

## A temperatura dos repositores hídricos pode influenciar a capacidade aeróbia?

### Does the fluid replacers' temperature may influence the aerobic capacity?

PAINELLI VS, SILVA VE, ARTIOLI GG, LANCHA JÚNIOR AH. A temperatura dos repositores hídricos pode influenciar a capacidade aeróbia? *R. bras. Ci. e Mov* 2017;25(2):205-216.

**RESUMO:** O aumento da temperatura interna ( $T_i$ ) é considerado importante causa da fadiga durante exercícios prolongados realizados no calor. Dentre as estratégias empregadas para atenuá-la, a reposição hídrica é a que mais se destaca por sua praticidade e baixo custo. Por outro lado, pouco se sabe a respeito da influência que a temperatura dos repositores hídricos exerce sobre respostas termorregulatórias e o desempenho aeróbio durante exercícios prolongados em ambientes quentes. Teoricamente, as bebidas em baixa temperatura poderiam conferir vantagem fisiológica, agindo como dissipadores de calor ou proporcionando uma sensação agradável, levando à manutenção da ativação do *drive* central. Combinados, esses mecanismos podem diminuir os efeitos deletérios da elevação da  $T_i$  ao desempenho. Mesmo assim, o número de estudos investigando tal hipótese é escasso. Logo, o objetivo deste Ponto de Vista foi examinar se as evidências existentes apoiam a hipótese de modulação da  $T_i$  e melhora do desempenho aeróbio a partir da ingestão de bebidas em baixas temperaturas durante os exercícios prolongados realizados no calor. Encontramos grande heterogeneidade na metodologia dos estudos, sobretudo no que diz respeito 1) ao baixo número amostral; 2) à ausência de soluções controle; 3) à falta de padronização do momento de administração dos repositores hídricos; e 4) ao protocolo de exercício utilizado. Isso dificulta o estabelecimento de conclusões definitivas sobre o assunto, e, portanto, mais estudos são necessários. Contudo, evidências oriundas de poucos estudos bem controlados sugerem que repositores hídricos em baixa temperatura podem atenuar o aumento na  $T_i$  e melhorar a capacidade aeróbia durante a realização de exercícios prolongados no calor.

**Palavras-chave:** Regulação da temperatura corporal; Tolerância ao exercício; Soluções para reidratação.

**ABSTRACT:** The increase in internal temperature ( $T_i$ ) is considered a major cause of fatigue during prolonged exercise in the heat. Among the strategies employed to attenuate it, the fluid replacement is the most used due its cost-effectiveness and practicality. On the other hand, little is known about the influence that the beverage temperature exerts on the thermoregulatory responses and aerobic capacity during prolonged exercise in hot environments. Theoretically, fluid replacers at a low temperature may provide a physiological advantage by acting as a 'heat sink', and providing a pleasant sensation, leading to increased central drive activation. These mechanisms would mitigate the side effects of an increased  $T_i$  on performance. Nevertheless, the number of studies dedicated to investigate this hypothesis is scarce. Thus, the aim of this Point of View was to examine whether the existing evidence support the modulation of  $T_i$  and improved aerobic capacity hypothesis from fluid replacers at low temperatures during prolonged exercise in hot environments. We have found substantial heterogeneity in the methodology inherent in these studies with regards to the 1) low sample size; 2) absence of control solutions; 3) lack of standardization of the moment of administration of the fluid replacers; and 4) exercise protocol. This causes difficulty in establishing definitive conclusions on this topic, and therefore more studies are required. However, the few existing evidence from well-controlled studies suggest that the fluid replacers at low temperatures can attenuate the increase in  $T_i$  and improve aerobic capacity during prolonged exercise in the heat.

**Key Words:** Body temperature regulation; Exercise tolerance; Rehydration solutions.

Vitor de Salles Painelli<sup>1</sup>  
Vinicius da Eira Silva<sup>1</sup>  
Guilherme G. Artioli<sup>1</sup>  
Antônio H. Lancha Júnior<sup>1</sup>

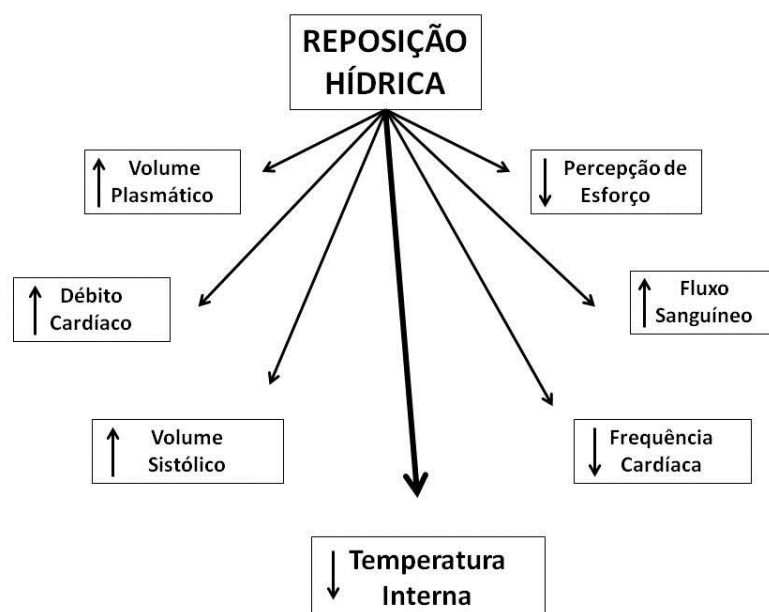
<sup>1</sup>Universidade de São Paulo

## Introdução

Os efeitos debilitantes do estresse térmico sobre a capacidade de executar exercícios prolongados em ambientes quentes vêm sendo alvo de investigação desde a década de 70<sup>1,2</sup>. Mesmo assim, tais efeitos sobre as respostas termorregulatórias e cardiovasculares, bem como a sua influência sobre a capacidade aeróbia, somente vieram a ser mais bem compreendidos a partir da década de 90<sup>3,4</sup>. Atualmente, já é bem documentado que uma elevada temperatura ambiente ( $> 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) reduz a capacidade de realizar exercícios prolongados, quando comparada a um ambiente termoneutro ( $10\text{ a }20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )<sup>5,6</sup>.

O desenvolvimento da fadiga durante exercícios prolongados realizados em ambientes quentes tem sido diretamente relacionado às alterações na função do sistema nervoso central, cardiovascular e, principalmente, à elevação da temperatura corporal interna ( $T_i$ ). No entanto, os mecanismos subjacentes a tais efeitos ainda necessitam ser melhor esclarecidos<sup>7-9</sup>. Dessa forma, diversas estratégias e intervenções vêm sendo implementadas por atletas em suas rotinas de treino e competição de modo a minimizar ou mesmo reverter os efeitos deletérios da elevação da  $T_i$  sobre a capacidade e desempenho aeróbios. Dentre elas, destacam-se a aclimatação e o pré-resfriamento<sup>10</sup>. A despeito de evidências em favor de sua efetividade, ambas as estratégias apresentam problemas relacionados à praticidade, especialmente ao se considerar sua aplicação antes ou durante eventos competitivos<sup>11</sup>. A aclimatação, por exemplo, requer um mínimo de uma semana para ser efetiva. Já os protocolos de resfriamento, tais como a imersão em água e a exposição ao ar frio são de difícil implementação e, em alguns casos, podem causar graves reações térmicas<sup>12</sup>.

Frente a essas limitações, estratégias alternativas de combate à elevação da  $T_i$  teriam grande potencial de uso. Nesse sentido, a reposição hídrica tem sido considerada uma intervenção bastante prática para indivíduos que se exercitam no calor. Classicamente, postula-se que a reposição adequada de fluidos antes e durante o exercício impede uma queda do volume plasmático, do volume sistólico, do débito cardíaco e do fluxo sanguíneo<sup>13,14</sup>. Entretanto, evidências recentes tem questionado a real influência da desidratação sobre o desempenho esportivo<sup>15,16</sup>. Apesar disso, essa estratégia também promove uma diminuição da  $T_i$  e da percepção de esforço, além de impedir um aumento progressivo da frequência cardíaca<sup>17</sup>. Dessa forma, tem-se sugerido que a reposição de fluidos antes e durante o exercício prolongado em ambientes quentes seria um meio eficaz de aumentar a capacidade aeróbia<sup>14,18</sup> (Figura 1).



**Figura 1.** Mecanismos que explicariam como a reposição de fluidos poderia melhorar a capacidade aeróbia em ambientes quentes.

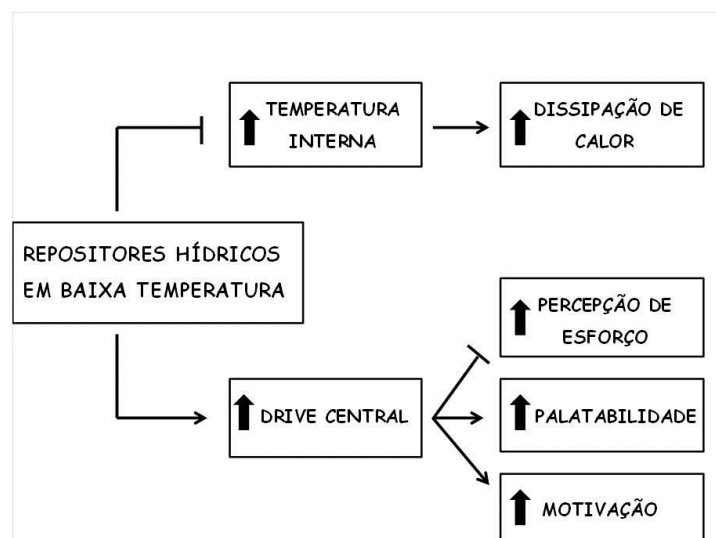
Embora diversos estudos tenham investigado os efeitos de diferentes protocolos de reposição hídrica sobre as respostas termorregulatórias, cardiovasculares e metabólicas durante o exercício em hipertermia<sup>14</sup>, a maioria deles tem se concentrado sobre a composição das bebidas, tornando limitadas as informações sobre a influência da temperatura dos repositores hídricos sobre as respostas fisiológicas, e conseqüentemente, sobre a capacidade aeróbia.

A atual posição do Colégio Americano de Medicina Esportiva<sup>19</sup> recomenda que fluidos mais frios do que a temperatura ambiente (entre 15 e 22 °C) sejam ingeridos durante exercícios prolongados em ambientes quentes. O aconselhamento nutricional para as operações militares em ambientes quentes proveniente do Instituto de Pesquisa em Medicina Ambiental do Exército dos Estados Unidos<sup>20</sup> é semelhante à recomendação do Colégio Americano ao considerar água natural fria, em temperaturas entre 15 e 22 °C, como a melhor bebida para a manutenção do estado de hidratação e atenuação da elevação da  $T_i$ . O posicionamento da Associação Nacional de Treinadores de Atletas<sup>21</sup> encoraja a ingestão de fluidos mais frios, entre 10 e 15 °C. As evidências para todas as declarações acima mencionadas, contudo, nunca foram claramente apresentadas.

Dada a simplicidade e praticidade da reposição hídrica durante o exercício, é surpreendente que a influência da temperatura dos repositores hídricos sobre as respostas termorregulatórias, cardiovasculares e capacidade aeróbia ainda não tenha sido extensamente investigada, embora grande atenção venha sendo dada a este tema nos últimos anos. Teoricamente, os repositores hídricos em baixas temperaturas podem conferir vantagem fisiológica ao 1) proporcionar uma sensação agradável, diminuindo a percepção de esforço e auxiliando na manutenção da ativação do *drive* central<sup>22</sup>, cuja ativação correlaciona-se com o grau de estimulação de um dado grupamento muscular com os centros de controle motor; e/ou 2) ao agir como um dissipador de calor<sup>23,24</sup>, e assim, atenuando um aumento da  $T_i$ . Exemplificando este último ponto, ao considerarmos a equação fundamental da calorimetria:

$$Q = mc\Delta T$$

a qual define a quantidade de calor (Q) que um corpo de massa (m) e calor específico (c) absorve ou libera para variar a sua temperatura em certo valor ( $\Delta T$ ), supostamente, a ingestão de aproximadamente 1,5 L de água a 4 °C (calor específico da água =  $4186 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ ) ao longo de um período de 90 minutos por um indivíduo de 80,5 kg (calor específico do corpo =  $3470 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ ) criaria uma dissipação de calor de aproximadamente  $0,85 \text{ °C}^{25}$ , o que certamente pode ser considerada uma redução significativa da  $T_i$ . Sem dúvidas, ambos os mecanismos contribuiriam para diminuir os efeitos deletérios do calor, atrasando o início da fadiga em ambientes quentes.



**Figura 2.** Mecanismos que explicam como os repositores hídricos sob baixa temperatura poderiam conferir uma vantagem fisiológica sobre a capacidade aeróbia. Legenda: Linhas terminadas em traço vertical indicam atenuação; linhas terminadas em seta indicam potencialização.

As diretrizes de reposição hídricas não sugerem especificamente que os atletas considerem ou regulem a temperatura de seus repositores hídricos durante as sessões de treino ou competições; contudo, a compreensão a respeito da influência de tal manipulação poderia oferecer vantagem competitiva, sobretudo em exercícios realizados em ambientes quentes. Portanto, o objetivo deste Ponto de Vista é determinar se as evidências existentes apoiam a modulação da  $T_i$  e uma melhor capacidade aeróbia a partir da ingestão de fluidos sob baixas temperaturas durante exercícios prolongados realizados no calor. Para tanto, realizamos em maio de 2016 uma busca nas bases de dados “pubmed” e “medline” com os seguintes termos isoladamente e combinadamente: “drink temperature and exercise”, “fluid replacement and exercise”, e “cold fluid and exercise capacity”. Desta busca inicial, 29 artigos foram encontrados. Para serem selecionados, os estudos deveriam ter o seu tema relacionado com a temática deste Ponto de Vista, além de possuírem desenho experimental *cross-over*, randomizado e controlado. Para a inclusão, os estudos também deveriam ter medido e relatado a temperatura retal, bem como a temperatura do repositório hídrico. Além disso, os estudos deveriam ter sido conduzidos em ambiente quente ( $\geq 25$  °C). Não foram selecionados os artigos que fossem resumos, revisões ou opiniões, ou que estivessem em um idioma diferente do inglês. Com isso, 23 artigos foram excluídos, sendo os 6 remanescentes de suficiente qualidade para serem incluídos neste Ponto de Vista.

#### Influência da temperatura dos repositores hídricos sobre as respostas termorregulatórias durante o exercício em ambientes quentes

O entendimento das respostas termorregulatórias à ingestão de repositores hídricos em diferentes temperaturas aumentou consideravelmente nos últimos anos em função do recente interesse que os cientistas tiveram sobre o assunto. No entanto, Costill, Kammer e Fisher<sup>26</sup> já haviam introduzido o tema à literatura na década de 70 ao estudar os efeitos da reposição de fluidos em baixa temperatura durante 2 horas de corrida em esteira. Os autores demonstraram que, após a administração de 100 mL de fluido a 10 °C, a cada 5 minutos pelos primeiros 100 minutos, a temperatura retal dos participantes ao final da corrida foi 0,8 °C menor do que uma corrida em situação semelhante onde os participantes não consumiram fluidos. Poucos anos depois, durante um estudo de campo em que homens foram submetidos a uma caminhada lenta no calor do deserto por 2 horas<sup>1</sup>, foi demonstrado que a ingestão de um grande volume (2,4 litros) de soro fisiológico a 15 °C reduziu a temperatura corporal dos voluntários em de cerca de 1° C em comparação aos testes controle, em que nenhum líquido foi ingerido.

É importante ressaltar que ambos os estudos<sup>1,26</sup> compararam a ingestão de soluções em baixa temperatura contra a ausência de ingestão de fluidos. A ausência de uma condição experimental controle, por exemplo, na qual se administra uma solução próxima da temperatura corporal, torna difícil distinguir se os efeitos observados sobre a temperatura corporal devem-se à indução de um déficit de calor resultante da baixa temperatura das soluções ou ao volume de fluido ingerido. Com isso em mente, Gisolfi e Copping<sup>2</sup> compararam as respostas termorregulatórias de sujeitos que se exercitaram no calor (34 °C) por 90 - 150 minutos, com a ingestão de 200 ml de água a 10 °C ou a 37 °C a cada 20 minutos. Os autores mostraram que, em comparação à condição controle em que não houve a ingestão de água, apenas a ingestão de água a 10 °C reduziu significativamente a temperatura retal (em média, 0,8 °C).

Seguindo essa linha de raciocínio, Armstrong *et al.*<sup>27</sup> relataram que a temperatura retal, a temperatura da pele e a frequência cardíaca foram significativamente maiores ao final de 6 horas de um exercício realizado em um ambiente quente (40 °C) quando os indivíduos consumiram água *ad libitum* a uma temperatura de 46 °C comparado ao consumo de água a 6 °C. O consumo de água a 6 °C, entretanto, foi 1,2 litros maior do que o consumo de água a 46 °C. De modo semelhante, Szlyk *et al.*<sup>28</sup> relataram maior temperatura retal e da pele, além de respostas mais elevadas da frequência cardíaca após 6 horas de caminhada no calor (40 °C) quando os participantes ingeriram água a 40 °C do que quando os mesmos a ingeriram a 15 °C. Todavia, os sujeitos ingeriram aproximadamente 1,3 litros a mais de água quando as

bebidas foram servidas na temperatura de 15 °C. Uma limitação proveniente destes estudos remete ao fato de ambos terem utilizado um protocolo de reposição hídrica *ad libitum*. Logo, é provável que as respostas fisiológicas nestes estudos possam novamente ter sido influenciadas pelo volume de bebida consumida, introduzindo assim uma variável interveniente na compreensão do papel da temperatura da bebida em tais respostas.

Poucos anos depois, Imms e Lighten<sup>29</sup> delinearum um estudo de modo a isolar os efeitos da temperatura da bebida. Os autores demonstraram que, em comparação à ingestão de um fluido com temperatura próxima da corporal (37 °C), a ingestão de um mesmo volume de fluido frio (7 °C) provocou uma queda sustentada da temperatura auricular, a qual foi diretamente proporcional ao volume e à temperatura da bebida ingerida. Embora este estudo<sup>29</sup> tenha sido um dos primeiros a fornecer informações relevantes a respeito da influência da temperatura da bebida ingerida sobre as respostas termorregulatórias, o estudo avaliou os indivíduos apenas durante o repouso, não tendo sido investigadas as respostas termorregulatórias durante o exercício físico.

De fato, poucos estudos investigaram as respostas termorregulatórias à ingestão de bebidas em diferentes temperaturas durante o exercício. Alguns trabalhos que o fizeram, no entanto, apresentam importantes limitações metodológicas, como a realização de testes em ambientes termo-neutros<sup>23</sup> ou a falta de testes controles com bebidas em temperatura próxima à corporal<sup>30</sup>. Tendo em vista estas limitações, Lee, Shirreffs e Maughan<sup>31</sup> demonstraram que, quando comparada com a ingestão de 1,2 litros de um fluido quente (50 °C), a ingestão do mesmo volume de um fluido gelado (4 °C) reduziu a temperatura retal em 0,7 °C ao longo de 1 hora em repouso. No mesmo estudo, a ingestão de 1,2 litros do fluido gelado durante um exercício a 60%  $\dot{V}O_{2\text{ pico}}$  foi capaz de atenuar o aumento da temperatura retal em 0,3 °C ao final do exercício em relação à condição em que o fluido quente foi consumido<sup>31</sup>.

Em conjunto, embora o número de estudos nessa temática ainda seja reduzido, esses achados sugerem que a temperatura da bebida influencia significativamente a  $T_{\text{i}}$ , tanto em repouso quanto em exercício<sup>2,29,31</sup>. Segue-se que a ingestão de uma bebida gelada durante o exercício pode induzir um “débito de calor”. Dessa forma, repositores hídricos em baixa temperatura têm sido considerados dissipadores de calor, pois podem atenuar o aumento da  $T_{\text{i}}$  que ocorre durante exercícios prolongados em ambientes quentes. Apesar disso, nenhum dos estudos anteriormente citados preocupou-se em investigar este efeito sobre a capacidade ou desempenho aeróbio. De fato, poucos estudos investigaram o impacto dessa atenuação da elevação da  $T_{\text{i}}$  induzida pela ingestão de bebidas frias sobre a capacidade física, conforme veremos a seguir.

**Influência da temperatura dos repositores hídricos sobre a capacidade aeróbia durante o exercício em ambientes quentes**

Na Tabela 1 estão resumidos os estudos que avaliaram a influência dos repositores hídricos sobre a capacidade aeróbia. Mundel *et al.*<sup>24</sup> foram os primeiros a avaliar, em sujeitos moderadamente ativos, o efeito de repositores hídricos em diferentes temperaturas sobre a capacidade aeróbia durante um exercício até a exaustão em um ambiente quente (65%  $W_{\text{máx}}$ , a 34 °C e ~28% de umidade relativa). Os autores mostraram que a ingestão de uma solução gelada (4 °C) prorrogou significativamente o tempo até a exaustão de 55 para 62 minutos (~11% de melhora) quando comparada à ingestão de uma solução em temperatura neutra (19 °C). Provavelmente, esses resultados são explicados pela menor temperatura retal (~0,25 °C) e frequência cardíaca (~5 batimentos/minuto) atingidos com a ingestão da solução gelada durante a segunda metade do período de exercício. Tais dados indicam que a bebida em baixa temperatura atua como dissipador de calor durante o exercício, reduzindo assim os efeitos do estresse térmico imposto sobre o corpo e aumentando, em última análise, o tempo necessário para chegar a uma  $T_{\text{i}}$  crítica. Apesar dos resultados animadores, os autores utilizaram um protocolo de reposição hídrica *ad libitum*. Sendo assim, este estudo confirmou dados de estudos anteriores<sup>27,28</sup> de que a ingestão de uma bebida fria eleva o consumo total de líquidos em comparação a uma solução quente (1.3 L/hora vs. 1.0 L/hora, respectivamente). Mais uma vez, esse tipo de estratégia experimental não permite

distinguir se a melhora encontrada na tolerância ao esforço deveu-se à influência da temperatura da bebida ou ao volume de líquido ingerido, ou ambos.

**Tabela 1.** Efeitos da temperatura do fluido ingerido sobre as respostas termorregulatórias e a capacidade aeróbia.

Autores (ano)	Amostra	Protocolo de reposição hídrica	Ergômetro/ Protocolo de exercício	Efeitos sobre a termorregulação	Efeitos sobre a capacidade aeróbia
Mundel <i>et al.</i> (2006)	8 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo	Ingestão <i>ad libitum</i> de solução G (4 °C) vs N (19 °C)	Cicloergômetro / 65% $W_{max}$ até a exaustão sob alta temperatura (34 °C)	↓ FC e TR com a ingestão da bebida gelada em comparação à neutra	↑ TE com a ingestão da bebida gelada em comparação à neutra
Lee & Shirreffs (2007)	9 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo	Ingestão de bolus único de 1 L de solução G (10 °C) vs M (37 °C) vs Q (50 °C), 30 min após o início do exercício em <i>steady-state</i>	Cicloergômetro / 90 minutos em <i>steady-state</i> (53% $VO_{2pico}$ ), seguidos de um teste até a exaustão a 90% $VO_{2pico}$ (25 °C)	↓ FC e TR com a ingestão da bebida gelada em comparação a quente	↔ TE entre as bebidas com diferentes temperaturas
Lee <i>et al.</i> (2008a)	8 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo	Ingestão de alíquotas de 400 ml de solução G (10 °C) vs M (37 °C) vs Q (50 °C), a cada 15 min após o início do exercício em <i>steady-state</i>	Cicloergômetro / 90 minutos em <i>steady-state</i> (50% $VO_{2pico}$ ), seguidos de um teste até a exaustão a 95% $VO_{2pico}$ (25 °C)	↓ FC e TR com a ingestão da bebida gelada em comparação a quente	↔ TE entre as bebidas com diferentes temperaturas
Lee <i>et al.</i> (2008b)	8 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo	Ingestão de 900 ml de solução G (4 °C) vs M (37 °C) antes do exercício, adicionadas à ingestão de 100 ml de solução a cada 10 min de exercício	Cicloergômetro / teste até a exaustão a 65% $VO_{2pico}$ , sob alta temperatura 35 °C	↓ FC, TR, ST e PE com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna	↑ TE com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna
Burdon <i>et al.</i> (2007)	7 homens jovens e treinados em ciclismo	Ingestão de 2.3 ml/kg de solução G (4 °C) vs M (37 °C) a cada 10 min do exercício em <i>steady-state</i>	Cicloergômetro / 90 minutos em <i>steady-state</i> (65% $VO_{2pico}$ ), seguidos de um contrarrelógio de 15 min com velocidade autorregulada (28 °C)	↓ TR com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna.	↑ TE com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna.
Byrne <i>et al.</i> (2011)	7 homens jovens e moderadamente treinados em ciclismo	Ingestão de alíquotas de 300 ml de solução G (2 °C) vs M (37 °C) aos 35, 25 e 10 minutos do início do exercício	Cicloergômetro / Contrarrelógio de 30 min com velocidade autorregulada (32 °C)	↓ TR durante o repouso e o exercício com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna	↑ Potência média e da distância total com a ingestão da bebida gelada em comparação à morna

Legenda:  $W_{max}$  = potência máxima; TE = tempo até a exaustão; TT = trabalho total; ST = sensação térmica; FC = frequência cardíaca; TR = temperatura retal; PE = percepção subjetiva de esforço;  $VO_{2pico}$  = consumo pico de oxigênio; L = litros; mL = mililitros; min = minutos; G = gelada; M = morna; N = neutra; Q = quente.

Corrigindo essa limitação metodológica, Lee e Shirreffs<sup>32</sup> investigaram o efeito da ingestão de uma quantidade padronizada de uma solução gelada (10 °C), morna (37 °C) ou quente (50 °C) sobre o tempo até a exaustão (a 95% do  $VO_{2pico}$ , com 61% de umidade relativa) de indivíduos fisicamente ativos. O teste até exaustão foi realizado

imediatamente após 90 minutos de exercício constante em baixa intensidade (50%  $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ). Os autores demonstraram que o consumo de um *bolus* de 1 litro da solução gelada diminuiu significativamente a temperatura retal após 30 minutos do exercício, além de evitar um aumento progressivo da frequência cardíaca, o que não ocorreu com a ingestão da solução quente. No entanto, tais alterações no sistema termorregulatório e cardiovascular não se refletiram em quaisquer alterações na tolerância ao esforço.

Os resultados desse estudo mostram que o calor corporal pode ser perdido através do consumo agudo de uma elevada carga de líquido gelado, muito embora tal perda de calor não necessariamente implique em aumento de tolerância ao esforço. Todavia, a ingestão de um *bolus* de alto volume de líquido não é uma recomendação prática para uso durante um evento competitivo. Assim, não é possível saber se as respostas fisiológicas associadas à ingestão aguda de *bolus* de fluido em diferentes temperaturas podem ser traduzidas em diferenças na tolerância ao esforço caso soluções de volumes menores fossem consumidas em intervalos regulares ao longo do exercício.

Tendo em vista essa lacuna na literatura, o mesmo grupo<sup>33</sup> averiguou os efeitos da ingestão consecutiva e fracionada de soluções em diferentes temperaturas (10, 37 e 50 °C) sobre as respostas termorregulatórias e capacidade aeróbia. O protocolo de avaliação do desempenho consistiu em teste até a exaustão a 95%  $\text{VO}_{2\text{pico}}$  realizado imediatamente após 90 minutos de exercício de baixa intensidade (50%  $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) em condição de estresse térmico moderado (25 °C, 60% de umidade relativa). Nesse estudo, diferentemente do estudo anterior<sup>32</sup>, as bebidas foram administradas em alíquotas de 400 ml após 30, 45, 60 e 75 minutos do início do exercício em *steady state*. Os resultados, entretanto, confirmam os achados anteriores de que não há efeito da temperatura da bebida sobre o desempenho. A falta de eficácia deste protocolo de ingestão provavelmente está relacionada ao fato de que a temperatura retal e de pele foram semelhantes entre as soluções quentes e frias, apesar de uma menor frequência cardíaca ter sido observada com a ingestão das bebidas frias.

A princípio, tais resultados foram considerados desanimadores para a progressão de estudos na área. Contudo, tem sido especulado que a ingestão consecutiva de fluidos pode não permitir que a temperatura no interior do estômago se recupere suficientemente<sup>34</sup>. Especula-se que o organismo seja capaz de gerar reflexos termorregulatórios de geração de calor em resposta ao débito de calor que ocorre quando fluidos gelados são ingeridos em alíquotas de menor volume (ex.: 400 ml) durante um exercício de baixa intensidade. Entretanto, o mesmo pode não se aplicar durante um exercício de maior intensidade, no qual a taxa de produção de calor é elevada<sup>1</sup>. Além disso, ambos os estudos<sup>32,33</sup> foram conduzidos em ambientes termo-neutros (~25 °C), o que poderia ter contribuído para gerar respostas termorregulatórias diferentes comparadas às respostas de um ambiente quente (> 30 °C).

Logo, o mesmo grupo conduziu um terceiro estudo<sup>35</sup> visando investigar os efeitos da ingestão de fluidos em diferentes temperaturas sobre as respostas termorregulatórias e capacidade aeróbia durante um exercício prolongado em um ambiente quente (35 °C e 60% de umidade relativa). Os autores submeteram indivíduos moderadamente ativos a um protocolo diferente, em que um fluido quente (37 °C) ou frio (4 °C) foi administrado antes e durante um exercício de intensidade moderada (65%  $\text{VO}_{2\text{pico}}$ ) até a exaustão. Em comparação à ingestão do fluido quente, foi demonstrado que a ingestão de 3 alíquotas de 300 ml de um fluido a 4 °C 30 minutos antes do exercício, como método de pré-resfriamento, adicionadas à ingestão de alíquotas de 100 ml a cada 10 minutos de exercício, resultaram em um aumento de 11,9 minutos até a exaustão (~23% de melhora)<sup>35</sup>.

Esse interessante resultado pode ser explicado pela redução na temperatura retal durante o repouso (0,5 °C), e pela reduzida temperatura retal, de pele, frequência cardíaca, sensação térmica e de esforço durante o exercício, ocasionada pelo fluido frio. Dessa forma, a ingestão de um fluido frio antes e durante o exercício foi eficaz em aumentar o tempo de exercício antes que os indivíduos atingissem uma elevada  $T_{\text{i}}$ , a qual frequentemente limita a capacidade de prosseguir com o exercício em ambiente quente. Esses interessantes resultados sugerem que a ingestão de

um fluido frio (antes e durante o exercício) induz uma dissipação de calor que atenua o aumento na temperatura corporal, minimizando os efeitos deletérios da hipertermia sobre o desempenho, além de reduzir a sensação de desconforto térmico. Tais efeitos são acompanhados de atenuação do aumento da frequência cardíaca.

Estudos mais recentes testaram o potencial de pré-resfriamento de repositores hídricos utilizando protocolos de maior validade ecológica e melhor relação com o desempenho em provas, a saber, testes contrarrelógio. Os dois estudos que fizeram tal abordagem<sup>25,36</sup> examinaram os efeitos de soluções em diferentes temperaturas (2 e 4 °C vs. 37 °C) sobre o desempenho em testes contrarrelógio realizados em ambientes quentes e úmidos (28 e 32 °C, respectivamente; 70 e 60% de umidade relativa), com duração de 15 e 30 minutos, respectivamente. Em ambos os estudos, verificou-se redução da temperatura retal (0,5 a 0,8 °C) durante o exercício com a ingestão da solução fria em comparação à morna. Tal redução refletiu-se em aumento do trabalho total<sup>25</sup> e da potência média<sup>36</sup> nos testes contrarrelógio da ordem de ~4,9 e 5,1%, respectivamente. Pode-se assim notar que os dois estudos utilizaram desenho experimental com elevado controle interno, boa validade ecológica, de forma que os achados foram bastante consistentes. Esses resultados apoiam os achados de Lee, Shirreffs e Maughan<sup>35</sup>, que verificaram que a indução de uma carga térmica negativa antes do início de um exercício prolongado em um ambiente quente (pré-resfriamento), bem como durante a execução do mesmo, é uma estratégia eficiente de dissipar o calor interno e melhorar o desempenho aeróbio.

### **Limitações e perspectivas futuras**

O objetivo de tentar desacelerar a elevação da  $T_{re}$  é, em última análise, melhorar o desempenho físico. Contudo, a mensuração do desempenho é problemática, já que essa medida é influenciada por inúmeros fatores fisiológicos e psicológicos, além de possuir uma variabilidade decorrente da variação biológica do dia-a-dia e erro de instrumentação. Assim, o tipo de protocolo de exercício selecionado também pode influenciar a variação do erro e do poder estatístico para a detecção de efeitos significantes (e provavelmente marginais) de uma intervenção<sup>37</sup>. Dessa forma, existem três fatores que contribuem para um bom teste de desempenho: 1) a validade, 2) a reprodutibilidade, e 3) a sensibilidade. Um protocolo válido é aquele que se assemelha o máximo possível do desempenho que está sendo simulado. A reprodutibilidade é a variação de um protocolo, sendo sensível aquele protocolo capaz de detectar pequenas, porém relevantes, mudanças no desempenho<sup>38</sup>.

Nesse sentido, testes contrarrelógio possuem maior validade do que os testes de tempo até a exaustão, pois fornecem uma boa simulação fisiológica do desempenho em prova, além de possuírem uma alta correlação com o mesmo. Além disso, pesquisas têm demonstrado que os protocolos de tempo até a exaustão possuem um coeficiente de variação maior do que 10%, enquanto os testes contrarrelógio são mais confiáveis, pois apresentam um coeficiente de variação menor que 5%<sup>38</sup>. Alguns estudos observaram melhoras do tempo até a exaustão ao se consumir repositores hídricos em baixa temperatura<sup>32,33</sup>, enquanto outros não obtiveram o mesmo sucesso<sup>24,35</sup>. Com isso, a disparidade entre os estudos talvez possa ser explicada pelo uso de testes até a exaustão, os quais possuem baixa reprodutibilidade e são melhor considerados uma medida da capacidade aeróbia do que do desempenho aeróbio. Tal hipótese pode ser confirmada pelos dois últimos estudos publicados, os quais se utilizaram de testes contrarrelógio e observaram efeitos positivos bastante similares<sup>25,36</sup>. Em virtude do que foi mencionado, estudos futuros deveriam utilizar testes contrarrelógio para examinar a real influência da ingestão de repositores hídricos em baixa temperatura sobre o desempenho aeróbio em diferentes distâncias no ciclismo, e principalmente, em diferentes modalidades esportivas.

Vale ainda ressaltar que o recrutamento de indivíduos bem treinados para estudos futuros é fundamental para determinar se os benefícios encontrados com os repositores hídricos em baixa temperatura se traduzem em uma melhora de desempenho significativa nesta população. Os estudos disponíveis na literatura infelizmente não utilizaram atletas altamente treinados. Além disso, diversos foram os desenhos experimentais utilizados nos estudos, com variação da



exposição ambiental, dos protocolos de exercício e de ingestão dos fluidos, deixando clara a necessidade de uma maior padronização desses parâmetros em estudos futuros.

Por fim, sabe-se que a motivação e o *drive* central também podem influenciar o desempenho aeróbio<sup>39</sup>. Tal hipótese provém de estudos anteriores que mostraram que o simples bochecho com uma solução de carboidratos foi capaz de melhorar o desempenho de ciclistas treinados, não sendo necessário ingeri-la<sup>39</sup>. O mecanismo mais plausível para tal melhora é explicado por Chambers, Bridge e Jones<sup>40</sup>, que demonstraram por meio de ressonância magnética funcional, que o enxágue bucal com uma solução 6,4% de maltodextrina ou glicose é capaz de ativar o Córtex Cingulado Anterior, a Insula e o Estriato, via receptores orofaríngeos sensíveis aos carboidratos. Interessantemente, tais regiões cerebrais são responsáveis pelas sensações de “motivação”, “recompensa” e “prazer”. Considerando-se que a capacidade de produção de força muscular é significativamente influenciada pelo *drive* central até os músculos<sup>41</sup>, é sensato especular que potenciais respostas positivas por parte do Sistema Nervoso Central à detecção oral de uma bebida gelada, tal como ocorre com a detecção oral de carboidratos, também poderiam neutralizar o input inibitório das vias aferentes musculares, a qual tende a ocorrer durante exercícios realizados em ambientes quentes<sup>42,43</sup>, atenuando a queda no *drive* central para os músculos em contração<sup>44</sup>.

Em relação à temperatura da bebida, Guest *et al.*<sup>22</sup> conduziram um estudo semelhante, utilizando ressonância magnética funcional. Os autores introduziram diferentes temperaturas de saliva artificial na cavidade bucal dos participantes de seu estudo durante o exame de ressonância, enquanto registravam a ativação de diferentes regiões cerebrais, bem como a percepção individual de prazer. Notou-se que o enxágue bucal com a solução fria (5 °C) foi avaliada como mais agradável e prazerosa do que o mesmo procedimento com a solução quente (50 °C). Mas o resultado mais interessante deste estudo está provavelmente relacionado ao fato dos autores verificarem que algumas das mesmas regiões cerebrais envolvidas na detecção da temperatura das soluções também são responsáveis pela percepção de prazer e motivação, conforme evidenciado por Chambers, Bridge e Jones<sup>40</sup>. Assim, é possível que um estímulo agradável e prazeroso, como a baixa temperatura de um repositório hídrico, ajude a manter o *drive* central e aumente a motivação para o exercício via receptores orais sensíveis à temperatura. Abre-se assim a possibilidade de um outro mecanismo, alternativo à hipótese da temperatura corporal, que explique os possíveis efeitos benéficos dos repositórios hídricos em baixa temperatura sobre o desempenho aeróbio. É importante ressaltar, contudo, que o estudo de Guest *et al.*<sup>22</sup> não envolveu exercício físico, tampouco avaliou o desempenho, o que torna necessário confirmar a relevância desse mecanismo no contexto do exercício e do esporte. Por fim, é importante que estudos futuros considerem se os fatores sensoriais associados à temperatura dos repositórios hídricos podem explicar alguns dos benefícios observados sobre a percepção de esforço, e mais importante, sobre a capacidade e desempenho aeróbio.

### **Considerações finais**

Exercícios prolongados realizados em ambientes quentes são limitados, de forma importante, por fatores termorregulatórios<sup>6,13</sup>. Estudos têm sugerido que o sistema nervoso central também pode ser relevante no desenvolvimento da fadiga nesse ambiente<sup>4,7</sup>. Nesse sentido, estudos também têm demonstrado uma redução da ativação muscular<sup>8,42</sup> e alteração da atividade cerebral, conforme evidenciado por eletroencefalograma<sup>43</sup>, em resposta à hipertermia induzida pelo exercício. Tais alterações podem ser reflexo de uma queda no *drive* central, implicando em redução na capacidade de produção de força muscular com consequente perda de desempenho. Outra consequência da realização de exercícios em ambientes quentes é uma maior percepção subjetiva de esforço quando comparada a um exercício similar realizado em ambientes mais frios<sup>9</sup>.

Em virtude disso, diversas estratégias têm sido desenvolvidas de forma a lidar com os efeitos da hipertermia sobre o desempenho físico. No entanto, os métodos mais comuns de pré-resfriamento, tais como a aclimação, a

imersão em água gelada e a exposição ao ar frio, são logisticamente exigentes, consomem muito tempo e têm sido associados a reações térmicas negativas<sup>10-12</sup>. Dessa forma, a reposição hídrica parece ser a alternativa mais prática para lidar com a hipertermia. Ao longo dos anos, a maior parte dos estudos se dedicou a examinar o efeito de diferentes composições dos repositores hídricos sobre as respostas termorregulatórias e de desempenho<sup>13,14,45</sup>, tornado limitadas as informações a respeito da influência da temperatura dos repositores hídricos sobre tais respostas. Apesar da escassez de evidências neste ramo, algumas recomendações provenientes de importantes entidades no campo da nutrição esportiva foram estabelecidas com o intuito de auxiliar atletas que se exercitam em ambientes quentes, onde fluidos entre 15 e 22 °C deveriam ser ingeridos para atenuar a elevação da  $T_i$ <sup>19</sup>.

Os estudos expostos neste Ponto de Vista sugerem que a reposição de fluidos em baixas temperaturas, até mesmo mais baixas do que as da atual recomendação<sup>19</sup>, pode ser utilizada como estratégia adicional para melhorar a capacidade aeróbia em ambientes quentes. Existem alguns mecanismos explicando porque a ingestão de fluidos em baixas temperaturas pode melhorar a capacidade aeróbia, a saber: (1) causando uma resposta vagal e produzindo uma bradicardia relativa; (2) criando uma dissipação de calor, atenuando o aumento da  $T_i$  e diminuindo seus efeitos colaterais sobre o sistema cardiovascular, termorregulatório, cerebral e muscular; ou (3) considerando-se que um fluido frio possui maior palatabilidade<sup>22,24</sup>, o aumento do consumo do fluido poderia evitar a desidratação em uma maior extensão, e portanto, preservar a função cardíaca e muscular.

Além disso, a ingestão de um fluido em baixas temperaturas poderia combater a diminuição do *drive* central, evitando uma redução acentuada na capacidade de produção de força de um dado grupo muscular<sup>8</sup>. Em adição, a ativação de centros cerebrais responsáveis pelas sensações de prazer e recompensa frente à ingestão de fluidos frios<sup>22</sup> não pode ser descartada como potencial mecanismo de ação de melhora sobre a capacidade aeróbia, já que tal ação pode contribuir para o aumento da motivação e para menores índices de percepção de esforço durante o exercício.

Portanto, a ingestão de fluidos em baixas temperaturas cria uma dissipação de calor, resultando em uma atenuação da  $T_i$  e do calor acumulado durante o exercício. Um estresse térmico reduzido pode atuar na modulação das respostas cardiovasculares, cerebrais e musculares, as quais sabidamente são influenciadas de modo negativo durante o exercício em ambientes quentes. Esse parece ser um artifício ergogênico barato e aplicável a atletas. No entanto, mais pesquisas se fazem necessárias a respeito da eficácia e mecanismos de ação desta estratégia, principalmente sobre o desempenho aeróbio em diferentes modalidades esportivas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos nº 2013/04806-0 e 2014/11948-8). Os autores declaram que não há conflito de interesse com o tema em questão.

## Referências

1. Dill DB, Yousef MK, Nelson JD. Responses of men and women to two-hour walks in desert heat. *J Appl Physiol.* 1973; 35: 231-235.
2. Gisolfi CV, Copping JR. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 1974; 6: 108-113.
3. Nielsen B, Hales JR, Strange S, Christensen NJ, Warberg J, Saltin B. Human circulatory and thermoregulatory adaptations with heat acclimation and exercise in a hot, dry environment. *J Physiol.* 1993; 460: 467-485.
4. Gonzalez-Alonso J, Teller C, Andersen SL, Jensen FB, Hyldig T, Nielsen B. Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *J Appl Physiol.* 1999; 86: 1032-1039.
5. Galloway SD, Maughan RJ. Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man. *Med Sci Sports Exerc.* 1997; 29: 1240-1249.

6. Hargreaves M, Febbraio MA. Limits to exercise performance in the heat. *Int J Sports Med.* 1998; 19: 115-116.
7. Bruck K, Olschewski H. Body temperature related factors diminishing the drive to exercise. *Can J Physiol Pharmacol.* 1987; 65: 1274-1280.
8. Nybo L, Nielsen B. Perceived exertion is associated with an altered brain activity during exercise with progressive hyperthermia. *J Appl Physiol.* 2001; 91: 2017-2023.
9. Bridge MW, Weller AS, Rayson M, Jones DA. Ambient temperature and the pituitary hormone responses to exercise in humans. *Exp Physiol.* 2003; 88: 627-635.
10. Marino F, Booth J. Whole body cooling by immersion in water at moderate temperatures. *J Sci Med Sport.* 1998; 1: 73-81.
11. Marino FE. Methods, advantages, and limitations of body cooling for exercise performance. *Br J Sports Med.* 2002; 36: 89-94.
12. Bleakley CM, Bieuzen F, Davison GW, Costello JT. Whole-body cryotherapy: empirical evidence and theoretical perspectives. *Open Access J Sports Med.* 2014; 5: 25-36.
13. Maughan RJ. Fluid and electrolyte loss and replacement in exercise. In: Williams C, Devlin JT. *Foods, Nutrition and Sports Performance.* Londres: Chapman & Hall; 1992. p. 147-178.
14. Kay D, Marino FE. Fluid ingestion and exercise hyperthermia: implications for performance, thermoregulation, metabolism and the development of fatigue. *J Sports Sci.* 2000; 18: 71-82.
15. Goulet ED. Effect of exercise-induced dehydration on time-trial exercise performance: a meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2011; 45: 1149-1156.
16. Wall BA, Watson G, Peiffer JJ, Abbiss CR, Siegel R, Laursen PB. Current hydration guidelines are erroneous: dehydration does not impair exercise performance in the heat. *Br J Sports Med.* 2015; 49: 1077-1083.
17. Noakes TD. Fluid replacement during exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 1993; 21: 297-330.
18. Maughan RJ. Exercise in the heat: Limitations to performance and the impact of fluid replacement strategies. Introduction to the symposium. *Can J Appl Physiol.* 1999; 24: 149-151.
19. American College of Sports Medicine, *et al.* American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 377-390.
20. US Army Research Institute of Environmental Medicine. Nutrition for health and performance. Technical Note #01-4 ADA 390352.
21. National Athletic Trainers' Association. Position Statement: Fluid replacement for athletes. *J Athl Train.* 2000; 35: 212-224.
22. Guest S, *et al.* Human cortical representation of oral temperature. *Physiol Behav.* 2007; 92: 975-984.
23. Wimer GS, Lamb DR, Sherman WM, Swanson SC. Temperature of ingested water and thermoregulation during moderate-intensity exercise. *Can J Appl Physiol.* 1997; 22: 479-493.
24. Mundel T, King J, Collacott E, Jones DA. Drink temperature influences fluid intake and endurance capacity during exercise in a hot, dry environment. *Exp Physiol.* 2006; 91: 925-933.
25. Burdon C, O'Connor H, Gifford J, Shirreffs S, Chapman P, Johnson N. Effect of drink temperature on core temperature and endurance cycling performance in warm, humid conditions. *J Sports Sci.* 2010; 28: 1147-1156.
26. Costill DL, Kammer WF, Fisher A. Fluid ingestion during distance running. *Arch Environ Health.* 1970; 21: 520-525.
27. Armstrong LE, Hubbard RW, Szlyk PC, Matthew WT, Sils IV. Voluntary dehydration and electrolyte losses during prolonged exercise in the heat. *Aviat Space Environ Med.* 1985; 56: 765-770.
28. Szlyk PC, Sils IV, Francesconi RP, Hubbard RW, Matthew WT. Variability in intake and dehydration in young men during a simulated desert walk. *Aviat Space Environ Med.* 1989. 60: 422-427.
29. Imms FJ, Lighten AD. The cooling effects of a cold drink. In: Mercer JB. *Thermal physiology.* Nova Iorque: Elsevier Science; 1989. p. 135-139.
30. Lovell RJ, Pout MJ, Ryder JJ. Beverage temperature: Effects upon cardiovascular and thermoregulatory responses to endurance activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2004; 36: 315.
31. Lee JKW, Shirreffs SM, Maughan RJ. Thermoregulatory responses to ingesting cold and hot drinks at rest and during cycling exercise in man. *Proc Physiol Soc.* 2006; 3: 127.

32. Lee JKW, Shirreffs SM. The influence of drink temperature on thermoregulatory responses during prolonged exercise in a moderate environment. *J Sports Sci.* 2007; 25: 975-985.
33. Lee JKW, Maughan RJ, Shirreffs SM. The influence of serial feeding of drinks at different temperatures on thermoregulatory responses during cycling. *J Sports Sci.* 2008; 26: 583-590.
34. Leiper JB. Gastric emptying and intestinal absorption of fluids, carbohydrates, and electrolytes. In: Maughan RJ, Murray R. *Sports drinks – basic science and practical aspects.* Washington, DC: CRC Press; 2001. p. 89-128.
35. Lee JKW, Shirreffs SM, Maughan RJ. Cold drink ingestion improves exercise endurance capacity in the heat. *Med Sci Sports Exerc.* 2008; 40: 1637-1644.
36. Byrne C, Owen C, Cosnefroy A, Lee JK. Self-paced exercise performance in the heat after pre-exercise cold-fluid ingestion. *J Athl Train.* 2011; 46: 592-599.
37. Laursen PB, Francis GT, Abbiss CR, Newton MJ, Nosaka K. Reliability of time-to-exhaustion versus time-trial running tests in runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2007; 39: 1374-1379.
38. Currell K, Jeukendrup AE. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med.* 2008; 38: 297-316.
39. Painelli VS, Nicastro H, Lancha Júnior AH. Carbohydrate mouth rinse: does it improve endurance exercise performance? *Nutr J.* 2010; 9: 33-36.
40. Chambers ES, Bridge MW, Jones DA. Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *J Physiol.* 2009; 587: 1779-1794.
41. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.* 2001; 81: 1725-1789.
42. Martin PG, Marino FE, Rattey J, Kay D, Cannon J. Reduced voluntary activation of human skeletal muscle during shortening and lengthening contractions in whole body hyperthermia. *Exp Physiol.* 2005; 90: 225-236.
43. Nielsen B, Hyldig T, Bidstrup F, Gonzalez-Alonso J, Christoffersen GR. Brain activity and fatigue during prolonged exercise in the heat. *Pflugers Arch.* 2001; 442: 41-48.
44. St Clair Gibson A, Lambert ML, Noakes TD. Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med.* 2001; 31: 637-650.
45. Marino FE, Kay D, Serwach N. Exercise time to fatigue and the critical limiting temperature: effect of hydration. *J Therm Biol.* 2004; 29: 21-29.