

Artigo original

Efeitos da suplementação de β -hidroxi- β -metilbutirato na eficiência mecânica em canoístas de elite



H.R. Ferreira^{a,*}, P. Gill^b, J.P. Loures^c, R.R. Oliveira^c, J. Fernandes Filho^d e L.C. Fernandes^b

^a Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa, São Paulo, SP, Brasil

^b Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

^c Academia Brasileira de Canoagem, Curitiba, PR, Brasil

^d Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

INFORMAÇÃO SOBRE O ARTIGO

Historial do artigo:

Recebido a 26 de junho de 2014

Aceite a 19 de fevereiro de 2015

On-line a 6 de setembro de 2016

Palavras-chave:

β -hidroxi- β -metilbutirato

Canoístas

Atletas de elite

R E S U M O

Objetivo: O presente estudo prospectivo, randomizado, duplo-cego e placebo-controlado, verificou o efeito da ingestão de 3 g/dia-1 β -hidroxi- β -metilbutirato sobre os parâmetros da curva força-tempo em canoístas de elite.

Método: Participaram 24 canoístas, homens, de elite, com 21.41 ± 5.35 anos, 173.36 ± 8.27 cm e 69.83 ± 10.29 kg. Formaram-se 2 grupos, um suplementado (HMB) e outro placebo (CON), ambos acompanhados por 14 dias e submetidos a teste máximo de 4 min (pré e pós) num caiaque ergômetro.

Resultados: Apontam melhora na eficiência mecânica em consonância com o aumento significativo do impulso gerado (17.23%, $p=0.02$), da potência média (26.6%, $p=0.01$), frequência de remada (13.5%, $p=0.04$), perante teste máximo de 4 min em ergômetro.

Conclusão: Houve melhora na capacidade de gerar potência, que pode estar associada com a suplementação de β -hidroxi- β -metilbutirato, através da diminuição do catabolismo durante o treinamento; contudo, o mecanismo pelo qual isso pode ocorrer ainda é desconhecido.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Efectos de suplementación del β -hidroxi- β -metilbutirato en rendimiento mecánico en palistas de élite

R E S U M E N

Objetivo: Este estudio aleatorizado, doble ciego prospectivo, controlado y placebo, tubo como objetivo comprobar el efecto de la ingesta de 3 g/día-1 de β -hidroxi- β -metilbutirato en los parámetros de la curva fuerza-tiempo en kayakistas de élite.

Método: Veinticuatro kayakistas, hombres, élite con 21.41 ± 5.35 años, 173.36 ± 8.27 cm y 69.83 ± 10.29 kg. Formado dos grupos, uno suplementado (HMB) y otro placebo (CON), ambos siguieron durante 14 días y sometido a máxima 4 min prueba (pre y post) en un ergómetro kayak.

Resultados: Se apreció una mejora en la eficiencia mecánica en relación con el aumento significativo del impulso generado (17.23% $p=0.02$), la potencia media (26.6% $p=0.01$), frecuencia de carrera (13.5% $p=0.04$) durante una prueba máxima en ergómetro de 4 min.

Conclusión: Hubo una mejora en la capacidad para generar energía, que puede estar asociada con la administración de suplementos de β -hidroxi- β -metilbutirato mediante la reducción de catabolismo durante el entrenamiento, sin embargo, el mecanismo por el que esto puede ocurrir es aún desconocido.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Palabras clave:

β -hidroxi- β -metilbutirato

Kayakistas

Atletas de élite

* Autor para correspondência.

Correio eletrónico: heros.ferreira@canoagem.org.br (H.R. Ferreira).

Effects of supplementation β -hydroxy- β -methylbutyrate in mechanical efficiency in elite paddlers

A B S T R A C T

Keywords:

β -hidroxi- β -metilbutirato
Kayakers
Athletes Elite

Objective: This prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled, checked the effect of the intake of 3 g/day-1 of β -Hidroxi- β -Methylbutyrato on the parameters of the force-time curve in elite kayakers.

Method: 24 paddlers, men, elite with 21.41 ± 5.35 years, 173.36 ± 8.27 cm and 69.83 ± 10.29 kg. Formed two groups, one supplemented (HMB) and another placebo (CON), both followed for 14 days and subjected to maximum test 4 min (pre and post) in a kayak ergometer.

Results: Point improvement in mechanical efficiency in line with the significant increase in the generated pulse (17.23% $p=0.02$), average power (26.6% $p=0.01$), stroke frequency (13.5% $p=0.04$) before maximum test 4 min ergometer.

Conclusion: There was improvement in the ability to generate power, which may be associated with supplementation of β -Hidroxi- β -Methylbutyrato by reducing catabolism during training, however the mechanism by which this may occur is still unknown.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Nair et al.¹ descrevem que o β -hidroxi- β -metilbutirato de cálcio (Ca-HMB) tem relação com a diminuição da degradação proteica em seres humanos, o que sugere que a leucina pode servir como um regulador do metabolismo de proteínas. Da mesma forma, Nissen et al.² demonstraram evidências de que homens e mulheres destreinados, após iniciar um programa de treinamento sistematizado de resistência, apresentaram ganhos de força quando ingeriram doses de $1.5\text{-}3\text{ g/dia}^{-1}$ de Ca-HMB durante 3-4 semanas. Esses ganhos foram associados com a perda significativa pela excreção urinária da enzima muscular 3-methylhistidine, sugerindo a diminuição do catabolismo durante o treinamento.

Vukovich et al.³ relataram que, durante 8 semanas de ingestão com 3 g/dia^{-1} Ca-HMB, houve aumento significativo massa magra; além disso, promoveu aumentos da força de 1 RM em um grupo de homens e mulheres idosos iniciantes de um programa de treinamento.

No mesmo sentido, Panton et al.⁴ observaram que a suplementação de Ca-HMB, durante 8 semanas de treinamento de resistência, aumentou a capacidade funcional em um grupo de idosos. Por sua vez, Gallagher et al.⁵ analisaram os efeitos da suplementação de Ca-HMB (0.38 e $0.76\text{ mg/kg/dia}^{-1}$) durante 8 semanas de treinamento de resistência em um grupo de homens destreinados, e notaram que houve diminuição significativa da excreção de creatina quinase (CK) e aumento de massa magra. Em geral, estes resultados preliminares sugerem que a suplementação com $1.5\text{-}3\text{ g/dia}^{-1}$ de Ca-HMB pode aumentar a massa livre de gordura (MLG) e a força em indivíduos destreinados em um programa de treinamento de resistência.^{6,7} Resultados similares foram encontrados por Ferreira et al.⁸ em canoístas de elite, quando suplementados com 3 g/dia^{-1} de Ca-HMB, que apresentaram um aumento significativo de massa magra e ganho de força associados com o treinamento de resistência.

O candidato a promotor do efeito inibitório é o Ca-HMB, o produto do metabolismo do aminoácido leucina. A partir da transaminação deste aminoácido é formado o α -cetoisocaproato, o qual é parcialmente oxidado em Ca-HMB. O Ca-HMB pode ser encontrado em muitos dos alimentos consumidos, tais como: toranja, peixe bagre e, ainda, no leite materno. Embora o Ca-HMB possa ser encontrado na natureza, é muito difícil e impraticável conseguir uma base regular de alimentos que forneça, suficientemente, todos os benefícios do Ca-HMB⁹. Portanto, a suplementação

pode ser vantajosa para os praticantes de treinamento de força ou daqueles sob extremo estresse muscular, que desejam melhora na performance atlética e livre de agentes dopantes¹⁰.

Apesar da literatura propor que a suplementação de Ca-HMB promove adaptações metabólicas perante o treinamento de resistência em atletas treinados e sedentários, há necessidade de investigações a respeito da suplementação de Ca-HMB em atletas sob o efeito de curto prazo e relacionados com a eficiência mecânica no desporto. O objetivo deste estudo foi determinar se a suplementação de 3 g/dia^{-1} de Ca-HMB, em curto espaço de tempo, age positivamente sob os parâmetros da curva força-tempo no teste máximo de 4 min em ergômetro para canoagem.

Método

Sujeitos

A amostra foi composta de 24 canoístas masculinos de elite, todos voluntários e com mais de 3 anos nas equipes nacionais, com resultados internacionais expressivos e descritos da seguinte forma (média \pm desvio padrão): 21.41 ± 5.35 anos, 173.36 ± 8.27 cm e 69.83 ± 10.29 kg. Os indivíduos foram analisados durante o período de treinamento de força do plano geral de treinamento estabelecido pela Confederação Brasileira de Canoagem. Todos os atletas treinaram sob o formato de concentração, a fim de ter um controle de todas as atividades esportivas e refeições. Foram informados sobre os objetivos, procedimentos. Após a concordância, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido que foi aprovado pelo comitê de ética da Universidade Federal do Paraná (UFPR), sob o protocolo n.º 1179.104.11.08 do comitê de ética e pesquisa em seres humanos da UFPR.

Procedimentos

Todos os sujeitos mantiveram seus programas de treinamento durante o presente estudo. Foi realizada a aplicação do teste 4 min, máximo um mês antes dos tratamentos para definir os padrões basais. Com base nesses dados, foi determinado o ponto 0 utilizado para a divisão de 2 grupos, a fim de garantir homogeneidade aproximada. Dessa forma, os sujeitos foram divididos aleatoriamente em 2 grupos, sendo: um grupo com 12 atletas suplementados com 3 g/dia^{-1} de Ca-HMB, denominado

HMB; e outro grupo com 12 atletas suplementados com 3 g/dia^{-1} de amido de milho, grupo controle (CON).

A fim de manter o sigilo absoluto, o laboratório que realizou a separação e pesagem das doses criou uma chave de codificada dos grupos, a que nenhum avaliado ou avaliador teve acesso. Essa chave codificada só foi revelada aos pesquisadores após o término do tratamento.

Os participantes foram instruídos a manter um registro dietético de todos os alimentos e bebidas consumidos nos últimos 3 dias antes do teste. E foram convidados a repetir essa dieta inicial, tanto quanto possível, antes de cada sessão de teste de esforço (pré e pós). A ingestão alimentar foi acompanhada e analisada pela nutricionista da equipe, através do software Nutricionista IV (N-Squared Computing, Salem, OR). Os sujeitos não consumiram qualquer outro suplemento dietético ou ergogênico durante o presente estudo.

Os suplementos foram preparados em forma de pó pelo laboratório Metabolic Technologies, Inc. (Iowa, EUA), de forma que todos os sujeitos ingeriram as porções diárias divididos em 3 partes, sendo junto às refeições (manhã, tarde e noite). Cada frasco continha suplemento suficiente para 14 dias. Durante todo o estudo, os atletas participaram normalmente de todas as sessões de treinamento. As sessões de treinamento tinham, em média, 6 horas por semana de treinamento de resistência de força (em média 1-3 séries de 2-8 repetições, em intensidades variando 80-95% de 1 RM) e, aproximadamente, 10 h por semana de treinamento específico na água para a modalidade.

O ergômetro específico para canoagem utilizado foi o Speedstroke GYM da Kayakpro[®], que tem sido utilizado nos últimos anos por inúmeros países para treinamento e em campeonatos indoor. Trata-se de um equipamento que permite que o atleta adote a mesma postura do caiaque, configurado na realização do mesmo movimento realizado na água, possuindo um eixo de remo, o qual é fixado por cabos nas extremidades conectadas a transdutores de força, onde a resistência pode ser alterada, calibrada e controlada totalmente por computador, dessa forma fornecendo as variáveis da curva força-tempo de interesse do estudo.

O objetivo do teste 4 min em ergômetro de caiaque (KE) é de o atleta realizar o máximo de esforço físico específico da modalidade durante todo o tempo, sem a utilização de estratégias. Os atletas realizaram um aquecimento articular completo livre de 5 min; em seguida, realizaram um aquecimento específico no ergômetro com uma carga de 40 W durante 5 min, seguidos por 2 min de intervalo passivo; imediatamente após, ao comando do investigador, iniciou o teste KE, estando o ergômetro estacionário.

As variáveis analisadas foram determinadas pelos componentes da curva força-tempo: a força média (FM), pico de força (PF), impulso (IMP), potência média (PM), frequência de remada (FR) e índice de fadiga (IF), determinadas com resolução de cada remada.

A **figura 1** é uma representação esquemática das variáveis propulsivas. O PF foi considerado como sendo o maior valor da força propulsiva de uma remada. A FM foi estabelecida pela média das unidades de força, e o IMP é definido pela integral entre unidades de força e tempo. A PM foi determinada pelas cargas médias de IMP pela razão do tempo e a FR foi determinado pela quantidade de ciclos completos de remada (stroke) pelo tempo. O IF foi determinado pelo coeficiente de inclinação da reta entre os picos de força, e a variável distância percorrida (DP) foi mensurada em metros, sendo produto final do teste máximo de 4 min.

Análise estatística

Os resultados são apresentados em média \pm desvio padrão. A normalidade foi confirmada através do teste de Kolmogorov-Smirnov. Foi utilizado o teste t pareado para possíveis associações entre os momentos (pré e pós-tratamento) e teste de ANOVA com

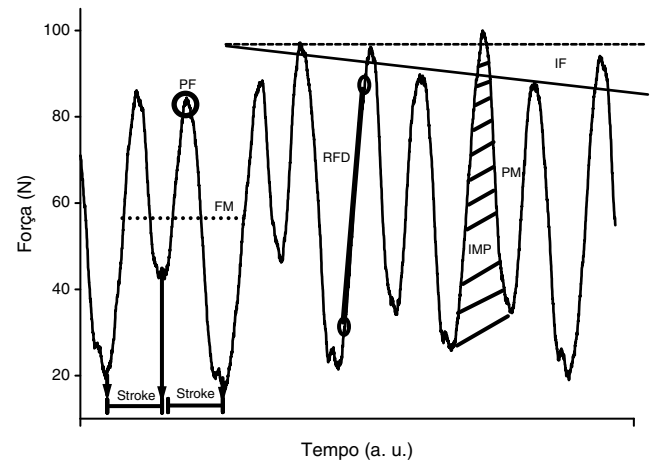


Figura 1. Representação esquemática das variáveis propulsivas analisadas na curva força-tempo durante as remadas na canoagem. FM: força média; FR: frequência de remada; IF: índice de fadiga; IMP: impulso; PF: pico de força; PM: potência Média.

pós-teste de Tukey dos parâmetros analisados, utilizando o pacote estatístico SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). O nível de significância utilizado foi $p \leq 0.05$.

Resultados

Na **tabela 1** são apresentados os resultados dos parâmetros da curva força-tempo, em relação ao pré e pós-teste dos respectivos grupos HMB e CON. Não foi possível encontrar diferenças significativas para o PF entre os grupos. Contudo, para FM, que consiste na manutenção das cargas de força ao longo do teste, houve uma diferença significativa ($p < 0.01$) entre o pré e pós para o grupo HMB e não significativo para CON. Tanto IMP quanto para PM mostrou-se diferença significativa entre pré e pós para o grupo HMB ($p = 0.02$ e $p < 0.01$, respectivamente) e não significativo para CON. Com relação ao IF, houve diferenças significativas entre o pré e pós para ambos os grupos HMB e CON, sendo $p = 0.03$ e $p = 0.04$, respectivamente. Para a variável FR nota-se uma diferença significativa para o grupo HMB ($p = 0.04$) e, não obstante, diferença significativa para DP no grupo HMB ($p = 0.01$).

Discussão

A DP no teste KE é uma variável muito interessante, pois quanto maior distância, mais eficiente será o atleta na execução no teste¹¹; essa informação fundamenta a eficiência mecânica do grupo HMB, corroborando com os aumentos do PF e as supostas transferências dessas cargas para a navegação. Considerando os dados coletados e o tempo médio de uma prova oficial de K1 1000 m (aproximadamente 210 s), haveria perda média de 4.60 s devido à IF, sabendo que, no alto rendimento, 4 segundos poderiam definir inúmeras colocações no quadro internacional. O monitoramento desta variável tem papel importante no planejamento do treinamento, uma vez que a redução do índice de fadiga, melhor será o desempenho atlético do atleta perante a prova submetida¹².

Os valores encontrados para PF em ambos os grupos (HMB e CON) corroboram com a literatura científica, quando relacionados a um ciclo de remada de canoístas de elite olímpica¹¹; contudo, quando observamos a distribuição das unidades de PF no domínio do tempo, estas não apresentam diferenças significativas em ambos os grupos (HMB e CON). O fato dos valores encontrados na literatura para um único ciclo de remada¹³ serem inferiores aos encontrados no presente estudo, pode estar ligado à melhoria da eficiência da aplicação da técnica. Observamos que as diferenças significativas encontradas de IMP ($p = 0.02$) são superiores aos encontrados na

Tabela 1

Valores dos parâmetros da curva força-tempo, pré e pós-suplementação dos grupos HMB e CON, no período de 14 dias

	HMB		CON	
	Pré	Pós	Pré	Pós
Peso corporal (kg)	78.50 ± 3.04	76.30 ± 2.82	79.38 ± 3.56	78.70 ± 3.46
% gordura	9.50 ± 3.01	8.10 ± 3.45	10.20 ± 2.98	9.00 ± 2.76
Pico de força (N)	98.26 ± 27.62	105.57 ± 21.03*	76.74 ± 20.17	78.15 ± 25.88
Força média (N)	54.12 ± 6.02	66.84 ± 5.51*	50.71 ± 11.33	51.47 ± 15.79
Impulso (N.m)	390.00 ± 108.81	471.22 ± 42.59*	333.22 ± 95.12	367.33 ± 113.99
Índice de fadiga (%)	41.78 ± 13.54	34.78 ± 12.79*	38.0 ± 11.00	35.67 ± 8.90*
Potência média (watts)	231.53 ± 33.95	315.72 ± 17.65*	218.12 ± 92.63	201.67 ± 67.54
Freq. de remadas (r/min)	99.27 ± 24.99	114.77 ± 8.82*	91.22 ± 20.42	92.32 ± 24.31
Velocidade (m/s)	4.37 ± 0.21	4.76 ± 0.19	4.32 ± 0.59	4.34 ± 0.51
Distância percorrida (m)	1018.80 ± 37.68	1163.85 ± 40.14*	1007.05 ± 79.41	1027.91 ± 22.75
n		12		12

CON: grupo placebo; HMB: grupo suplementado.
Representado por média ± SD; * p ≤ 0.05.

literatura internacional^{13,14}; pode estar ligado com a melhora da transferência de energia na remada, pois com o ataque eficiente possui aumento do IMP por completo ao longo do ciclo da remada¹⁵.

Nesse sentido, destacamos que o desempenho em competição de modalidades esportivas cíclicas máximas, tal como a canoagem, é dependente das transferências precisas das variáveis da curva força-tempo, bem como dependente da capacidade do organismo de regenerar o ATP consumido na contração muscular e em quantidades suficientes para a realização do trabalho externo^{14,16,17}. Desse modo, destacamos os valores encontrado para IF, que foi decrescente ao longo do teste, embora não haja na literatura valores de referência para esta variável; contudo, é fundamental que o atleta atinja menores valores de IF quanto possível durante o percurso.

Observa-se que os valores encontrados de PM corroboram com os encontrados na literatura internacional^{11,13,18}, quando comparado pré e pós, nota-se uma alteração significativamente positiva para o grupo HMB (p=0.01) e negativamente para o grupo CON (p=0.04), confirmando com os achados na literatura no que diz respeito do aumento da força nos membros superiores e inferiores em 1 RM, variável importante, pois está diretamente ligada com a força pico.

De acordo com a literatura¹¹, nota-se que esse efeito positivo da suplementação de HMB pode relacionar-se com aumento da força máxima, confirmado por alguns autores^{2,19–21} que notaram aumento da excreção de CK, aumento da MLG e da força pura, em indivíduos treinados e canoístas de elite.

A análise da FR e a velocidade média (VM) da embarcação durante uma prova são variáveis essenciais para a eficiência atlética em canoagem velocidade. A FR está relacionada intimamente com o comprimento de remada (stroke), facto que, estrategicamente, deve-se aumentar a FR sem comprometer a stroke. As análises trianguladas de FR, VM e stroke são essenciais para a investigação e melhora da performance do canoísta^{22,23}. De acordo com o presente estudo, não houve diferenças significativas na stroke em ambos os grupos. Entretanto, encontrou diferenças significativas para FR no grupo HMB, que parecem estar relacionadas com a melhora da eficiência mecânica; esses dados são apoiados pelo aumento da VM (p=0.01)^{23,24}.

A utilização de apenas uma prova oficial olímpica, caiaque individual de 1000 m (K1 1000 m), é uma limitação do estudo, no tocante que restringe informações apenas a uma embarcação e a uma distância oficial das 12 olímpicas. As aplicações práticas estão ligadas diretamente na utilização das estratégias de prova descrita, bem como na melhor distribuição das cargas de IMP gerado ao longo do evento. O presente estudo indicou melhora na performance para o grupo com HMB sobre as variáveis da curva força-tempo.

Os resultados do presente estudo apontam para a melhora significativa nos parâmetros biomecânicos da curva força-tempo (PF,

IMP, FR, DP e VM) em canoístas de elite, quando suplementados com 3 g/dia⁻¹ de Ca-HMB durante 14 dias e quando submetidos a uma prova máxima em caiaque ergômetro. O mecanismo correto pelo qual isso pode ocorrer ainda é desconhecido, mas os resultados indicam aumento da força aplicada e na transferência das cargas para a navegação. Embora as pesquisas até agora sejam animadoras, existe a necessidade de que mais estudos sejam realizados, para verificar os efeitos da suplementação de Ca-HMB sob a performance esportiva, e as componentes bioquímicas e histológicas envolvidas.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Bibliografia

- Nair KS, Schwartz RG, Welle S. Leucine as a regulator of whole body and skeletal muscle protein metabolism in humans. *Am J Physiol*. 1992;263 5 Pt 1:E928–34.
- Nissen S, Sharp R, Ray M, Rathmacher JA, Rice D, Fuller JC Jr, et al. Effect of leucine metabolite β -Hydroxy- β -Methylbutyrate on muscle metabolism during resistance-exercise training. *J Appl Physiol*. 1996;81(5):2095–104.
- Vukovich MD, Adams GD. Effect of β -Hydroxy- β -Methylbutyrate (HMB) on VO₂peak and maximal lactate in endurance trained cyclists. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:S252–61.
- Panton L, Rathmacher J, Fuller J, Gammon J, Cannon L, Stettler S, et al. Effect of β -Hydroxy- β -Methylbutyrate and resistance training on strength and functional ability in the elderly. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(S):194–9.
- Gallagher PM, Carrithers JA, Godard MP, Schulze KE, Trappe SW. β -Hydroxy- β -Methylbutyrate: Supplementation during resistance-training. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31:S402–8.
- Peterson AL, Qureshi MA, Ferket PR, Fuller JC Jr. Enhancement of cellular and humoral immunity in young broilers by dietary supplementation of β -Hydroxy- β -Methylbutyrate. *Immunopharmacol Immunotoxicol*. 1999;21(2):307–30.
- Vukovich M. The effect of dietary β -Hydroxy- β -Methylbutyrate (HMB) on strength gains and body composition changes in older adults. *FASEB Journal*. 1997;11:376–80.
- Ferreira HF, Rodacki ALF, Gill P, Tanhoffer R, Fernandes Filho J, Fernandes LC. The effects of supplementation of β -hydroxy- β -methylbutyrate on inflammatory markers in high performance athletes. *J Exerc Physiol Online*. 2013;16(1):53–63.
- Kuczera D, Paro de Oliveira HH, Fonseca Guimarães Fde S, de Lima C, Alves L, Machado AF, et al. Bax/Bcl-2 protein expression ratio and leukocyte function are related to reduction of Walker-256 tumor growth after beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) administration in Wistar rats. *Nutr Cancer*. 2012;64(2):286–93.
- Slater GJ, Logan PA, Boston T, Gore CJ, Stenhouse A, Hahn AG. Beta-hydroxy beta-methylbutyrate (HMB) supplementation does not influence the urinary testosterone: Epitestosterone ratio in healthy males. *J Sci Med Sport*. 2000;3(1):79–83.
- Petrone N, Quaresimin M, Spina S. A load acquisition device for the paddling action on Olympic kayak. In: 11th International Conference on Experimental Mechanics. 1998. p. 817–22.
- Loures JP, Ferreira HR, Mendoça R, Oliveira R, Gill P, Fernandes LC. Correlations between performance and 4-min maximum efforts in olympic kayaking athletes. *J Exerc Physiol Online*. 2014;17(4):34–41.
- Aitken DA, Neal RJ. An on-water analysis system for quantifying stroke force characteristics during kayak events. *J Appl Biomech*. 1992;8(2):165–73.

14. Billat V, Faina M, Sardella F, Marini C, Fanton F, Lupo S, et al. A comparison of time to exhaustion at VO₂ max in elite cyclists, kayak paddlers, swimmers and runners. *Ergonomics*. 1996;39(2):267–77.
15. Sperlich J. Biomechanik. In: Lenz J, editor. *Leistungs und trainingslehre kanusport*. Leipzig: Alemania; 1994. p. 235–40.
16. Bishop D, Bonetti D, Dawson B. The influence of pacing strategy on VO₂ and supramaximal kayak performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(6):1041–7.
17. Van Someren KA, Phillips GR, Palmer GS. Comparison of physiological responses to open water kayaking and kayak ergometry. *Int J Sports Med*. 2000;21(3):200–4.
18. Mann RV, Kearney JT. A biomechanical analysis of the Olympic-style flatwater kayak stroke. *Med Sci Sports Exerc*. 1980;12(3):183–8.
19. Fitschen PJ, Wilson GJ, Wilson JM, Wilund KR. Efficacy of β -Hydroxy- β -Methylbutyrate supplementation in elderly and clinical populations. *Nutrition*. 2013;29(1):29–36.
20. Molino A, Gioia G, Rossi Fanelli F, Muscaritoli M. β -Hydroxy- β -Methylbutyrate supplementation in health and disease: A systematic review of randomized trials. *Amino Acids*. 2013;45(6):1273–92.
21. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Walters JA, Baier SM, Fuller JC Jr, et al. β -Hydroxy- β -Methylbutyrate free acid reduces markers of exercise-induced muscle damage and improves recovery in resistance-trained men. *Br J Nutr*. 2013;110(3):538–44.
22. Jones MJ, Peeling P. A comparison of laboratory-based kayak testing protocols. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9(2):346–51.
23. McDonnell LK, Hume PA, Nolte V. A deterministic model based on evidence for the associations between kinematic variables and sprint kayak performance. *Sports Biomech*. 2013;12(3):205–20.
24. Vaquero-Cristóbal R, Alacid F, López-Plaza D, Muyor JM, López-Miñarro PA. Kinematic variables evolution during a 200-m maximum test in young paddlers. *J Hum Kinet*. 2013;38:15–22.