinéticas são divergentes

(HAYES; MORSE, 2009; KRAEMER et al., 2001; FTAITI et al., 2001; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002).

A limitação da análise dos resultados dos estudos desenvolvidos até então se deve à ausência de controle sobre um conjunto de variáveis que estaria agindo de forma conjunta (JUDELSON et al., 2007a), o que impossibilita atribuir somente à perda hídrica o mecanismo de alteração na capacidade de produção de força, bem como os diferentes protocolos de desidratação utilizados (HAYES; MORSE, 2009; KRAEMER et al., 2001; VALLIER; GREGO; BASSET, 2005; GREIWE et al., 1998; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002).

Dentre as variáveis intervenientes não controladas de forma adequada, é possível mencionar a temperatura central e muscular no momento da avaliação (HAYES; MORSE, 2009; FTAITI et al., 2001), a intensidade do exercício utilizada no protocolo de desidratação (HAYES; MORSE, 2009; FTAITI et al., 2001), a restrição calórica combinada à restrição hídrica imposta aos sujeitos (KRAEMER et al., 2001), a população estudada (KRAEMER et al., 2001; FTAITI et al., 2001; MONTAIN et al., 1998; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002) e o estado de hidratação pré-avaliação da força (VALLIER; GREGO; BASSET, 2005).

Tabela 2

Principais resultados envolvendo a influência da hipo-hidratação sobre a produção de força

Autores	População	Hipo-hidratação	Resultados
Hayes e Morse (2009)	12 M	~3,9% via exercício no calor	↓ 9,7% força isométrica de ext. de joelho ↓ 11,9% força isocinética (30°/s) de ext. de joelho ↔ força isocinética (120°/s) de ext. de joelho
Montain et al. (1998)	5 M 5 F	~4% via exercício no calor	↔ força isométrica máxima de ext. de joelho
Greiwe et al. (1998)	7 M	~4% via sauna	↔ força isométrica de ext. de joelho ↔ força isométrica de flex. de cotovelo
Judelson et al. (2007b)	7 M	~2,5 e 5% via exercício no calor	↔ força isométrica no exercício agachamento
Schoffstall et al. (2001)	10 M	~1,5% via sauna	↓ 5,5% na repetição máxima no agachamento

(continua)

Tabela 2

Principais resultados envolvendo a influência da hipo-hidratação sobre a produção de força (continuação)

Autores	População	Hipo-hidratação	Resultados
Ftaiti et al. (2001)	6 MT	~2% via exercício no calor	↓ 12% força isométrica de ext. de joelho ↔ força isométrica de flex. de joelho ↓ 17% força isocinética (60°/s) de ext. de joelho ↔ força isocinética (60°/s) de flex. de joelho ↔ força isocinética (240°/s) de ext. de joelho
Evetovich, Boyd e Drake (2002)	6 M 4 F	~2,9% via restrição de líquidos	↔ força isométrica de flex. de cotovelo ↔ força isocinética (90°/s) de flex. de cotovelo
Vallier, Grego e Basset (2005)	8 MT	~4% via exercício	↓ 16% força isométrica de ext. de joelho
Bigard et al. (2001)	11 M	~3% via sauna	↔ força isométrica de ext. de joelho
Kraemer et al. (2001)	12 MT	~6% via técnicas combinadas (exercício, restrição calórica e de líquidos)	↓ 15,2% força isocinética (300°/s) de ext. de joelho ↓ 11,1% força isocinética (300°/s) de flex. de joelho ↔ força isométrica de ext. de joelho ↔ força isocinética (60°/s) de ext. de joelho ↔ força isocinética (60°/s) de flex. de joelho ↔ força isométrica de flex. de cotovelo ↔ força isocinética (60°/s) de flex. de cotovelo ↔ força isocinética (300°/s) de flex. de cotovelo ↔ força isocinética (60°/s) de ext. de cotovelo ↔ força isocinética (300°/s) de ext. de cotovelo

M – masculino; MT – atletas (masculino); F – feminino; ext. – extensão; flex. – flexão; ↓ redução; ↔ sem alteração.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os efeitos deletérios da hipo-hidratação no desempenho de atletas contrastam com a frequente utilização de protocolos de desidratação (restrição de líquidos, sauna, exercício, por exemplo), bem como técnicas combinadas para a redução de peso em esportes de combate. Este ciclo de “ganhar-perder” peso é frequente no decorrer da temporada, e apresenta prejuízos cardiovasculares, hormonais, no equilíbrio hidroeletrólítico, no estado mental e de humor (ARTIOLI; FRANCHINI; LANCHI JUNIOR, 2006), além de prejuízos na produção de força dinâmica de membros inferiores (KRAEMER et al., 2001). Além disso, redução na produção de força de extensores de joelho de ciclistas (VALLIER; GREGO; BASSET, 2005) e corredores (FTAITI et al., 2001) também foi observada a partir da hipo-hidratação, demonstrando prejuízos funcionais significativos no desempenho desses atletas.

MECANISMOS DE AÇÃO DA HIPO-HIDRATAÇÃO SOBRE A FORÇA

Apesar da carência de evidências científicas sobre o tema, a literatura aponta alguns possíveis mecanismos que poderiam explicar a influência que a perda hídrica teria sobre capacidade de produção de força do músculo esquelético. Por exemplo, é improvável que a redução no volume plasmático ocasionado pela hipo-hidratação e consequente alteração no sistema cardiovascular seja capaz de influenciar o desenvolvimento da força máxima. Esta parece ocorrer de forma quase que independente do sistema cardiovascular, visto que não necessita do débito cardíaco máximo (e consequente maior aporte de oxigênio) por ser prioritariamente oriunda do sistema anaeróbio alático (MONTAIN et al., 1998). Entretanto, a alteração no sistema cardiovascular pode apresentar alguma influência na redução do desempenho em atividades anaeróbias, visto que um suprimento inadequado de oxigênio na musculatura e/ou uma limitada remoção de metabólitos no local, em razão dos prejuízos na função cardiovascular, seriam fatores limitantes ao desempenho muscular (YOSHIDA et al., 2002).

Acredita-se que mecanismos fisiológicos associados à fadiga muscular poderiam explicar uma possível redução na capacidade de produção de força a partir da hipo-hidratação. Alterações no mecanismo de despolarização das células, na liberação e/ou recaptação de cálcio pelo retículo sarcoplasmático, bem como mudanças no estado iônico do lúmen no túbulo T e outros compartimentos intracelulares, possivelmente afetariam a taxa de propagação do estímulo pelo túbulo T e prejudicariam o acoplamento excitação-contração (FITTS, 1994). Outro fator apontado na literatura seria uma alteração metabólica na produção de energia para a contração muscular. Embora o acúmulo de lactato não seja um causador de fadiga muscular, sabe-se que o aumento de sua concentração é acompanhado do incremento da concentração

de íons H^+ e P_i , que contribuem com o processo de fadiga muscular por meio de prejuízos à formação de pontes cruzadas (MONTAIN et al., 1998). Nessa perspectiva, a maioria das evidências indica que a produção de lactato não se altera em função do estado de hidratação do indivíduo (JUDELSON et al., 2008). Também, não houve alteração no conteúdo de ATP-CP e na concentração de H^+ e P_i em indivíduos hipo-hidratados (MONTAIN et al., 1998).

Outra hipótese é de que a perda hídrica alteraria o conteúdo hídrico e, consequentemente, as concentrações de eletrólitos nas células musculares. Durante a hipo-hidratação foi encontrada uma redução de 2,4% no conteúdo hídrico do tecido muscular a cada percentual de redução da massa corporal (COSTILL; COTE; FINK, 1976). Entretanto, não se sabe se a perda hídrica que acomete o tecido muscular poderia provocar mudanças estruturais que alterariam a produção de força. Quanto aos eletrólitos, não houve influência do estado de hidratação nas concentrações de sódio (Na^+) e cloro (Cl^-), porém houve redução nas concentrações de magnésio (Mg^{+2}) em 12% após uma perda de 5,8% da massa corporal, além de um aumento na concentração de potássio (K^+) em 10,6% após uma redução de 4,1% da massa corporal. Entretanto, essas alterações não foram suficientes para alterar a excitabilidade da membrana muscular (COSTILL; COTE; FINK, 1976).

A hipótese mais aceita pela literatura é de que a hipo-hidratação afetaria algum componente de ordem neuromuscular (HAYES; MORSE, 2009; FTAITI et al., 2001; VALLIER; GREGO; BASSET, 2005; BIGARD et al., 2001; JUDELSON et al., 2007b; EVETOVICH; BOYD; DRAKE, 2002; COYLE; HAMILTON, 1990). Para avaliar a ativação de unidades motoras, a técnica mais difundida é a eletromiografia (EMG) de superfície. Ftaiti et al. (2001), investigando as influências de um protocolo de exercício no calor sobre a função neuromuscular, por meio da produção de força e atividade eletromiográfica de membros inferiores, verificaram redução no sinal EMG após exercício no calor, quando comparado aos valores basais em testes isométricos e isocinéticos em baixas velocidades de encurtamento. Por outro lado, Hayes e Morse (2009), investigando a perda hídrica progressiva em indivíduos submetidos a cinco exposições de exercício no calor, não encontraram alteração no sinal EMG durante os testes isométricos e isocinéticos de extensores de joelho a cada exposição. Dessa forma, ainda existem poucas evidências científicas que suportem a hipótese de que uma redução na produção de força é decorrente de algum mecanismo neuromuscular.

Um dos mecanismos propostos é de que a redução no recrutamento muscular em função da hipo-hidratação ocorra de maneira semelhante àquela apresentada na fadiga debilitante presente em indivíduos com determinadas doença, infecções ou em fase de recuperação de lesões, em que estes apresentam falta de vontade de

realizar a atividade proposta (DAVIS; BAILEY, 1997). Nessas condições, os sujeitos apresentam significativo aumento na percepção de esforço, o que dificulta a geração ou manutenção da força (DAVIS; BAILEY, 1997). Esse aumento na percepção de esforço também é visto quando o indivíduo está hipo-hidratado (KUIPERS et al., 2007). Outras evidências apontam que a hipo-hidratação poderia alterar os disparos neuronais do córtex motor (MONTAIN et al., 1998). Esta hipótese é baseada em um fenômeno semelhante que acomete os neurônios das células osmorreceptoras localizadas no órgão vascular da lâmina terminal, próximas ao núcleo pré-óptico mediano do hipotálamo quando o indivíduo está hipohidratado. Esta região é a responsável pelo equilíbrio hidroeletrólítico, excreção de Na^+ , controle da sede e regulação do volume sanguíneo (BOULANT, 1997).

Apesar de as hipóteses serem bem justificadas, ainda há carência de um desenho experimental adequado e que possibilite esse tipo de investigação, com métodos fidedignos para avaliação do estímulo central para a contração muscular (JUDELSON et al., 2007a). A taxa de ativação central, utilizada por Judelson et al. (2007b), parece ser um método mais apropriado, no qual os autores encontraram uma tendência de redução da ativação com o aumento do grau de hipohidratação. Outra possível forma de avaliação é a técnica de interpolação de um abalo, que busca identificar o nível de recrutamento de unidades motoras por meio da estimulação elétrica artificial, sobreposta a uma contração voluntária máxima, possibilitando identificar o grau de inibição muscular (PAP; MACHNER, A.; AWISZUS, 2004). Entretanto, não foram encontrados estudos que avaliassem a influência da hipo-hidratação sobre a inibição muscular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A influência da hipo-hidratação na produção de força do músculo esquelético não se encontra completamente elucidada pela literatura. Entretanto, as evidências que apontam para uma possível redução na produção de força a partir da hipo-hidratação são justificadas por um efeito na capacidade de ativação das unidades motoras. Entretanto, essa possibilidade carece de mais investigações na literatura.

Sendo assim, futuros estudos que apresentarem essa perspectiva devem controlar variáveis que também contribuem para o decréscimo da geração de força e que dificultariam a interpretação do real efeito da perda hídrica na capacidade de produção de força pelo músculo esquelético. Por fim, a manutenção do estado de hidratação, por meio da ingestão de líquidos antes, durante e após o exercício físico, é apontada como uma estratégia interessante para evitar possíveis prejuízos da hipohidratação sobre o desempenho muscular.

HYPHYDRATION AND SKELETAL MUSCLE STRENGTH PRODUCTION: A BRIEF REVIEW

Abstract: The purpose of this was to identifying the influence of the hypohydration on muscular strength production, trying to describe its probable the mechanisms of action. The evidence provided in the literature suggests that hypohydration show a reduction muscular strength, which seems to be related that impair the central nervous system to recruit motor units. However, the results show that the influence of water loss on muscular strength is still a matter of debate. The mechanisms responsible for the force loss have not been clearly established, and the poor control of the different variables that may intervene difficulting to determination the exact mechanism of action. Despite the lack of evidences, the maintenance of the hydration state is pointed out as an interesting strategy to avoid a possible harm of hypohydration on muscle performance.

Keywords: hypohydration; muscular strength; performance.

REFERÊNCIAS

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE. Exercise and fluid replacement. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 39, n. 2, p. 377-390, 2007.

ARMSTRONG, L. E. Assessing Hydration Status: The Elusive Gold Standard. **J Am Coll Nutr.**, v. 26, suppl. 5, p. 575S-584S, 2007.

ARMSTRONG, L. E.; HERRERA SOTO, J. A.; HACKER, F. T.; CASA, D. J.; KAVOURAS, A. S.; MARESH, C. M. Urinary indices during dehydration, exercise and rehydration. **Int J Sport Nutr.**, v. 8, n. 4, p. 345-355, 1998.

ARMSTRONG, L. E.; MARESH, C. M.; CASTELLANI, J. W.; BERGERON, M. F.; KENEFICK, R. W.; LAGASSE, K. E. Urinary indices of hydration status. **Int J Sport Nutr.**, v. 4, n. 3, p. 265-279, 1994.

ARTIOLI, G. G.; FRANCHINI, E.; LANCHA JUNIOR, A. H. Perda de peso em esportes de combate de domínio: revisão e recomendações aplicadas. **Rev. Bras. Cineantropom. Desempenho Hum.**, v. 8, n. 2, p. 92-101, 2006.

BIGARD, A. X.; SANCHEZ, H.; CLAVEYROLAS, G.; MARTIN, S.; THIMONIER, B.; ARNAUD, M. J. Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 33, n. 10, p. 1694-1700, 2001.

BOULANT, J. A. Thermoregulation. In: MACKOWIAK, P. A. **Fever: Basic Mechanisms and Management**. Philadelphia: Lippincott-Raven, 1997. p. 35-58.

- CASA, D. J. Exercise in the Heat. I. Fundamentals of Thermal Physiology, Performance Implications, and Dehydration. **J Athl. Train.**, v. 34, n. 3, p. 246-252, 1999.
- CASA, D. J.; ARMSTRONG, L. E.; HILMAN, S. K.; MONTAIN, S. J.; REIFF, R. V.; RICH B. S. E. National Athletic Trainer's Association Position Statement: fluid replacement for athletes. **J Athl. Train.** v. 35, n. 2, p. 212-224, 2000.
- COSTILL, D. L.; COTE, R.; FINK, W. Muscle water and electrolytes following varied levels of dehydration in man. **J Appl Physiol.**, v. 40, n. 1, p. 6-11, 1976.
- COYLE, E. F.; HAMILTON, M. Fluid replacement during exercise: effects on physiological homeostasis and performance. In: GISOLFI, C. V.; LAMB, D. R. (Ed.). **Perspectives in exercise science and sports medicine: fluid homeostasis during exercise.** Carmel (IN): Cooper Publishing Group, 1990. p. 281-308.
- DAVIS, J. M.; BAILEY, S. P. Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. **Med Sci Sports Exerc.**, v. 29, n. 1, p. 45-57, 1997.
- ENOKA, R. M. **Bases neuromecânicas da cinesiologia.** 2. ed. São Paulo: Manole, 2000.
- ENOKA, R. M.; DUCHATEAU, J. Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. **J Physiol.**, v. 586, n. 1, p. 11-23, 2008.
- EVETOVICH, T. K.; BOYD, J. C.; DRAKE, S. M. Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. **Muscle Nerve**, v. 26, n. 2, p. 225-231, 2002.
- FITTS, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiol Ver.**, v. 74, n. 1, p. 49-94. Review, 1994.
- FTAITI, F.; GRÉLOT, L.; COUDREUSE, J. M.; NICOL, C. Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans. **European Journal of Applied Physiology**, v. 84, n. 1-2, p. 87-94, 2001.
- GODEK, S. F.; BARTOLOZZI, A. R.; GODEK, J. J. Sweat rate and fluid turnover in American football players compared with runners in a hot and humid environment. **Br J Sports Med.**, v. 39, n. 4, p. 205-211, 2005.
- GORDON, A. M.; HUXLEY, A. F.; JULIAN, F. J. The variation in isometric tension with sarcomer length in vertebrate muscle fibres. **J Physiol.**, v. 184, n. 1, p. 170-192, 1966.
- GREIWE, J. S.; STAFFEY, K. S.; MELROSE, D. R.; NARVE, M. D.; KNOWLTON, R. G. Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. **Med. Science Sports Exerc.**, v. 30, n. 2, p. 284-288, 1998.
- HAYES, L. D.; MORSE, C. I. The effect of progressive dehydration on strength and power: is there a dose-response. **European Journal of Applied Physiology**, v. 108, n. 4, p. 701-707, 2009.

JUDELSON, D. A.; MARESH, C. M.; ANDERSON, J. M.; ARMSTRONG, L. E.; CASA, D. J.; KRAEMER, W. J. Hydration and Muscular Performance – Does Fluid Balance Affect Strength, Power and High-Intensity Endurance. **Sports Med.**, v. 37, n. 10, p. 907-921, 2007a.

JUDELSON, D. A.; MARESH, C. M.; FARREL, M. J.; YAMAMOTO, L. M.; ARMSTRONG, L. E.; KRAEMER, W. J. Effect of Hydration State on Strength, Power and Resistance Exercise Performance. **Med. Science Sports Exerc.**, v. 39, n. 10, p. 1817-1824, 2007b.

JUDELSON, D. A. CASA, D. J.; MARESH, C. M.; FARREL, M. J.; YAMAMOTO, L. M.; ARMSTRONG, L. E. Effect of hydration state on resistance exercise-induced endocrine markers of anabolism, catabolism, and metabolism. **Journal Applied Physiology**, v. 105, n. 3, p. 816-824, 2008.

KERNELL, D. Organized variability in the neuromuscular system: A survey of task-related adaptations. **Arch Ital Biol.**, v. 130, n. 1, p. 19-66, 1992.

KORIAK, Y. A. Functional and clinical significance of the architecture of human skeletal muscles. **Human Physiology**, v. 34, n. 4, p. 102-112, 2008.

KRAEMER, W. J.; FRY, A. C.; RUBIN, M. R.; TRIPLETT-MCBRIDE, T.; GORDON, S. E.; KOZIRIS, L. P. Physiological and performance responses to tournament wrestling. **Med. Science Sports Exerc.**, v. 33, n. 8, p. 1367-1378, 2001.

KUIPERS, N. T. SAUDER, C. L.; KEARNEY, M. L.; RAY, C. A. Changes in forearm muscle temperature alter renal vascular responses to isometric handgrip. **Am J. Physiol. Heart Circ Physiol.**, v. 293, n. 6, p. H3432-3439, 2007.

LIEBER, R. L.; FRIDÉN, J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. **Muscle Nerve.**, v. 23, n. 11, p. 1647-1666, 2000.

MONTAIN, S. J.; SMITH, S. A.; RALPH, P. M.; ZIENTARA, G. P.; FERENC, A. J.; SAWKA, M. N. Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a 31P-MRS study. **Journal Applied Physiology**, v. 84, n. 6, p. 1889-1894, 1998.

MORRISON, S.; SLEIVERT, G. G.; CHEUNG, S. S. Passive hyperthermia reduces voluntary activation and isometric force production. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 5-6, p. 729-736, 2004.

NARICI, M.; MAGANARIS, C. Muscle architecture and adaptations to functional requirements. In: BOTINELLI R.; REGGIANI C. **Skeletal muscle plasticity in Health and Disease**. Netherlands, Springer, 2006. p. 265-288.

OSTERBERG, K. L.; HORSWILL, C. A.; BAKER, L. B. Pregame Urine Specific Gravity and Fluid Intake by National Basketball Association Players During Competition. **J. Athl Train.**, v. 44, n. 1, p. 53-57, 2009.

PAP, G.; MACHNER, A.; AWISZUS, F. Strength and voluntary activation of the quadriceps femoris muscle at different severities of osteoarthritic knee joint damage. **J. Orthop. Res.**, v. 22, n. 1, p. 96-103, 2004.

PARKIN, J. M.; CAREY, M. F.; ZHAO, S.; FEBBRAIO, M. A. Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. **Journal Applied Physiology**, v. 86, n. 3, p. 902-908, 1999.

SCHOFFSTALL, J. E.; BRANCH, J. D.; LEUTHOLTZ, B. C.; SWAIN, D. E. Effects of dehydration and rehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. **J. Strength Cond. Res.**, v. 15, n. 1, p. 102-108, 2001.

SHIBASAKI, M.; WILSON, T. E.; CRANDALL, C. G. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. **Journal Applied Physiology**, v. 100, n. 5, p. 1692-1701, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA DO ESPORTE (SBME). Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para a saúde. **Rev. Bras. Med. Esporte**, v. 15, n. 2, supl., mar./abr., 2009.

VALLIER, J. M.; GREGO, F.; BASSET, F. Effect of fluid ingestion on neuromuscular function during prolonged cycling exercise. **Br. J. Sports Med.**, v. 39, p. 17-22, 2005.

YOSHIDA, T.; TAKANISHI, T.; NAKAI, S.; YORIMOTO, A.; MORIMOTO, T. The critical level of water deficit causing a decrease in human exercise performance: a practical field study. **European Journal of Applied Physiology**, v. 87, n. 6, p. 529-534, 2002.

Contato

Rodrigo Rodrigues
E-mail: rodrigo.esef@gmail.com

Tramitação

Recebido em 13 de abril de 2012
Aceito em 19 de outubro de 2012