

Lactato: de causa da fadiga a suplemento ergogênico?

Lactate: from cause of fatigue to ergogenic supplement?

PINTO, C L; PAINELLI, V de S; LANCHAJUNIOR, A H; ARTIOLI, G G. Lactato: de causa da fadiga a suplemento ergogênico? **R. Bras. Ci. e Mov.** 2014; 22(2): 173-181

RESUMO: Durante anos, pesquisadores inseridos na área de fisiologia do exercício apontaram para o lactato como o principal causador da fadiga durante exercícios de alta intensidade. Hoje, por outro lado, já existem diversos estudos demonstrando que o lactato per se não possui qualquer efeito sobre a fadiga neste tipo de exercício, mas que a acidose muscular, ocasionada pelo acúmulo de íons hidrogênio no interior da célula muscular, seria o fator limitante para o desempenho físico durante exercícios físicos de alta intensidade. Assim, estratégias com o objetivo de atenuar a queda do pH intramuscular, como a suplementação de beta-alanina e bicarbonato de sódio, têm se destacado no cenário esportivo. Embora anteriormente destacado como vilão durante esforços intensos, a suplementação de lactato vem recebendo especial atenção em anos recentes. A suplementação com este composto teoricamente pode aumentar os níveis sanguíneos de pH e bicarbonato, aumentando a capacidade de tamponamento extracelular, e por consequência, o desempenho físico. A suplementação com lactato também pode aumentar os níveis sanguíneos deste composto, aumentando sua disponibilidade como substrato para a gliconeogênese. Assim, estudos tem surgido com o intuito de avaliar a eficácia do lactato como tamponante e como substrato energético. Os poucos estudos até agora conduzidos, entretanto, não nos permitem atestar a eficácia ergogênica desta estratégia nutricional. A falta de estudos dose-resposta sobre as variáveis sanguíneas que caracterizam o mecanismo de ação do lactato, bem como de aplicação de testes físicos com baixo coeficiente de variação e boa validade externa exemplificam a necessidade de mais estudos investigando a eficácia ergogênica desta estratégia nutricional.

Palavras-chave: Lactato; Suplementação; Desempenho Físico; Acidose; Tamponante.

ABSTRACT: For years, researchers from the exercise physiology field pointed to lactate as the main cause of fatigue during high-intensity exercises. Today, however, there are several studies demonstrating that lactate per se does not have any effect on fatigue during this type of exercise, but muscle acidosis occasioned by hydrogen ions accumulation inside the muscle cell would be the limiting factor for performance during high-intensity exercises. Therefore strategies aiming to attenuate the decrease of intramuscular pH levels, like beta-alanine and sodium bicarbonate supplementation, have been prominent in the sports scenario. Although previously highlighted as a villain during high-intensity exercises, lactate supplementation has received special attention in recent years. Supplementation with this compound can theoretically increase blood pH and bicarbonate levels, increasing the extracellular buffering capacity, and hence, performance. Lactate supplementation can also increase lactate blood levels, increasing its availability as a substrate for gluconeogenesis. Thus, studies have arisen aiming to assess the effectiveness of lactate as a buffering agent and as an energy substrate. The few studies so far conducted, however, do not allow us to attest the ergogenic effectiveness of this nutritional strategy. The lack of dose-response studies on blood variables that characterize lactate mechanism of action, as well as the application of physical tests with a low coefficient of variation and good external validity exemplifies the need for further studies investigating the ergogenic effectiveness of this nutritional strategy.

Key Words: Lactate; Supplementation; Performance; Acidosis; Buffering.

Camila Lemos Pinto¹
Vitor de Salles Painelli²
Antonio Herbert Lancha Junior²
Guilherme Giannini Artioli²

¹ Universidade Federal de Goiás

² Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo

Recebido: 02/11/2013

Aceito: 04/02/2014

Contato: Camila Lemos Pinto - contato@camilalemos.com

Introdução

A fadiga muscular pode ser definida como uma diminuição da capacidade de gerar quantidades apropriadas de força muscular ou de potência durante a atividade contrátil¹. As múltiplas causas desse complexo fenômeno, embora estudadas há décadas, ainda não são completamente compreendidas. No entanto, sabe-se que diversos eventos que ocorrem durante a contração muscular podem levar à fadiga. Dentre esses, destacam-se a depleção de substratos energéticos (fosforilcreatina e glicogênio), a redução de potássio no interior da célula muscular, a redução da sensibilidade do aparato contrátil aos íons cálcio², a diminuição nas taxas de ressíntese de ATP³, e o acúmulo de metabólitos, em especial os íons H⁺ e o fosfato inorgânico⁵.

Durante exercícios de intensidade moderada, o glicogênio muscular é uma das principais fontes de substrato para a ressíntese de ATP via metabolismo oxidativo. À medida que a duração do exercício se prolonga, os estoques intramusculares de glicogênio diminuem e, quando depletados, o indivíduo torna-se incapaz de manter a intensidade do exercício⁶. Em exercícios prolongados, observa-se também um aumento na taxa de captação de glicose sanguínea pela célula muscular, local onde é oxidada, resultando em uma diminuição da glicemia. A degradação do glicogênio hepático é capaz de manter a glicemia dentro de valores fisiológicos, mas somente enquanto houver disponibilidade de glicogênio. Quando o exercício se prolonga, observa-se portanto uma depleção dos estoques hepáticos e musculares de glicogênio, bem como uma redução da glicemia⁷. Esses fatores têm sido classicamente associados à fadiga em exercícios de intensidade moderada e constituem a premissa que justifica a suplementação de glicose e outros substratos energéticos como agentes poupadores de glicogênio e, portanto, capazes de retardar a fadiga^{6,7}.

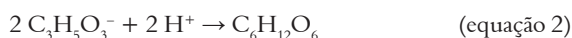
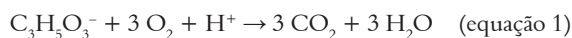
Já em exercícios de alta intensidade e curta duração, o acúmulo de íons H⁺ no interior da célula muscular vem sendo apontado como um dos principais agentes causadores da fadiga. Evidências indicam que a queda do pH intramuscular interfere diretamente na ressíntese de fosforilcreatina, no fluxo glicolítico e nos processos contráteis⁸. Durante exercícios de alta intensidade e curta duração, a elevada taxa de hidrólise de ATP resulta em um rápido aumento nas concentrações sarcoplasmáticas de H⁺ (vale lembrar que a reação de hidrólise de ATP resulta em liberação de 1 mol de H⁺ por 1 mol de ATP). Nesse tipo de atividade, a taxa de ressíntese de ATP pelas vias oxidativas não é suficiente para suprir a demanda celular, e a glicólise passa a ser a principal fonte de ATP. Isso culmina em um aumento paralelo na produção de lactato. Embora o aumento nas concentrações de lactato coincida com a acidose e com a fadiga, destaca-se que o paradigma do lactato como causador da fadiga muscular⁹ e até mesmo como origem dos íons H⁺ tem sido bastante questionado nos últimos anos⁸.

Apesar da rápida liberação de íons H⁺, a queda no

pH intramuscular não é imediata, uma vez que existem diversos mecanismos de tamponamento de íons H⁺. Dentre os tampões intracelulares, os de maior importância são os aminoácidos e peptídeos, os fosfatos e o bicarbonato (HCO₃⁻). A hidrólise de fosforilcreatina (isto é, ressíntese de ATP pelo sistema creatina-fosfato) e a produção de lactato (isto é, conversão piruvato lactato) também são processos que tamponam íons H⁺. Além desses sistemas, existe também o tamponamento dinâmico de íons H⁺, com destaque para a ação dos transportadores monocarboxilatos (ou MCTs), os quais transportam H⁺ para fora da célula muscular^{10,11}.

A despeito da existência de diversos mecanismos de tamponamento, a manutenção de um exercício em altas intensidades – em que a taxa de produção de íons H⁺ excede a capacidade de tamponamento ou de remoção de prótons do músculo esquelético – resulta em queda do pH intramuscular a valores críticos, levando à acidose e fadiga^{4,5,8}. Nesse contexto, estratégias capazes de atenuar a queda do pH muscular apresentam potencial de retardar a fadiga e otimizar o desempenho em modalidades esportivas de alta intensidade, nas quais a acidose é um fator limitante para o desempenho físico.

Paradoxalmente, a suplementação de lactato, substância que foi por muito tempo considerada um “vilão” do desempenho, por seu suposto papel no desenvolvimento da acidose e fadiga musculares, tem sido considerada uma estratégia interessante para melhorar o desempenho. Mais recentemente, pesquisadores têm considerado que seu uso poderia prover substrato energético para atividades de longa duração ou até mesmo aumentar a reserva tampão extracelular para atividades de alta intensidade. De fato, os “destinos metabólicos” do lactato incluem sua oxidação (equação 1) e sua conversão em glicose (equação 2):



Estudos demonstram que 20% do lactato produzido durante esforços de intensidade moderada é convertido em glicose via processos gliconeogênicos¹²⁻¹⁴ (equação 2), sugerindo um papel relevante como substrato energético. Tais especulações passaram a ser tratadas como evidências após outros estudos terem demonstrado que a taxa de depuração e oxidação do lactato durante o exercício são maiores do que as taxas de oxidação da glicose¹⁵. Além disso, em ambas as reações íons H⁺ são consumidos, induzindo um efeito poupador sobre o HCO₃⁻ sanguíneo. Como consequência, observa-se um aumento dos níveis sanguíneos de HCO₃⁻ em resposta à ingestão de lactato¹⁶, o que pode ser entendido como um aumento da reserva tampão extracelular induzido pelo consumo oral de lactato.

Em virtude do que foi discutido, diversos estudos propuseram-se a investigar o potencial ergogênico da suplementação de lactato, tanto em atividades de longa duração como em exercícios de alta intensidade e curta duração. Neste Ponto de Vista, discutimos criticamente os principais achados desses estudos, enfatizando as evidências acerca da efetividade metabólica e ergogênica dessa nova estratégia nutricional.

O lactato como substrato energético?

Com base na função do lactato como substrato energético, especulou-se que a sua suplementação poderia exercer ação ergogênica em exercícios de longa duração e intensidade moderada, nos quais o lactato seria utilizado especificamente como precursor gliconeogênico no Ciclo de Cori. Um resumo de todos os estudos investigando o potencial efeito ergogênico da suplementação de lactato como substrato energético pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Produções científicas investigando o potencial efeito ergogênico da suplementação de lactato como substrato energético.

REFERÊNCIAS	TIPO DE ATIVIDADE / PROTOCOLO DE EXERCÍCIO	PROTOCOLO DE SUPLEMENTAÇÃO	RESULTADOS SANGUÍNEOS	RESULTADOS DE DESEMPENHO
Fahey <i>et al</i> [1991]	Ciclismo / 50% VO ₂ máx durante 180 minutos	Solução de lactato 7%, glicose 7% ou aspartame no início e a cada 20 minutos de exercício	↑ glicose, pH e bicarbonato nos 60 minutos finais de exercício em comparação à glicose e ao aspartame	O desempenho não foi avaliado neste estudo
Swensen <i>et al.</i> [1994]	Ciclismo / Tempo até a exaustão em intensidade relativa a 70% VO ₂ máx	Solução de glicose 7% ou de glicose + lactato 7% antes e a cada 20 minutos do teste até a exaustão	↔ glicose, pH e bicarbonato sanguíneos	↔ TE
Bryner <i>et al</i> [1998]	Ciclismo / Tempo até a exaustão em intensidade relativa a 90% FC _{máx} , seguido de um teste de Wingate de 30 segundos	Solução de lactato 2% ou de lactato 2% + glicose 8% antes e a cada 20 minutos do teste até a exaustão	↔ glicose, pH e bicarbonato sanguíneos	↔ TE / ↔ W _{pico}
Azevedo Jr <i>et al</i> [2007]	Ciclismo / 62% VO ₂ máx durante 90 minutos, seguido de teste até a exaustão a 86% VO ₂ máx	Solução de carboidrato 6% ou carboidrato + lactato 2 minutos antes do exercício e a cada 15 minutos, durante o exercício contínuo	↔ glicose e lactato sanguíneos	↑ 25% TE
Peveler e Palmer [2012]	Ciclismo / Prova contrarrelógio de 20 km	21,5 mg.kg ⁻¹ de peso corporal de uma combinação de lactato de cálcio e lactato de magnésio 1 hora antes do exercício	Não realizou medidas sanguíneas	↔ TP / ↔ W _{média}
Northgraves <i>et al</i> [2013]	Ciclismo / Prova contrarrelógio de 40 km	21,5 mg.kg ⁻¹ de peso corporal de uma combinação de lactato de cálcio e lactato de magnésio 1 hora antes do exercício	↔ pH e bicarbonato sanguíneos	↔ TP

Legenda: TE: Tempo até a exaustão; TP: Tempo de prova; FC_{máx}: Frequência cardíaca máxima; VO_{2máx}: Consumo máximo de oxigênio; W_{média}: Potência média; W_{pico}: Potência pico.

Fahey *et al.*¹⁶ foram um dos primeiros a investigar os efeitos da administração oral de uma solução de lactato a 7% sobre o pH sanguíneo e os níveis de glicose, lactato e HCO_3^- , comparando-a com uma solução placebo e uma solução de maltodextrina a 7% (esta última conhecida como eficaz em atenuar a queda dos níveis sanguíneos de glicose). Em um desenho duplo-cego e *crossover*, tais soluções foram administradas antes e a cada 20 minutos durante um protocolo de exercício com duração de 180 minutos em cicloergômetro, a 50% do consumo pico de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{pico}}$). Os autores observaram que tanto o lactato como a maltodextrina atenuaram a queda da glicemia quando comparados ao tratamento com placebo. Interessantemente, o pH sanguíneo foi significativamente maior aos 120 e 180 minutos de exercício após o tratamento com lactato, comparado às outras condições. De forma semelhante, o HCO_3^- sanguíneo caiu progressivamente durante o exercício nos tratamentos com placebo e maltodextrina, mas aumentou significativamente com a ingestão de lactato. Esses resultados indicam que a ingestão de lactato de fato pode ajudar a manter a glicose plasmática e aumentar a capacidade tampão extracelular durante exercícios prolongados. Contudo, é importante ressaltar que a intensidade do exercício empregada pelos autores foi baixa, não reproduzindo as intensidades mais elevadas que são típicas de provas de longa duração. Além disso, esse estudo não avaliou o impacto dessas alterações fisiológicas sobre o desempenho.

Tendo esta limitação em vista, Swensen *et al.*¹⁷ compararam os efeitos da administração oral de uma solução contendo carboidrato + lactato a 7% (6,25 gramas de carboidrato e 0,25 gramas de lactato) com uma solução contendo somente carboidrato a 7% sobre o tempo até a exaustão e outras variáveis fisiológicas durante exercício em cicloergômetro a 70% do consumo máximo de oxigênio ($\text{VO}_{2\text{máx}}$). As soluções foram administradas no início do exercício e a cada 20 minutos, e o desenho adotado foi o *crossover* duplo-cego. Os autores não observaram diferenças entre os tratamentos no tempo até a exaustão e em nenhuma das variáveis fisiológicas analisadas (razão de troca respiratória, taxa de oxidação de carboidratos, pH sanguíneo e glicemia, entre outras), de tal forma que os dados de Fahey *et al.*¹⁶ não foram confirmados. Uma possível explicação para tal contradição reside no fato de que Fahey *et al.*¹⁶ administraram uma maior quantidade de lactato. Apoiando tal explicação, não houve diferença na concentração de lactato sanguíneo entre os tratamentos com carboidrato e carboidrato + lactato no estudo de Swensen *et al.*¹⁷. Além disso, o baixo número de participantes (cinco ciclistas) no estudo de Swensen *et al.*¹⁷ pode ter resultado em baixo poder estatístico do estudo, dificultando a identificação de possíveis efeitos do lactato.

Utilizando um protocolo de exercício que simulou uma prova de ciclismo, Bryner *et al.*¹⁸ solicitaram que sete ciclistas treinados pedalassem em cicloergômetro até a exaustão contra uma carga equivalente a 86% da frequência cardíaca máxima. Quando incapazes de manter uma cadência de 80 rpm, os atletas eram submetidos a

um teste de Wingate (30 segundos, carga de 9% do peso corporal). Em um desenho duplo-cego e *crossover*, os autores administraram antes e a cada 30 minutos deste protocolo 1) solução placebo; 2) solução de lactato a 2%; 3) solução de carboidrato a 8%; 4) combinação de lactato a 2% e carboidrato a 8%. Foram determinados, além do desempenho (tempo até a exaustão e a potência pico – W_{pico}), pH, HCO_3^- , insulina e glicose sanguíneas. Os resultados não mostraram qualquer efeito do lactato sobre as variáveis fisiológicas e de desempenho, corroborando as evidências anteriores de que o uso de lactato não exercia qualquer efeito ergogênico sobre o desempenho de *endurance*.

Anos mais tarde, Azevedo *et al.*¹⁹ avaliaram os efeitos metabólicos e ergogênicos da suplementação de lactato. Seis ciclistas treinados realizaram um protocolo de exercício similar ao de Bryner *et al.*¹⁸, no qual empregaram um exercício em cicloergômetro com duração de 90 minutos a 62% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, seguido de um teste até a exaustão a 86% do $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Em um desenho *crossover* uni-cego (os pesquisadores não foram vendados quanto às substâncias consumidas), os atletas ingeriram bebidas contendo 6% de carboidrato (glicose + frutose) ou uma combinação de carboidrato e lactato (por meio de um suplemento comercialmente disponível denominado PolyLactato™, da Cytomax™). As bebidas foram oferecidas em volumes isocalóricos (250 ml, 55 kcal) 2 minutos antes do início do exercício, e a cada 15 minutos durante o exercício contínuo. A dose de lactato administrada a cada momento foi de ~130 mg.kg⁻¹ de peso corporal. Amostras de sangue arterial foram coletadas antes, durante e após o protocolo de exercício e analisadas para glicose e lactato sanguíneos. Os resultados demonstraram que não houve diferenças significantes nos valores de glicose e lactato sanguíneos entre os tratamentos. A taxa de oxidação de lactato, porém, foi maior após a ingestão da bebida contendo lactato. Ao contrário dos estudos anteriores, essa investigação patrocinada pela indústria foi a única a relatar efeito ergogênico da suplementação de lactato, a saber, uma melhora extraordinária de 25% no tempo até exaustão.

A despeito da falta de evidências contundentes de sua ação ergogênica, a suplementação de lactato tem ganhado popularidade no meio esportiva, principalmente entre atletas de ciclismo. A exemplo, algumas empresas iniciaram a venda de suplementos contendo duas formas de lactato (lactato de magnésio diidratado e lactato de cálcio monohidratado). Com isso, dois estudos subsequentes^{20,21} propuseram-se a investigar os possíveis efeitos ergogênicos desse novo suplemento comercial (SportLegs, Sport Specifics, Inc.). Peveler e Palmer²⁰, em um desenho duplo cego e controlado por placebo, investigaram os efeitos da ingestão de 21,5 mg.kg⁻¹ de peso corporal desse suplemento (isto é, a dose recomendada pelo fabricante) sobre o desempenho em uma prova contrarrelógio de 20 km em cicloergômetro. Este protocolo de exercício foi escolhido porque simula uma competição de ciclismo, um dos esportes para o

qual o fabricante alega ter especificamente desenvolvido o suplemento. Cada participante realizou quatro sessões experimentais, incluindo uma familiarização e uma sessão avaliação do $VO_{2\text{máx}}$. As duas sessões subsequentes consistiram na prova de 20 km, realizada 60 minutos após o consumo do suplemento ou placebo. Os autores não observaram diferenças significantes no tempo de prova, potência média e frequência cardíaca entre os tratamentos, indicando que a suplementação de lactato, pelo menos na dose recomendada pelo fabricante do suplemento, não é uma estratégia eficaz para a melhora de desempenho de ciclistas em provas de 20 km.

Mais recentemente, Northgraves *et al.*²¹ investigaram os efeitos ergogênicos do consumo desse mesmo suplemento comercial contendo lactato em provas de ciclismo de 40 km. Em um desenho randomizado, duplo-cego e controlado por placebo, ciclistas realizaram um aquecimento de 10 minutos contra uma carga de 75 watts, seguido da prova de 40 km contrarrelógio. As sessões experimentais foram conduzidas 60 minutos após a administração da dose de suplemento recomendada pelo fabricante (21,5 mg.kg⁻¹ de peso corporal) ou de placebo (farinha de trigo). Amostras de sangue capilar foram coletadas ao longo da sessão experimental para a avaliação do pH e HCO_3^- sanguíneos. Confirmando os achados dos estudos anteriores, não foram observados quaisquer efeitos positivos da suplementação, tanto sobre o desempenho físico, quanto sobre as variáveis sanguíneas na prova de 40 km, ressaltando a necessidade de se ter cautela ao generalizar os resultados do estudo de Azevedo *et al.*¹⁹.

Embora seja difícil explicar a falta de resultados positivos dos estudos de Preveler e Palmer²⁰ e de Northgraves *et al.*²¹ frente aos dados de Azevedo *et al.*¹⁹, pode-se especular que, no estudo de Azevedo e colegas, o exercício realizado antes do teste até a exaustão (90 minutos

a 62% $VO_{2\text{máx}}$) poderia ter estabelecido uma pré-fadiga nos atletas, depletando os estoques energéticos e permitindo, assim, que o efeito de provisão energética do suplemento se traduzisse em aumento no tempo até a exaustão. De qualquer forma, vale ressaltar que o desempenho nos esportes de longa distância, incluindo o ciclismo, não é limitado pelo tempo em que o exercício é mantido, mas pela velocidade com que a prova é realizada. Assim, tem sido amplamente reconhecido que protocolos utilizando tempo até exaustão não refletem adequadamente as demandas de modalidades como ciclismo e corrida, para os quais o tempo para completar a prova é a melhor forma de se avaliar o desempenho. Conforme já discutido, os dois estudos que avaliaram o tempo de prova, tanto de 20 km como de 40 km, não verificaram melhoras no desempenho, o que torna altamente questionável a utilidade de suplementos contendo lactato em situações reais de competição.

O lactato como tamponante?

Apesar dos resultados pouco animadores acerca do uso de lactato para melhorar o desempenho de longa duração, alguns estudos produziram evidências de que o lactato pode aumentar a capacidade tamponante extracelular e, dessa forma, beneficiar o desempenho em exercícios de alta intensidade e curta duração. O mecanismo proposto envolve o consumo de íons H^+ durante as reações de oxidação do lactato a dióxido de carbono e água, e de conversão à glicose, conforme descrito nas equações 1 e 2. Esse consumo de íons H^+ reduziria o consumo do HCO_3^- sanguíneo, levando a um aumento do principal tampão químico extracelular. Um sumário dos poucos estudos que investigaram os potenciais efeitos ergogênicos da suplementação de lactato como tamponante pode ser encontrado na Tabela 2.

Tabela 2. Produções científicas investigando o potencial efeito ergogênico da suplementação de lactato como tamponante.

REFERÊNCIAS	TIPO DE ATIVIDADE / PROTOCOLO DE EXERCÍCIO	PROTOCOLO DE SUPLEMENTAÇÃO	RESULTADOS SANGUÍNEOS	RESULTADOS DE DESEMPENHO
Van Moontfort <i>et al</i> [2004]	Corrida / Tempo até exaustão em intensidade estabelecida para eliciar a fadiga em 90 a 120 segundos	400 mg.kg ⁻¹ de peso corporal de lactato de sódio 105 minutos antes do exercício	↑ pH e bicarbonato sanguíneos em comparação à condição placebo	↑ 1,7% TE
Morris <i>et al</i> [2011]	Ciclismo / Tempo até a exaustão a 100% W _{máx} após 4 tiros de 1 minuto a 100% W _{máx}	120 mg.kg ⁻¹ de peso corporal de lactato de cálcio 80 minutos antes do exercício	↑ bicarbonato sanguíneo em comparação à condição placebo / ↔ pH sanguíneo	↑ 17% TE
De Salles Painelli <i>et al</i> [2013]	Cicloergômetro de membro superior/ 3 testes de Wingate, com 30 segundos de duração cada, e 3 minutos de intervalo entre eles	150 ou 300 mg.kg ⁻¹ de peso corporal de lactato de cálcio 90 minutos antes do exercício	↑ pH e bicarbonato sanguíneos com ambas as doses em comparação à linha de base	↔ W _{média} / ↔ W _{pico} / ↔ Trabalho Total

Legenda: TE: Tempo até a exaustão; W_{máx}: Potência máxima; W_{média}: Potência média; W_{pico}: Potência pico.

O primeiro estudo a investigar o potencial da suplementação de lactato como agente tamponante utilizou um desenho duplo-cego e *crossover*, no qual quinze corredores de longa distância correram até a exaustão²². A intensidade foi selecionada de modo a induzir fadiga dentro de 1 a 2 minutos (a velocidade variou de 19 a 23 km/h). O protocolo de exercício teve início 90 minutos após o consumo de 400 mg.kg⁻¹ de lactato de sódio ou 209 mg.kg⁻¹ de cloreto de sódio (placebo). Durante os tratamentos, amostras de sangue capilar foram coletadas para a análise de lactato, pH e HCO₃⁻ sanguíneos. A suplementação com lactato de sódio produziu um aumento significativo do pH e HCO₃⁻ sanguíneos quando comparados ao placebo; curiosamente, maiores concentrações de lactato sanguíneo foram observadas após a ingestão de placebo. Também foi observado que o consumo de lactato resultou em 1,7% de melhora do tempo até a exaustão em comparação ao placebo, aumentando de 77,4 s para 80,2 s, respectivamente. Apesar dos resultados encontrados neste estudo parecerem promissores, o mesmo apresenta algumas limitações, como a ausência de comparação dos valores sanguíneos de pH e HCO₃⁻ após a ingestão com os valores antes da ingestão dos tratamentos, isto é, em estado basal. Tal procedimento permitiria demonstrar a magnitude do efeito da ingestão de lactato sobre estas variáveis. Uma outra limitação diz respeito ao teste físico aplicado. O efeito ergogênico observado pelos autores (1,7%), embora similar ao efeito ergogênico da maioria

dos suplementos alimentares, foi inferior à variação intraindividual que normalmente se observa em testes até a exaustão (5% a 10% de variação, em média)²³.

Tendo estas limitações em vista, num estudo subsequente, Morris *et al.*²⁴ objetivaram determinar os efeitos da ingestão de lactato sobre a capacidade física, pH e HCO₃⁻ sanguíneos em onze ciclistas treinados. Os atletas foram submetidos a um protocolo que consistia de quatro séries de exercício em cicloergômetro, com duração de um minuto cada, a 100% do VO_{2máx}. Entre as séries foi estipulado um período de recuperação ativa de um minuto a 25% do VO_{2máx}. Imediatamente após o último período de recuperação, os indivíduos foram submetidos a uma série final a 100% do VO_{2máx} até a exaustão. Usando um desenho *crossover* e duplo-cego, cada participante repetiu o protocolo de exercício três vezes, sendo 1) após a ingestão de 120 mg.kg⁻¹ de lactato de cálcio, 2) após a ingestão de aspartame (placebo) e 3) após a ingestão de água (sem tratamento). A dosagem de lactato oferecida (120 mg.kg⁻¹) foi escolhida com base em um estudo piloto previamente realizado pelos autores, sendo constatado um maior nível de bicarbonato sanguíneo 80 a 100 minutos após a ingestão da dosagem escolhida, quando comparada às dosagens de 20 e 220 mg.kg⁻¹ de lactato de cálcio. Todos os suplementos foram consumidos ao longo de um período de 5 minutos. Posteriormente, os indivíduos ficaram em repouso por 70 minutos, e após este período de repouso, foi iniciado um aquecimento no cicloergômetro com duração de

10 minutos. Os autores verificaram um significativo aumento dos níveis de HCO_3^- sanguíneo após a ingestão de lactato de cálcio, quando comparados aos níveis deste parâmetro antes da ingestão de lactato e após a ingestão de placebo e água. Por outro lado, os valores de pH e lactato sanguíneos não foram estatisticamente diferentes entre os tratamentos. Os autores também relataram que o tempo até a exaustão foi significativamente maior no tratamento com lactato (168 ± 31 segundos), quando comparado ao tratamento com água (143 ± 29 segundos) e ao tratamento com placebo (137 ± 41 segundos), representando melhora de 18% e 17%, respectivamente, o que é um percentual muito maior do que a variação intraindividual esperada para este teste. Os resultados deste estudo reforçaram com bastante contundência os dados de Van Montfort *et al.*²², demonstrando os efeitos metabólicos e ergogênicos da ingestão de lactato sobre o exercício de alta intensidade.

Por fim, embora os resultados de ambos os estudos acima citados sejam animadores, observa-se grande discrepância entre a dosagem de lactato utilizada nos estudos, bem como no protocolo de exercício utilizado. Baseado em tais lacunas na literatura, nosso grupo investigou recentemente os efeitos de diferentes dosagens de lactato de cálcio sobre o pH e HCO_3^- sanguíneos, bem como sobre o desempenho intermitente de membros superiores²⁵. Especificamente, participantes fisicamente ativos foram submetidos a 3 tratamentos experimentais diferentes, num desenho *crossover* e duplo-cego, sendo eles: placebo (carbonato de cálcio), dose baixa e dose alta de lactato de cálcio (150 e 300 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal, respectivamente). Os tratamentos foram ingeridos dentro de 10 minutos, e exatamente 90 minutos após o término da ingestão, os participantes foram submetidos a 3 testes de Wingate para membros superiores, com 30 segundos de duração cada e 3 minutos de intervalo entre eles. Tal protocolo de exercício foi escolhido por induzir acentuada acidose e por ter se mostrado sensível a alterações no desempenho com o uso de suplementos tamponantes em estudos anteriores^{26,27}. Coletas sanguíneas foram

realizadas em repouso, 90 minutos após a ingestão dos tratamentos e imediatamente após o último teste de Wingate. Como principais resultados, observamos que ambas as doses de lactato de cálcio promoveram um significativo, porém pequeno, aumento do pH e HCO_3^- sanguíneos, não havendo diferenças entre as doses. Tais aumentos, entretanto, não foram suficientes para alterar os parâmetros de desempenho, potência pico, potência média ou trabalho total. Apesar dos resultados conflitantes quando comparados aos de Van Moontfoort *et al.*²² e Morris *et al.*²⁴, os dados de nosso estudo colocam em dúvida a efetividade do lactato como agente mediador do pH e reforçam a importância em se exercer cautela ao concluir que a ingestão de lactato é uma estratégia nutricional ergogênica para esforços de alta intensidade e curta duração.

Considerações Finais

A efetividade metabólica e ergogênica da suplementação de lactato, seja como substrato energético ou como agente mediador do pH, foi alvo de diversos estudos conforme demonstrado ao longo deste Ponto de Vista. Tais estudos se basearam principalmente em hipóteses da década de 80 que postulavam que o lactato poderia atuar como precursor gliconeogênico no Ciclo de Cori¹⁵. Além deste potencial mecanismo de ação, outros autores também demonstraram seu potencial de atuação como tamponante²⁴, justificando as investigações sobre a sua eficácia durante exercícios de alta intensidade. Os resultados até agora publicados na literatura, entretanto, não nos permitem afirmar com segurança que essa estratégia é eficaz para melhorar o desempenho físico, tanto em exercícios de intensidade moderada e longa duração como em exercícios de alta intensidade e curta duração. Ressaltamos a importância de que estudos futuros investiguem a eficácia ergogênica da suplementação de lactato durante protocolos de exercício que simulem modalidades esportivas e que possuam baixo coeficiente de variação.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (processos nº 2013/04806-0 e 2010/11221-0). Os autores declaram que não há conflito de interesse com o tema em questão.

Referências

1. Finsterer, J. Biomarkers of peripheral muscle fatigue during exercise. *BMC Musculoskeletal Disord*, 2012;13:218.
2. Artioli GG, Gualano B, Smith A, Stout J, Lancha AH Jr. Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc*, 2010;42(6):1162-1173.
3. Harris RC, Edwards RH, Hultman E, Nordesjo, LO, Ny Lind B, Sahlin, K. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflugers Arch*, 1976;367(2):137-142.
4. Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, Heigenhauser GJ, Jones NL. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol*, 1989;66(1):8-13.
5. Fitts RH. Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiol Rev*, 1994;74(1):49-94.
6. Jeukendrup AE, Raben A, Gijsen A, Stegen JH, Brouns F, Saris WH, Wagenmakers AJ. Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *J Physiol*, 1999;515(2):579-589.
7. McConell GK, Canny BJ, Daddo MC, Nance MJ, Snow RJ. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics and muscle metabolism during intense endurance exercise. *J Appl Physiol*, 2000;89(5):1690-1698.
8. Robergs RA, Ghiasvand F, Parker D. Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2004;287(3):502-516.
9. Brooks GA. Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised? *J Physiol*, 2001;536(1):1.
10. Mainwood GW, Worsley-Brown P. The effects of extracellular pH and buffer concentration on the efflux of lactate from frog sartorius muscle. *J Physiol*, 1975;250(1):1-22.
11. Mainwood GW, Cechetto D. The effect of bicarbonate concentration on fatigue and recovery in isolated rat diaphragm muscle. *Can J Physiol Pharmacol*, 1980;58(6):624-632.
12. Gertz EW, Wisneski JA, Neese R, Bristow JD, Searle GL, Hanlon JT. Myocardial lactate metabolism: evidence of lactate release during net chemical extraction in man. *Circulation*, 1981;63(6):1273-1279.
13. Mazzeo RS, Brooks GA, Schoeller DA, Budinger TF. Disposal of blood [1-13C] lactate in humans during rest and exercise. *J Appl Physiol*, 1986;60(1):232-241.
14. Stanley WC, Gertz EW, Wisneski JA, Neese RA, Morris DL, Brooks GA. Lactate extraction during net lactate release in legs of humans during exercise. *J Appl Physiol*, 1986;60(4):1116-1120.
15. Brooks GA. The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 1986;18(3):360-368.
16. Fahey TD, Larsen JD, Brooks GA, Colvin W, Henderson S, Lary D. The effects of ingesting polylactate or glucose polymer drinks during prolonged exercise. *Int J Sport Nutr*, 1991;1(3):249-256.
17. Swensen T, Crater G, Bassett JR, Howley ET. Adding polylactate to a glucose polymer solution does not improve endurance. *Int J Sports Med*, 1994;15(7):430-434.
18. Bryner RW, Hornsby WG, Chetlin R, Ullrich IH, Yeater RA. Effect of lactate consumption on exercise performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 1998;38(2):116-123.
19. Azevedo JL, Tietz E, Two-Feathers T, Paull J, Chapman K. Lactate, fructose and

glucose oxidation profiles in sports drinks and the effect on exercise performance. *PLoS One*, 2007;2(9):e927.

20. Preveler WW, Palmer TG. Effect of magnesium lactate dihydrate and calcium lactate monohydrate on 20-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*, 2012;26(4):1149-1153.

21. Northgraves MJ, Peart DJ, Jordan C, Vince RV. Effect of lactate supplementation and sodium bicarbonate on 40 km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*, 2013 [Epub ahead of print].

22. Van Montfoort MC, Van Dieren L, Hopkins WG, Shearman JP. Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate, and chloride on sprint running. *Med Sci Sports Exerc*, 2004;36(7):1239-1243.

23. Billat V, Renoux JC, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein JP. Reproducibility of running time to exhaustion at VO₂max in subelite runners. *Med Sci Sports Exerc*, 1994;26(2):254-257.

24. Morris DM, Shafer RS, Fairbrother KR, Woodall MW. Effects of lactate consumption on blood bicarbonate levels and performance during high-intensity exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2011;21(4):311-317.

25. De Salles Painelli V, Silva RP, Oliveira Jr OM, Oliveira LF, Benatti FB, Rabelo T, França Guilherme JPL, Lancha Jr AH, Artioli GG. The effects of two different doses of calcium lactate on blood pH, bicarbonate, and repeated high-intensity exercise performance. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, in press.

26. Artioli GG, Gualano B, Coelho DF, Benatti FB, Gailey AW, Lancha AH Jr. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 2007;17(2):206-217.

27. Tobias G, Benatti FB, de Salles Painelli V, Roschel H, Gualano B, Sale C, Harris RC, Lancha AH Jr, Artioli GG. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 2013;45(2):309-317.