

EFEITO DA INGESTÃO DE BICARBONATO DE SÓDIO NO DESEMPENHO EM EXERCÍCIOS INTERMITENTES DE ALTA INTENSIDADE: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Autores: Leandro C. Felipe¹;
Gustavo G. de Araujo¹;
Rômulo Bertuzzi²;
Adriano E. Lima-Silva¹

RESUMO

O uso de suplementos nutricionais é tido como um importante auxiliar na melhoria do desempenho esportivo. Nesse sentido, alguns estudos buscaram investigar a eficácia da administração do bicarbonato de sódio (NaHCO_3) na melhoria do rendimento em diferentes tipos de exercício, em especial, em esforços intermitentes de alta intensidade. O bicarbonato de sódio é conhecido como uma substância “tamponante” de íons de hidrogênio durante o exercício. Esse suplemento promove uma maior capacidade de resistência ao aparecimento da fadiga pela influência no equilíbrio ácido-base intra e extracelular, mantendo o pH intramuscular próximo ao neutro (7,0) e, conseqüentemente, mantendo a capacidade de ressíntese de ATP. Portanto, o objetivo do presente estudo foi analisar os principais achados sobre a suplementação de NaHCO_3 e seu efeito sobre o desempenho em exercícios intermitentes de alta intensidade. Para esclarecer esses aspectos, foi realizada a busca de artigos científicos experimentais, metaanálises e revisões nas bases de dados do PUBMED, SPORTDiscus e SciELO. Os resultados encontrados apontam para aumento no desempenho em exercícios intermitentes, após o consumo de 0,3 a 0,4 g/kg de NaHCO_3 , e que doses acima dessas podem ocasionar distúrbios gastrointestinais, podendo em alguns casos resultar em queda no desempenho. Portanto, recomendamos a ingestão de 0,3 a 0,4 g/kg de NaHCO_3 , em um período de 60 a 120 minutos antes do início de exercícios intermitentes de alta intensidade.

¹ Grupo de Pesquisa em Ciência do Esporte (GPCE-UFAL), Faculdade de Nutrição, Universidade Federal de Alagoas.

² Grupo de Estudos em Desempenho Aeróbio (GEDAE-USP), Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo.

Email: leandrocamati@hotmail.com

PALAVRA-CHAVE: alcalose metabólica, exercício intermitentes, íons de hidrogênio, equilíbrio ácido-base.

ABSTRACT

Nutritional supplements are an important resource to improve the athletic performance. Accordingly, numerous studies have investigated the efficacy of the sodium bicarbonate administration (NaHCO_3) to improve the performance on different types of exercise, especially, in intermittent high-intensity efforts. The sodium bicarbonate is known as a "buffering" substance of hydrogen ions during exercise. This supplement promotes a higher resistance to the onset of fatigue by influencing acid-base balance of both intra- and extra-cellular, maintaining the intramuscular pH near to neutral (7.0) and consequently maintaining the capacity to ATP resynthesis and muscle contractility. Therefore the aim of this study was to analyze the main findings of NaHCO_3 supplementation and its effect on performance in high-intensity intermittent exercise. To clarify these issues, we performed a search of scientific experiments, meta-analyzes and reviews the databases PubMed, SciELO and SPORTDiscus. Most studies suggest an increase in the performance during intermittent exercise after consumption from 0.3 to 0.4 g/kg of NaHCO_3 , while levels above it may cause gastrointestinal disturbances and drop in the performance. In this sense, we present a suggestion for the use of this dietary supplement in order to maximize the ergogenic effect of NaHCO_3 and minimize their possible side effects. Therefore, we recommend intake of 0.3 to 0.4 g/kg for body mass of NaHCO_3 in a period of 60 to 120 minutes before of high-intensity intermittent exercise.

KEYWORD: metabolic alkalosis, intermittent exercise, hydrogen ions, acid-base balance.

INTRODUÇÃO

Com objetivo de aumentar o desempenho em diversas modalidades esportivas, treinadores, nutricionistas e cientistas do esporte têm utilizados inúmeros tipos de suplementos no intuito de retardar o processo de fadiga muscular aguda (FMA). A FMA é um fenômeno multifatorial e complexo, sendo, portanto, um fator limitante do rendimento atlético (FITTS, 1994; ALLEN, LAMB & WESTERBLAD, 2008). Nesse sentido, a utilização de alguns recursos nutricionais com intuito de retardar a FMA tem se mostrado eficiente, aumentando a capacidade contrátil do músculo e sua capacidade de realizar trabalho (McNAUGHTON, SIEGLER & MIDGLEY, 2008; BISHOP *et al.*, 2004).

Um grande número de modalidades esportivas envolvem tarefas intermitentes, que são caracterizadas pelos repetidos e curtos períodos de ação de alta intensidade, seguido por pequenos intervalos de pausa, causando dessa forma, uma grande demanda do sistema glicolítico para ressíntese de adenosina trifosfato (ATP) (BISHOP *et al.*, 2004). Acredita-se que o desenvolvimento da FMA durante o exercício intermitente de alta intensidade está associado, em grande parte, ao aumento da concentração de íons H^+ , decorrente da predominante contribuição da glicólise anaeróbia e do aumento substancial da hidrólise do ATP (SAHLIN, EDSTROM & SJOHOLM, 1983; FITTS, 1994). Esses fatores são responsáveis pela queda do pH intramuscular (acidose intramuscular), causando diminuição do processo de contração-relaxamento das fibras musculares e redução da atividade das enzimas glicolíticas, resultando em queda na produção de ATP (PATE *et al.*, 1995; METZGER & MOSS, 1990; ADROGUÉ & ADROGUÉ, 2001). Por esse motivo vários estudos têm investigado a suplementação com bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) como meio para reduzir a acidose metabólica em exercícios supramáximos e intermitentes (SIEGLER *et al.*, 2010a; IBANEZ *et al.*, 1995; McNAUGHTON, 1992; ROBERGS *et al.*, 2005). Acredita-se que o tamponamento extracelular via $NaHCO_3$ permite um maior efluxo de íons H^+ do músculo para o sangue, reduzindo assim a acidose intramuscular, e conseqüentemente aumentando a intensidade e/ou duração do exercício (REQUENA *et al.*, 2005; BISHOP & CLAUDIUS, 2005).

Apesar da grande quantidade de informações a respeito do consumo de NaHCO_3 , a variedade metodológica desses estudos dificulta a interpretação dos resultados. Um exemplo dessa grande variedade metodológica são as diversas forma e tempo de consumo de NaHCO_3 retratado na literatura, que pode variar de uma única dose de NaHCO_3 dissolvido em 500 ml de bebida isotônica de baixas calorias (CAMERON *et al.*, 2010), a sete doses de NaHCO_3 consumidas em cápsulas (PRUSCINO *et al.*, 2011), totalizando em ambos os casos o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 . Em virtude dessa grande variedade metodológica faz-se necessário uma sistematização do conhecimento produzido até o presente momento, principalmente quando a quantidade, forma e tempo de consumo do suplemento. Essas informações são essenciais para a intervenção profissional, pois o uso adequado desse suplemento pode reduzir a FMA, aumentando a intensidade e/ou duração do exercício, além de minimizar os possíveis desconfortos gastrointestinais relatados em alguns estudos. Nesse sentido, o primeiro objetivo dessa revisão de literatura é apresentar os principais achados envolvendo a utilização do NaHCO_3 durante a realização de exercícios intermitente e de alta intensidade. O segundo objetivo é apresentar uma sugestão acerca de uso desse suplemento alimentar, de forma a maximizar os efeitos ergogênicos do NaHCO_3 .

MÉTODOS

A literatura foi pesquisada nas bases de dados do PUBMED, SPORTDiscus e SciELO, e os termos utilizados para pesquisa (em inglês e português) foram “*sodium bicarbonate and exercise*” e “*bicarbonato de sódio e exercício*”; “*sodium bicarbonate and intermittent exercise*” e “*bicarbonato de sódio e exercício intermitente*”; “*metabolic alkalosis and exercise*” e “*alcalose metabólica e exercício*”; “*metabolic acidosis and fatigue*” e “*acidose metabólica e fadiga*”; “*H⁺ ions and muscle fatigue*” e “*íons H⁺ e fadiga muscular*”. Foram incluídos nessa revisão artigos completos, sendo eles artigos experimentais, metaanálises e artigos de revisão, publicados até dezembro de 2012, na língua inglesa e portuguesa. Trabalhos que realizaram a combinação de NaHCO_3 com outros suplementos (caféina e citrato de sódio) também foram analisados (PRUSCINO *et*

al., 2008; CARR *et al.*, 2011a; KILDING, OVERTON & GLEAVE, 2012), porém, apenas os resultados do NaHCO₃ isoladamente, ou a combinação com citrato de sódio (por também ser alcalina) foram levados em consideração. Foram excluídos os artigos que não tinham os termos utilizados na busca como objeto principal de estudo e artigos incompletos.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Na primeira busca foram encontrados 137 artigos com potencial de inclusão. Deste total, 41 artigos foram excluídos após a leitura dos títulos. Com a leitura dos resumos, mais 18 artigos foram excluídos, restando 78 artigos para fazer parte dessa revisão. Desse total, 67 são artigos experimentais, 10 artigos de revisão e 1 artigo de metaanálise.

Acidose metabólica e fadiga

Durante a realização de exercícios intermitentes de alta intensidade, uma grande demanda de energia advinda da glicólise anaeróbia é necessária para a ressíntese de ATP. Em atividades intensas com duração de aproximadamente seis segundos, a maior parte do ATP produzido é fornecido pela degradação da creatina fosfato (PC), sendo o restante do exercício altamente dependente da glicólise anaeróbia (GAITANOS *et al.* 1993). As altas taxas de hidrólise de ATP e glicólise durante a realização de exercícios de alta intensidade, produzem metabolitos como os íons H⁺, fosfato inorgânico (Pi) e ADP que podem ser prejudiciais ao mecanismo de contração muscular. Nesse sentido, os íons H⁺ é o metabolito que mais desperta a atenção da comunidade científica, haja vista a quantidade de publicações a esse respeito (para revisão, FITTS, 2008). A alta taxa de glicólise leva a um aumento da concentração de íons H⁺ na célula (excedendo 300 a 400 mmol/L), reduzindo o pH do meio intramuscular de 7,0 (estado de repouso) para até 6,4 durante atividades intensas (HERMANSEN & OSNES, 1972), o que ocasionaria a diminuição acentuada de enzimas envolvidas no processo contrátil da musculatura esquelética e na produção de ATP

(DEBOLD, BECK & WARSHAW, 2008; KOWALCHUCK & SCHEUERMANN, 1995; MAINWOOD & RENAUD, 1985).

Um dos possíveis agravantes de fadiga em condição de baixo pH, é a redução do cálcio livre disponível para o processo contrátil, e isso ocorre em função da diminuição do retorno do cálcio (Ca^{2+}) para a cisterna do retículo sarcoplasmático (CHIN & ALLEN, 1997). Para que o cálcio retorne ao retículo, é necessária a presença de ATP, principalmente próximo a banda I (local da cisterna do retículo sarcoplasmático), e em situação de acidose, e a consequente diminuição na capacidade de produção de ATP ocorre uma queda na capacidade de reabsorção do Ca^{2+} (CHIN & ALLEN, 1997). Segundo Chin e Allen (1997), mesmo que dificilmente os níveis de ATP diminuam mais do que 30 a 50% dos valores de repouso, na célula como um todo, as concentrações de glicogênio e ATP próximas ao retículo sarcoplasmático podem ter uma diminuição muito mais drástica. Em alta concentração no sarcoplasma, o Ca^{2+} tende a ligar-se ao P_i , formando fosfato de cálcio (CaHPO_4), diminuindo a quantidade de cálcio livre disponível para a contração muscular (FULCERI *et al.*, 1993; CHIN & ALLEN, 1998; LAVER, LENZ & DULHUNTY, 2001; DUTKA, COLE & LAMB, 2005). Apesar disso, a precipitação do cálcio não é totalmente prejudicial para o mecanismo contrátil, isso porque ele estimula a reabsorção de cálcio para dentro do retículo sarcoplasmático. O aumento da quantidade de cálcio livre no retículo sarcoplasmático, caso o P_i não estivesse presente, poderia resultar em queda na reabsorção desse íon na zona de ligação actina-miosina, aumentando o risco de toxicidade intracelular (LANNERGREN, WESTERBLAND, 1991; FRYER *et al.*, 1995).

Outro importante aspecto relacionado à queda do pH é a diminuição na atividade de enzimas responsáveis pela glicólise. Por exemplo, a acidose metabólica pode inibir a transformação da enzima glicogênio fosforilase do tipo *b* (não fosfatada), para a sua forma mais ativa *a*. Isso ocorre porque a glicogênio fosforilase só pode ser fosfatada pelo P_i na sua forma monoprotônada, e em condições de acidose metabólica, há predominância de P_i diprotônado, com isso a fosforilação, e consequentemente a atividade da glicogênio fosforilase, fica comprometida (CHASIOTIS, HULTMAN & SAHLIN, 1983).

A inibição da enzima fosfofrutoquinase (PFK) em condição de acidose metabólica é um dos aspectos relatados na literatura (FITTS, 1994; RAYMER *et al.*, 2004). A inibição dessa enzima impede a degradação de glicose-6-fosfato até piruvato, e com isso, diminui a ressíntese de ATP. Além disso, a queda do pH também pode exercer importante influência sobre o potencial de ação da célula muscular. Isso porque, em situação de acidose metabólica, parece ocorrer diminuição de atividade da enzima Na⁺-K⁺-ATPase, diminuindo o retorno do potássio (K⁺) para o interior da célula, e conseqüentemente, o potencial de ação da fibra muscular (CAIRNS & LINDINGER, 2008; CLAUSEN & EVERTS, 1991; LEPPIK *et al.*, 2004). A queda da atividade dessa enzima pode ocorrer em virtude da diminuição de ATP disponível, ocasionando uma queda na excitabilidade das fibras musculares (JUEL, 2007; CLAUSEN *et al.*, 2003; DUTKA & LAMB, 2007).

Apesar dos diversos estudos terem constatados os efeitos deletérios da queda do pH sobre o desempenho muscular, ainda permanece incerto o quanto a acidose metabólica pode influenciar nesse mecanismo (SPRIET *et al.* 1987 e 1989; FITTS, 2008; MESSONNIER *et al.*, 2006). Em estudo realizado com fibra muscular de ratos *in vitro*, Pate *et al.* (1995) relatam que o impacto da diminuição do pH, e a conseqüente acidose metabólica, só teria influência negativa no mecanismo contrátil da musculatura esquelética em temperaturas baixas das condições fisiológicas (< 30°C). Da mesma forma, Bruton, Lannergren e Westerbland (1998) constataram que a acidose em fibras musculares isoladas de ratos não resultou em maior fadiga durante repetida estimulação tetânica a 28°C. No entanto, em um estudo mais recente conduzido por Knuth *et al.* (2006) foi encontrado uma diminuição no pico de força de 12% nas fibras de contração lenta e de 11% nas fibras de contração rápida de ratos em condições de pH de 6.2 a temperatura de 30°C. Os autores destacam que mesmo em temperaturas próximas das condições fisiológicas, a queda do pH pode influenciar negativamente a contração muscular (KNUTH *et al.*, 2006). Embora evidências científicas tenham constatado que o impacto da queda do pH intramuscular sobre o mecanismo contrátil e de produção de ATP não é tão grande quanto se pensava, não se pode negligenciar a relação entre acidose metabólica e queda no desempenho, tendo em vista os inúmeros estudos que relataram aumento no

desempenho muscular após a ingestão de substância alcalina (BISHOP *et al.* 2004 e 2005; EDGE *et al.* 2006; PRICE *et al.*, 2003).

Mecanismo de ação do bicarbonato de sódio (NaHCO₃)

Um dos principais sistemas controladores da relação ácido - base do organismo é exercido pelo tamponamento do bicarbonato (HCO₃⁻) presente na corrente sanguínea. O efluxo de íons H⁺ do músculo para o sangue causado pelo aumento na concentração de bicarbonato (HCO₃⁻) através do consumo de NaHCO₃, diminui a quantidade de H⁺ íons na musculatura, e conseqüentemente a FMA (COSTILL *et al.*, 1984; HOOD *et al.*, 1988). Uma vez que a membrana intracelular é impermeável ao HCO₃⁻ (COSTILL *et al.*, 1984), o controle do pH se dá pelo efluxo dos íons H⁺ do músculo para o sangue. O aumento da contração de íons H⁺ dentro do músculo durante o exercício, e a diminuição desses íons no sangue com o consumo de NaHCO₃, desencadeia a difusão (efluxo) de íons H⁺ do músculo. Os íons H⁺ reagem com HCO₃⁻, formando H₂CO₃ (ácido carbônico), que por sua vez se dissocia em H₂O e CO₂, como exemplificado na equação abaixo:



Diversos estudos tem constatado aumento no HCO₃⁻ plasmático em torno de aproximadamente 5,5 a 6,5 mmol·L⁻¹ de sangue, seguido pelo aumento do pH (~0,6), com o consumo de 0,3 a 0,4 g de NaHCO₃ por quilo de peso corporal (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; PRUSCINO *et al.*, 2008; HOLLIDGE-HORVAT *et al.*, 2000). Stephens *et al.* (2002) também observaram que, paralelamente a redução da concentração dos íons H⁺ extracelular, ocorreu também a queda desse íon dentro da célula muscular. Isso indica que apesar da membrana intracelular ser impermeável ao HCO₃⁻, o aumento plasmático dessa substância é altamente eficaz no efluxo dos íons H⁺, e na manutenção do pH intracelular. Outro aspecto interessante relatado em alguns estudos é a modulação iônica aumentada com o consumo do NaHCO₃ e o conseqüente aumento do pH SIEGLER *et al.*, 2010a; STREET *et al.*, 2005; SOSTARIC *et al.*, 2006. A diminuição dos íons H⁺ circulante e o aumento do pH com o consumo de NaHCO₃

parece melhorar o retorno do potássio (K^+) para o interior da fibras muscular, provavelmente pelo aumento da atividade da bomba $Na^+-K^+-ATPase$, mantendo a excitabilidade celular (SIEGLER *et al.*, 2010a; STREET *et al.*, 2005; SOSTARIC *et al.*, 2006; ALLEN, 2004).

Bicarbonato de sódio e exercícios intermitentes

A suplementação com substância alcalina tem sido amplamente estudada, principalmente em exercícios de alta intensidade (IBANEZ *et al.*, 1995; BISHOP *et al.*, 2004 e 2005; EDGE *et al.*, 2006; SIEGLER *et al.*, 2010a). Apesar de diversos estudos apontarem para o efeito ergogênico dessas substâncias, outros relataram resultados contraditórios (PARRY-BILLINGS & MACLAREN, 1986; ZABALA *et al.*, 2008 e 2011), o que pode explicar a baixa utilização dessas substâncias por parte dos atletas (REQUENA *et al.*, 2005).

O $NaHCO_3$ e o citrato de sódio são as substâncias que despertam mais interesse da comunidade científica na atualidade. Em um interessante estudo, Van Montfoort *et al.* (2004) compararam o desempenho em teste de corrida de alta intensidade com velocidade fixa até a exaustão (1-2 minutos) após a ingestão $NaHCO_3$, citrato de sódio, lactato de sódio ou placebo. Esses autores encontraram maior aumento no desempenho com a ingestão de $NaHCO_3$ (82,3 segundos, contra 80,2; 78,2 e 77,4, do lactato, citrato e placebo respectivamente). Apesar do pH e HCO_3^- serem maiores após a suplementação com citrato, isso não resultou em melhora do desempenho com o consumo dessa substância. Uma possível explicação para isso é que o citrato tem efeito inibitório sobre a fosfofrutoquinase, o que conseqüentemente inibe a formação de ATP pela via glicolítica (HORSWILL, 1995). Em uma recente metaanálise, Carr *et al.* (2011b) também constataram uma maior eficiência do $NaHCO_3$ em comparação com contra substância alcalina (citrato de sódio) e uma substância acida (cloreto de amônio), podendo esse suplemento aumentar a performance em aproximadamente 2% em exercícios de alta intensidade e com duração próxima a 1 minuto.

Alguns trabalhos têm constatado o aumento no desempenho em atividades intermitentes após o consumo de $NaHCO_3$, especialmente em exercícios com

predominância anaeróbia (ZINNER *et al.*, 2011; SIEGLER *et al.*, 2010a; PEART *et al.*, 2012). Zinner *et al.*, (2011) encontraram aumento na potência média em 4 testes máximos de 30 segundos em bicicleta ergométrica, seguidos por 5 minutos de repouso, após a suplementação de 0,3 g/kg de NaHCO₃. Da mesma forma, Pruscino *et al.*, (2008) observaram que a queda no desempenho em duas séries de 200 metros de nado livre contra o relógio (com 30 minutos de intervalo) foi menor após o consumo de NaHCO₃ isoladamente, ou combinado com cafeína. Segundos os autores desses dois estudos, o efluxo de íons H⁺ causado pelo aumento do HCO₃⁻ sanguíneo e a consequente diminuição do pH intramuscular, foram os responsáveis pelo aumento (manutenção) do desempenho (ZINNER *et al.*, 2011; PRUSCINO *et al.*, 2008).

Em contrapartida, Zabala *et al.* (2011) não encontraram aumento na potência média e potência de pico em três testes de Wingate, com intervalo de 15 minutos entre eles, mesmo com um aumento substancial do HCO₃⁻ e do pH sanguíneo após a ingestão de NaHCO₃. Segundos os autores, talvez o tipo de teste utilizado e o grande período de intervalo entre os testes, não tenham induzido a uma grande produção de íons H⁺, e que esforços intermitentes de intervalos mais curtos se beneficiariam mais com a suplementação de NaHCO₃. Esse resultado corrobora com outros estudos que também utilizaram protocolos de testes constantes (VANHATALO *et al.*, 2010; ROSBERG *et al.*, 2005; PARRY-BILLINGS & MACLAREN, 1986). Apesar de algumas evidências apontarem para o benefício da suplementação de NaHCO₃ durante a realização de exercícios intermitentes, poucos estudos buscaram analisar os efeitos desse suplemento nesse tipo de tarefa.

Em um desses estudos, Artioli *et al.* (2006) também não encontraram aumento no desempenho em três simulações de luta de judô (cinco minutos), seguidos por 15 minutos de recuperação passiva, após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO₃. Segundo os autores, apesar do teste utilizado apresentar uma grande validade ecológica, ele pode não ter sensibilidade para detectar mudança no desempenho, além disso, o baixo número de atletas pode ter influenciado os resultados. Em outro estudo Bishop *et al.* (2004) encontraram aumento no trabalho total e no pico de potência em mulheres, durante sprints repetidos (5 x 6 segundos, com 30 segundos de pausa) em ciclo ergômetro para membros

inferiores, após a suplementação com 0,3 g/kg de NaHCO₃. Resultados semelhantes foram encontrados pelo mesmo autor em sete dos 18 sprints em ciclo ergômetro de quatro segundos (com 100 segundos de recuperação ativa) com a suplementação de duas doses de 0,2 g/kg de NaHCO₃ (total de 0,4 g/kg) (BISHOP & CLAUDIUS, 2005). Interessante notar que o aumento na performance ocorreu na segunda metade do teste, quando a acidose foi mais acentuada. Da mesma forma, Lavender *et al.* (1989) também encontraram maior potência média e potência de saída em oito de 10 sprints de 10 segundos em ciclo ergômetro (50 segundos de pausa). Segundo os autores, diferença na potência média entre NaHCO₃ e placebo foi aumentando a medida em que o teste se encaminhava para final.

Artioli *et al.* (2007), ao estudar o efeito do NaHCO₃ sobre o desempenho de judocas, também encontraram resultados semelhantes aos estudos supracitados. O estudo foi realizado com atletas de judô, que realizaram três séries de um teste intermitente específico para esse esporte, com cinco minutos de pausa, e quatro séries do teste de Wingate (três minutos de pausa). Foi observado aumento no desempenho nas séries dois e três, além de um aumento na potência de pico nas séries três e quatro e potência média na série quatro do teste de Wingate.

Uma possível explicação para esse aumento do desempenho da metade para o final do teste pode ser o tempo de oferta do NaHCO₃. Bishop e Claudius (2005) observaram que o pico de HCO₃⁻ foi atingido na metade dos testes, o que possivelmente pode ter aumentado a capacidade de tamponamento e diminuindo a fadiga apenas do meio para o final dos testes. Com exceção de Bishop *et al.* (2004), que ofertaram o NaHCO₃ em um único momento (90 minutos antes do teste), os outros estudos citados dividiram a dosagem. Artioli *et al.* (2007) ofertaram o NaHCO₃ em sete doses (totalizando 0,3 g/kg), dentro de um período de 90 minutos, sendo a última dose a 30 minutos antes dos testes. Da mesma forma, Bishop e Claudius (2005) utilizaram duas doses de NaHCO₃ a 90 e 20 minutos antes dos testes. Considerando que o pico de HCO₃⁻ ocorre entre 120 a 60 minutos após a ingestão (CARR *et al.*, 2011b; BISHOP *et al.*, 2004), os testes realizados nos três estudos podem ter começado sem que ocorresse o pico de HCO₃⁻ no sangue, possivelmente ocorrendo no meio do teste (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; CARR *et al.*, 2011c).

Assim como nos estudos anteriores, Price, Moss e Rance (2003) também observaram aumento na potência média com o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO₃ durante a realização de protocolo de teste intermitente, composto por 10 séries de três minutos de exercício em cicloergometro (90 s a 40% do VO_{2máx}, 60 s a 60% do VO_{2máx} e 14 s de sprint máximo), com 16 segundos de intervalo ativo. Interessante observar que nesse estudo os sujeitos apresentaram aumento ou manutenção na potência máxima nos sprints na primeira metade do teste na situação NaHCO₃. Já na situação placebo, esses mesmos sujeitos apresentaram redução na potência. Esses resultados, diferem do encontrado por Bishop e Claudius (2004), Bishop *et al.* (2005) e Artioli *et al.* (2007), uma vez que esses autores observaram aumento na performance do meio para o final do teste. Uma possível explicação para a divergência é o tempo de consumo do suplemento, já que Price *et al.* (2003) ofertaram o NaHCO₃ 60 minutos antes do início do teste, contra 30 e 20 minutos da última dose oferecida por Artioli *et al.* (2007) e Bishop *et al.* (2004), respectivamente. Sendo assim, os sujeitos podem ter começado o teste no estudo de Price *et al.* (2003) com maiores valores de HCO₃⁻ e pH sanguíneo.

Corroborando esses achados, Wu *et al.* (2010) observaram aumento na performance em teste intermitente específico para tenistas, após a suplementação com NaHCO₃. Importante destacar que os testes aplicados nesse estudo mensuraram aspectos técnicos específicos desse esporte (número de acerto no serviço, *backhand*, *forehand* e voleio). Da mesma forma, Siegler *et al.* (2010b) também observaram aumento no número de golpes de boxeadores, suplementados com NaHCO₃. Segundo esses autores, a manutenção da transmissão dos impulsos nervosos via sistema nervoso central, e o aumento da contratilidade da fibra muscular causados pela diminuição da acidose, podem ser os responsáveis pelo aumento na eficiência de deslocamento e efetividade dos golpes desses tenistas e boxeadores. Essa hipótese também é apoiada por Hunter *et al.* (2009) que observaram maior atividade eletromiográfica em três contrações voluntária máximas de sete segundos (com 50 segundos de intervalo) do quadríceps após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO₃. Entretanto, alguns estudos que buscaram investigar a influência da acidose metabólica sobre a contratilidade muscular, não observaram influência significativa da queda do pH

sobre esses mecanismos, principalmente em condições fisiológicas (PATE *et al.*, 1995; MATSUURA *et al.* 2007).

Em contraste com esses resultados, Tan *et al.* (2010) não observaram aumento no desempenho em teste intermitente especificamente desenvolvido para atletas de polo aquático, após o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO₃, mesmo com o significativo aumento do pH e HCO₃⁻ sanguíneo. O teste consistia em oito blocos de cinco minutos de exercícios variados, como natação (intensidade moderada e sprints de 10 metros), passes longos e curtos, saltos e fuga da marcação do adversário, seguido por um período de intervalo de três e cinco minutos entre os blocos. Segundo os autores talvez a melhora no desempenho não tenha ocorrido em razão do protocolo realizado não causar acidose acentuada. Essa justificativa está de acordo com o relatado por Carr *et al.* (2011b), onde foi constatado um maior efeito ergogênico em atividade de alta intensidade com duração aproximada de um minuto.

NaHCO₃ e sintomas gastrointestinais

Um dos problemas na interpretação dos resultados dos estudos envolvendo o NaHCO₃ é a variedade metodológica utilizada, principalmente quanto ao tempo de oferta e quantidade de doses do suplemento. Em relação aos exercícios intermitentes, principalmente em atividades esportivas de curta duração, é importante ofertar o suplemento de modo que esses atletas atinjam o pico de HCO₃⁻ plasmático durante o exercício, e evitem (ou diminuam) os possíveis distúrbios gastrointestinais (GI) que possam prejudicar o desempenho.

Os distúrbios GI são frequentemente associados ao consumo de NaHCO₃. No entanto, estudos revelam que esse desconforto está ligado à forma e à quantidade de NaHCO₃ ingerida (McNAUGHTON, 1992; STEPHENS *et al.*, 2002; VAN MONTFOORT *et al.*, 2004; CARR *et al.*, 2011c). Carr *et al.* (2011c) investigaram o desconforto gastrointestinal em nove diferentes protocolos de suplementação de NaHCO₃ (total de 0,3 g/kg de peso corporal), com variação na quantidade de água ingerida (7 ou 14 ml/kg de peso corporal), na combinação com citrato de sódio ou lanche contendo 1,5 g de carboidrato (CHO) por kilo de peso corporal, tempo de ingestão diferentes (15 ou 30 min. de intervalo) e formas

diferentes de suplementação (cápsula ou solução). A coleta das variáveis sanguíneas e de desconforto GI foi realizada antes de suplementação, e a cada 30 minutos após a ingestão da última dose do suplemento, sendo a primeira a 30 e a última a 240 minutos. Os autores constataram que o maior desconforto GI ocorreu a 90 minutos após a suplementação de NaHCO_3 ingerido em dose única, dissolvido em baixo volume de água (7 ml/kg de peso corporal). O menor desconforto GI foi relatado com a ingestão de NaHCO_3 em cápsulas a cada 15 minutos (três doses), consumido com 7 ml/kg corporal de água, com o consumo prévio de um lanche com CHO. Além disso, a suplementação junto com o lanche de CHO resultou em valores mais elevados de HCO_3^- e pH sanguíneo. Apesar dos resultados observados, o estudo não avaliou o desempenho, e deste modo não podemos saber se o desconforto GI ocorrido seria suficiente para afetar negativamente o desempenho desses sujeitos.

Como supracitado, uma das principais causas dos distúrbios causados pela ingestão de NaHCO_3 é a sua forma de consumo. Assim como Carr *et al.* (2011c), outros estudos também relataram transtornos GI como o consumo de NaHCO_3 dissolvido em água (CAMERON *et al.*, 2010; PRICE *et al.*, 2003). Entre os desconfortos relatados por Cameron *et al.* (2010), os mais comuns são náuseas, dor de estômago, flatulências, diarréias e vômitos. Esses efeitos adversos encontrados por Cameron *et al.* (2010) podem ter sido os principais responsáveis pela não melhora do desempenho em teste de sprint específico para jogadores de rugby. Apesar dos resultados encontrados por Carr *et al.* (2011c) e Cameron *et al.* (2010), a maior parte dos estudos não encontraram diferença significativa no desconforto GI após a suplementação com NaHCO_3 comparado ao placebo, quando utilizado a dosagem recomendada pela literatura (0,3 g/kg por peso corporal) (JOYCE *et al.*, 2011; KILDING, OVERTON & GLEAVE, 2012; KOZAC-COLLINS *et al.*, 1994; TAN *et al.*, 2010). Entretanto, Van Montfoort *et al.* (2004) observaram que apesar do maior desconforto GI com o consumo de NaHCO_3 em comparação com citrato de sódio, o desempenho também foi maior. Esses resultados corroboram outros estudos que indicam que talvez o desconforto não tenha um impacto tão significativo sobre o desempenho (JOYCE *et al.*, 2011; KILDING *et al.*, 2012).

A quantidade de NaHCO_3 consumida também parece ter grande impacto sobre o distúrbio GI. McNaughton (1992) ao comparar o efeito de diferentes doses de NaHCO_3 (100, 200, 300, 400 e 500 mg), observou que com o consumo de 300 mg, os atletas obtiveram maior potência de pico e trabalho total, além de menor distúrbio GI comparados a doses mais alta. Além disso, grande parte dos estudos tem observado efeito benéfico sobre o desempenho e menores desconforto GI em doses que variam de 0,3 a 0,4 g/kg de peso corporal (BISHOP & CLAUDIUS, 2005; MATSON & TRAN, 1993; EDGE *et al.*, 2006). De fato, a concentração de HCO_3^- e o aumento no pH sanguíneo são muito semelhantes quando consumido 0,3 ou 0,4 g/kg corporal de NaHCO_3 , e doses acima dessas parece não oferecer benefícios adicionais, além de aumentarem a possibilidade de distúrbios GI (McNAUGHTON, 1992). Carr *et al.* (2011c) constataram um aumento de $6,6 \text{ mmol/L}^{-1}$ na concentração de HCO_3^- plasmático com o consumo de 0,3 g/kg de NaHCO_3 , resultado semelhante ao encontrado por Bishop & Claudius (2005) com a suplementação de duas doses contendo 0,2 g/kg de NaHCO_3 (0,4 g/kg no total).

Apesar dos relatos de sintomas GI com o consumo de NaHCO_3 , poucos estudos buscaram investigar os distúrbios GI através da utilização de questionários específicos, como utilizado por Jeukendrups *et al.* (2002) e Bovenschen *et al.* (2006), o que justifica a realização de mais estudos para esclarecer esses aspectos.

Sugestão de consumo do NaHCO_3

Com base no levantamento bibliográfico realizado, apresentamos abaixo sugestões para o consumo de NaHCO_3 (Tabela 1), com objetivo de maximizar o efeito ergogênico desse suplemento, bem como evitar, ou diminuir os possível distúrbios GI.

Tabela 1 - Recomendações sobre o consumo de NaHCO_3

Tempo de consumo antes do início do exercício	120 a 60 minutos
Dosagem	0,3 a 0,4 g/kg corporal no total divididas em 2 ou 3 doses
Intervalo entre as doses	15 a 30 minutos
Forma de consumo	Cápsulas consumidas com água

CONCLUSÃO

Com base na literatura revisada, pode-se concluir que o aumento do efluxo de ions H^+ do músculo para o sangue, e a consequente manutenção do equilíbrio acido-base intramuscular ocasionado pela suplementação de $NaHCO_3$, pode melhorar a performance em exercícios intermitentes de alta intensidade. O uso de altas dose de $NaHCO_3$ ($> 0,4$ g/kg) parece promover maior distúrbio gastrointestinal, além de não resultar benefícios adicionais ao desempenho. O distúrbio GI pode ser agravado pelo consumo do $NaHCO_3$ diluído em líquido (água ou bebida de baixas calorias), e consumida em uma única dose, sendo recomendado o seu uso em cápsulas e divididas em doses iguais, a cada 15 ou 30 minutos. O consumo de 1,5 g/kg de CHO ingeridos junto com a primeira dose de $NaHCO_3$ parece diminuir o distúrbio GI e aumentar a concentração plasmática de HCO_3^- e o pH, no entanto, ainda não é clara se esse estratégia pode resultar em aumento do desempenho. Em exercícios intermitentes de curta duração, é recomendado que a última dose do suplemento seja ingerido a 60 minutos antes do início da atividade, já que o pico de HCO_3^- e pH ocorrem durante esse período.

REFERÊNCIAS

- ADROGUÉ, H.E., ADROGUÉ, H.J. Acid-base physiology and disorders. *Respiratory Care*. 46(4), 328-341, 2001.
- ALLEN, D.G. Skeletal muscle function: role of ionic changes in fatigue, damage and disease. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 31(8):485-93, 2004.
- ALLEN, D.G., LAMB, G.D., WESTERBLAD, H. Impaired calcium release during fatigue. *J Appl Physiol*. 104: 296–305, 2008.
- ARTIOLI, G.G., COELHO, D.F., BENATTI, F.B., GAILEY, A.C., GUALANO B., LANCHÁ JUNIOR, A.H. A ingestão de bicarbonato de sódio pode contribuir para o desempenho em lutas de judô? *Rev Bras Med Esporte*. 12, (6), 2006.
- ARTIOLI, G.G., GUALANO, B., COELHO, D.F., BENATTI, F.B., GAILEY, A.W., LANCHÁ JR, AH. Does sodium-bicarbonate ingestion improve simulated judo performance? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 17: 206-217, 2007.
- BISHOP, D., CLAUDIUS, B. Effects of induced metabolic alkalosis on prolonged intermittent-sprint performance. *Med Sci Sports Exercise*. 37:759-767, 2005.

BISHOP, D., EDGE, J., DAVIS, C., GOODMAN, C., Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exercise*. 36:807-813, 2004.

BOVENSCHEN, H.J., JANSSEN, M.J., OIJEN, M.G., LAHEIJ, R.J., ROSSUM, L.G., JANSEN, J.B. Evaluation of a gastrointestinal symptoms questionnaire. *Dig Dis Sci*. 51:1509–1515, 2006.

BRUTON, J.D., LÄNNERGREN, J., WESTERBLAD, H. Effects of CO₂-induced acidification on the fatigue resistance of single mouse muscle fibers at 28 degrees C. *J Appl Physiol*. 85(2):478-83. 1998.

CAIRNS, S.P., LINDINGER, M.I. Do multiple ionic interactions contribute to skeletal muscle fatigue? *J Physiol*. Sep 1;586 (Pt 17):4039-54, 2008.

CAMERON, S.L., MCLAY-COOKE, R.T., BROWN, R.C., GRAY, A.R., FAIRBAIRN, K.A. Increased blood pH but not performance with sodium bicarbonate supplementation in elite rugby union players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 20: 307-321, 2010.

CARR, A.J., GORE, C.G., DAWSON, B. Induced alkalosis and caffeine supplementation: Effects on 2,000-m rowing performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 21, 357 -364, 2011a.

CARR, A.J., HOPKINS, W.G., GORE, C.G. Effects of acute alkalosis and acidosis on performance: A Meta-Analysis. *Sports Med*. 41(10); 801-814, 2011b.

CARR, A.J., SLATER, G.J., GORE, C.J., DAWSON, B., BURKE, L.M. Effect of sodium bicarbonate on [HCO₃⁻], pH, and gastrointestinal symptoms. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 21, 189-194, 2011c.

CHASIOTIS, D., HULTMAN, E., SAHLIN, K. Acidotic depression of cyclic amp accumulation and phosphorylase *b* to *a* transformation in skeletal muscle of man. *J Physiol*. 335: 197-204, 1983.

CHIN, E.R., ALLEN, D.G. The contribution of pH-dependent mechanisms to fatigue at different intensities in mammalian single muscle fibres. *J Physiol*. 512 (3):831-40, 1998.

CLAUSEN, T. Na⁺-K⁺ pump regulation and skeletal muscle contractility. *Physiol Rev*. 83: 1269–1324, 2003.

CLAUSEN T., EVERTS M.E. K⁺-induced inhibition of contractile force in rat skeletal muscle: role of active Na⁺-K⁺ transport. *Am J Physiol Cell Physiol*. 261, 799–807, 1991.

COSTILL, D.L., VERSTAPPEN, F., KUIPERS, H., JANSSEN, E., FINK, W. Acid base balance during repeated bouts of exercise: influence of HCO₃. *Int J Sports Med*. 5: 228–231, 1984.

DEBOLD, E.P., BECK, S.E., WARSHAW, D.M. Effect of low pH on single skeletal muscle myosin mechanics and kinetics. *Am J Physiol Cell Physiol.* 295(1), 2008.

DEBOLD, E.P., LONGYEAR, T.J., TURNER, M.A. The effects of phosphate and acidosis on regulated thin-filament velocity in an in vitro motility assay. *J Appl Physiol.* 113(9):1413-22, 2012.

DUTKA, T.L., COLE, L., LAMB, G.D. Calcium phosphate precipitation in the sarcoplasmic reticulum reduces action potential-mediated Ca^{2+} release in mammalian skeletal muscle. *Am J Physiol Cell Physiol.* 289: 1502–1512, 2005.

DUTKA, T.L., LAMB, G.D. Na^+ - K^+ pumps in the transverse tubular system of skeletal muscle fibers preferentially use ATP from glycolysis. *Am J Physiol Cell Physiol.* 293: 967–977, 2007.

EDGE, J., BISHOP, D., GOODMAN, C. Effects of chronic NaHCO_3 ingestion during interval training on changes to muscle buffer capacity, metabolism, and short-term endurance performance. *J Appl Physiol.* 101: 918–925, 2006.

FITTS, R.H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. *Physiological Reviews.* 74: 49-93, 1994.

FITTS, R.H. The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *J Appl Physiol.* 104: 551–558, 2008.

FRYER, M.W., OWEN, V.J., LAMB, G.D., STEPHENSON, D.G. Effects of creatine phosphate and P_i on Ca^{2+} movements and tension development in rat skinned skeletal muscle fibres. *J Physiol.* 482: 123–140, 1995.

FULCERI, R., BELLOMO, G., GAMBERUCCI, A., ROMANI, A., BENEDETTI, A. Physiological concentrations of inorganic phosphate affect MgATP-dependent Ca^{2+} storage and inositol trisphosphate-induced Ca^{2+} efflux in microsomal vesicles from non-hepatic cells. *Biochem J.* 289: 299–306, 1993.

GAITANOS, G.C., WILLIAMS, C., BOOBIS, L.H., BROOKS, S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.* 75: 712-719, 1993.

HERMANSEN, L., OSNES, J. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol.* 32: 304–308, 1972.

HOLLIDGE-HORVAT, M.G., PAROLIN, M.L., WONG, D., JONES, N.L., HEIGJENHAUSER, G.J. Effect of induced metabolic alkalosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am J Physiol.* 278: 316-329, 2000.

HOOD, V.L., SCHUBERT, C., KELLER, U, MULLER, S. Effect of systemic pH on pH_i and lactic acid generation in exhaustive forearm exercise. *Am J Physiol.* 255: 479–485, 1988.

HORSWILL, C.A. Effects of bicarbonate, citrate and phosphate loading on performance. *Int J Sport Nutr.* 5: 111-119, 1995.

HUNTER, A.M., de VITO, G., BOLGER, C., MULLANY, H., GALLOWAY, S.D.R. The effect of induced alkalosis and submaximal cycling on neuromuscular response during sustained isometric contraction. *Journal of Sports Sciences*, October. 27(12): 1261–1269, 2009.

IBANEZ, J., PULLINEN, T., GOROSTIAGA, E., POSTIGO, A., MERO, A. Blood lactate and ammonia in short-term anaerobic work following induced alkalosis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* 35(3): 187–193, 1995.

JEUKENDRUP, A.E., VET-JOOP, K., STURK, A., STEGEN, J.H.J.C., SENDEN, J., SARIS, W.H.M., WAGENMAKERS, A.J.M. Relationship between gastrointestinal complaints and endotoxaemia, cytokine release and the acute-phase reaction during and after a long-distance triathlon in highly trained men. *Clin Sci.* 98(1): 47–55, 2000.

JOYCE, S., MINAHAN, C., ANDERSON, M., OSBORNE, M. Acute and chronic loading of sodium bicarbonate in highly trained swimmers. *Eur J Appl Physiol.* 112(2): 461-469, 2011.

JUEL, C. Changes in interstitial K⁺ and pH during exercise: implications for blood flow regulation. *Appl Physiol Nutr Metab.* 32(5):846-51, 2007.

KILDING, A.E., OVERTON, C., GLEAVE, J. Effects of caffeine, sodium bicarbonate and their combined ingestion on high-intensity cycling performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism.* 22: 175 -183, 2012.

KNUTH, S. T., DAVE, H., PETERS, J.R., FITTS, R.H. Low cell pH depresses peak power in rat skeletal muscle fibres at both 30 °C and 15 °C: implications for muscle fatigue. *J Physiol.* 575 (3): 887–899, 2006.

KOWALCHUCK, J.M., SCHEUERMANN, B.W. Acid-base balance: Origin of plasma [H⁺] during exercise. *Can J Appl Physiol.* 20: 341-356, 1995.

KOZAC-COLLINS, K., BURKE, E.R., SCHOENE, R. Sodium bicarbonate ingestion does not improve performance in women cyclists. *Med Sci Sports Exercise.* 26(12): 1510-1515, 1994.

LÄNNERGREN, J., WESTERBLAD, H. Force decline due to fatigue and intracellular acidification in isolated fibres from mouse skeletal muscle. *J Physiol.* 434:307-22, 1991.

LAVENDER, D.R., LENZ, G.K.E., DULHUNTY, A.F. Phosphate ion channels in the sarcoplasmic reticulum of rabbit skeletal muscle. *J Physiol.* 537: 763–778, 2001.

LAVENDER, G., BIRD, S.R. Effect of sodium bicarbonate ingestion upon repeated

sprints. *Br J Sports Med.* 23(1): 41-45, 1989.

LEPPIK, J.A., AUGHEY, R.J., MEDVED, I., FAIRWEATHER, I., CAREY, M.F., MCKENNA, M.J. Prolonged exercise to fatigue in humans impairs skeletal muscle Na⁺-K⁺-ATPase activity, sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release, and Ca²⁺ uptake. *J Appl Physiol.* 97: 1414–1423, 2004.

MAINWOOD, G.W., RENAUD, J.M. The effect of acid-base balance on fatigue of skeletal muscle. *Can J Physiol Pharmacol.* 63(5): 403-16, 1985.

MATSON, L.G., TRAN, Z.V. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance: A meta-analytic review. *International Journal of Sport Nutrition.* 3(1): 2–28. 1993.

MATSUURA, R., ARIMITSU, T., KIMURA, T., YUNOKI, T., YANO, T. Effect of oral administration of sodium bicarbonate on surface EMG activity during repeated cycling sprints. *Eur J Appl Physiol.* 101:409–417, 2007.

McNAUGHTON L.R. Bicarbonate ingestion: effects of dosage on 60 s cycle ergometry. *J Sports Sci.* 10: 415–423, 1992.

McNAUGHTON, L.R., SIEGLER, J., MIDGLEY, A. Ergogenic effects of sodium bicarbonate. *Curr Sports Med Rep.* 7, 230 – 236, 2008.

MESSONNIER, L., KRISTENSEN, M., JUEL, C., DENIS, C. Importance of pH regulation and lactate/H⁺ transport capacity for work production during supramaximal exercise in humans. *J Appl Physiol.* 102: 1936–1944, 2006.

METZGER, J.M., MOSS, R.L. pH modulation of the kinetics of a Ca²⁺-sensitive cross-bridge state transition in mammalian single skeletal muscle fibres. *J Physiol.* 428: 751–764, 1990.

PARRY-BILLINGS, M., MACLAREN, D. P. M. The effect of sodium bicarbonate and sodium citrate ingestion on anaerobic power during intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 55: 524-529, 1986.

PATE, E., BHIMANI, M., FRANKS-SKIBA, K., COOKE, R. Reduced effect of pH on skinned rabbit psoas muscle mechanics at high temperatures: implications for fatigue. *J Physiol* 486: 689–694, 1995.

PEART, D.J., KIRK, R.J., HILLMAN, A.R., MADDEN, L.A., SIEGLER, J.C., VINCE, R.V. The physiological stress response to high-intensity sprint exercise following the ingestion of sodium bicarbonate. DOI:10.1007/s00421-012-2419-4, 2012.

PRICE, M., MOSS, P., RANCE, S. Effects of sodium bicarbonate ingestion on prolonged intermittent exercise. *Med Sci Sports Exercise.* 35:1303-1308, 2003.

PRUSCINO, C.L., ROSS, M.L.R., GREGORY, J.R., SAVAGE, B., FLANAGAN, T.R. Effects of sodium bicarbonate, caffeine, and their combination on repeated 200-m freestyle performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 18: 116-130, 2008.

RAYMER, G.H., MARSH, G.D., KOWALCHUK, J.M., THOMPSON, R.T. Metabolic effects of induced alkalosis during progressive forearm exercise to fatigue. *J Appl Physiol*. 96: 2050–2056, 2004.

REQUENA, B., ZABALA, M., PADIAL, P., FERICHE, B. Sodium bicarbonate and sodium citrate: Ergogenic aids? *Journal of Strength and Conditioning Research*. 19(1):213–224, 2005.

ROBERGS, R., HUTCHINSON, K., HENDEE, S., MADDEN, S., SIEGLER, J. Influence of pre-exercise acidosis and alkalosis on the kinetics of acid-base recovery following intense exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 14: 5-74, 2005.

SAHLIN, K., EDSTRÖM, L., SJÖHOLM, H. Fatigue and phosphocreatine depletion during carbon dioxide-induced acidosis in rat muscle. *Am J Physiol*. 245(1):C15-20, 1983.

SIEGLER, J.C., MCNAUGHTON, L.R., MIDGLEY, A.W., KEATLEY, S., HILLMAN, A. Metabolic alkalosis, recovery and sprint performance. *Int J Sports Med*. 31: 797– 802, 2010a.

SIEGLER, J.C., HIRSCHER, K. Sodium bicarbonate ingestion and boxing performance. *J Strength Cond Res*. 24:103-8, 2010b.

SOSTARIC, S.M, SKINNER, S.L, BROWN, M.J, SANGKABUTRA, T., MEDVED, I., MEDLEY, T., SELIG, S.E., FAIRWEATHER, I., RUTAR, D., MCKENNA, M.J. Alkalosis increases muscle K⁺ release, but lowers plasma [K⁺] and delays fatigue during dynamic forearm exercise. *J Physiol* 570:185–205. 2006

SPRIET, L.L., SODERLUND, K., BERGSTROM, M., HULTMAN, E. Skeletal muscle glycogenolysis, glycolysis, and pH during electrical stimulation in men. *J Appl Physiol*. 62: 616-621, 1987.

SPRIET, L.L., LINDINGER, M.I., MCKELVIE, R.S., HEIGENHAUSER, G.J., JONES, N.L. Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol*. 66: 8-13, 1989.

STEPHENS, T.J., M.J. MCKENNA, B.J. CANNY, R.J. SNOW, AND G.K. MCCONELL. Effect of sodium bicarbonate on muscle metabolism during intense endurance cycling. *Med Sci Sports Exercise*. 34: 614-621, 2002.

STREET, D., NIELSEN, J.J., BANGSBO, J., JUEL, C. Metabolic alkalosis reduces exercise-induced acidosis and potassium accumulation in human skeletal muscle interstitium. *J Physiol*. 15;566 (Pt 2):481-9, 2005.

TAN, F., POLGLAZE, T., COX, G., DAWSON, B., MUJIK, I., CLARK, S. Effects of induced alkalosis on simulated match performance in elite female water polo players. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 198-205, 2010.

VAN MONTFOORT, M.C.E., VAN DIJEN, L., HOPKINS, W.G., SHEARMAN, J.P. Effects of ingestion of bicarbonate, citrate, lactate and chloride on sprint running. *Med Sci Sports Exercise*. 36(7): 1239–1243, 2004.

VANHATALO, A., MCNAUGHTON, L.R., SIEGLER, J., JONES, A.M. Effect of induced alkalosis on the power–duration relationship for “all-out” exercise. *Med Sci Sports Exercise*. 42: 563–570, 2010.

WESTERBLAD, H., ALLEN, D.G., LANNERGREN, J. Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News in Physiological Science*, Baltimore. 17: 17-21, 2002.

WU, C-L., SHIH, M-C., YANG, C-C., HUANG, M-H., CHANG, C-K. Sodium bicarbonate supplementation prevents skilled tennis performance decline after a simulated match. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 7:33, 2010.

ZABALA, M., PEINADO, A.B., CALDERÓN, F.J., SAMPEDRO, J., CASTILLO, M.J., BENITO, P.J. Bicarbonate ingestion has no ergogenic effect on consecutive all out sprint tests in BMX elite cyclists. *Eur J Appl Physiol*. 111: 3127–3134, 2011.

ZABALA, M., REQUENA, B., SÁNCHEZ-MUÑOZ, C., GONZÁLEZ-BADILLO, J.J., GARCÍA, I., OOIPIK, V., PAASUKE, M. Effects of sodium bicarbonate ingestion on performance and perceptual responses in a laboratory simulated BMX cycling qualification series. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 22(5): 1645-1653, 2008.

ZINNER, C., WAHL, P., ACHTZEHN, S., SPERLICH, B., MESTER, J. Effects of bicarbonate ingestion and high intensity exercise on lactate and H⁺-ion distribution in different blood compartments. *Eur J Appl Physiol*. 111(8): 1641-1648. 2011.