

Efeito da ingestão de aminoácidos de cadeia ramificada com diferentes concentrações de leucina sobre o número total de repetições realizadas durante o exercício resistido

Effect of branched chain amino acids intake with different leucine content on total number of repetitions performed during resistance exercise

Raphael das Neves Haddad¹ , Waldecir Paula Lima^{1,2} , Fábio Gianolla¹ , Giovanna Athanásio Chaves Machado¹ , Luiz Francisco Killian¹ , Otávio Augusto Soares Machado¹ 

1. FEFISO, Sorocaba, SP, Brasil

2. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP), São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Introdução: a suplementação de aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) tem sido amplamente utilizada e estudada durante as atividades de longa duração, no entanto, apresenta um número restrito de estudos elucidando o efeito desta suplementação durante o treinamento resistido (TR). **Objetivo:** avaliar a influência da ingestão de BCAA, contendo diferentes concentrações de leucina, sobre o número total de repetições realizadas durante essa prática. **Métodos:** oito participantes (4 homens e 4 mulheres; idade: 20 a 35 anos), com experiência no TR entre 3 e 18 meses, realizaram 10 séries com carga referente a 80% de 1RM, após a ingestão de 0,4 g/kg de peso corporal de BCAA diluídos em 250 ml água, com duas diferentes concentrações de leucina: 4:1:1 (3 g leucina, 750 mg isoleucina e 750 mg valina) e 6:1:1 (4,5 g leucina, 750 mg isoleucina e 750 mg valina), além do tratamento controle (CON), caracterizado pela ingestão de 250 ml água contendo um composto dietético não calórico. **Resultados:** observou-se que o número total de repetições realizadas nas 10 séries foi significativamente maior para o tratamento 6:1:1 (70,0 ± 9,5) quando comparado ao tratamento CON (59,8 ± 9,9), diferente do tratamento 4:1:1 (66,8 ± 7,3) que apresentou resultado estatisticamente semelhante. **Conclusão:** a concentração do aminoácido leucina, relacionada à dose de BCAA suplementada, é significativa para obtenção dos efeitos ergogênicos promovidos por este suplemento durante a prática do exercício resistido.

Palavras-chave: exercício físico; fadiga muscular; suplementos nutricionais.

ABSTRACT

Introduction: the supplementation of branched chain amino acids (BCAA) has been widely used and studied during long-term activities, however, it presents a limited number of studies elucidating the effect of this supplementation during resistance training (RT). **Objective:** to evaluate the influence of BCAA intake, containing different concentrations of leucine, on the total number of repetitions performed during this practice. **Methods:** eight participants (4 men and 4 women; age: 20 to 35 years), with experience in RT between 3 and 18 months, performed 10 series with a load corresponding to 80% of 1RM, after ingestion of 0.4 g/kg of BCAA body weight diluted in 250 ml water, with two different leucine concentrations: 4: 1: 1 (3 g leucine, 750 mg isoleucine and 750 mg valine) and 6: 1: 1 (4.5 g leucine, 750 mg isoleucine and 750 mg valine), in addition to the control treatment (CON), characterized by the ingestion of 250 ml water containing a non-caloric dietary compound. **Results:** it was observed that the total number of repetitions performed in the 10 series was significantly higher for the 6: 1: 1 treatment (70.0 ± 9.5) when compared to the CON treatment (59.8 ± 9.9), different from the 4: 1: 1 treatment (66.8 ± 7.3), which presented a statistically similar result. **Conclusion:** the concentration of the leucine amino acid, related to the supplemented BCAA dose, is significant to obtain the ergogenic effects promoted by this supplement during the practice of resistance exercise.

Keywords: physical exercise; muscle fatigue; nutritional supplements.

Recebido em: 22 de julho de 2020; Aceito em: 28 de janeiro de 2021.

Correspondência: Otávio Augusto Soares Machado, Rua da Penha, 680 Centro 18010-002 Sorocaba SP. otavio@fefiso.com

Introdução

Atualmente, devido ao crescente número de pesquisas científicas relatando os benefícios da prática regular do exercício físico, o número de praticantes tem aumentado substancialmente [1].

No que diz respeito aos locais utilizados para esta prática, por conta do caráter social, das facilidades e comodidades proporcionadas, as academias vêm ganhando, sobretudo por meio do treinamento resistido (TR), novos adeptos a cada dia [2].

Dentre os objetivos almejados por estes praticantes, destacam-se a melhora na saúde (em geral), na aptidão física e no padrão estético corporal, além de, em muitos casos, uma evolutiva reabilitação física [3]. Cabe ressaltar que, relacionado aos objetivos supracitados, o aumento do trofismo muscular (hipertrofia muscular) é uma das adaptações morfofisiológicas mais frequentes em praticantes de exercícios físicos. Existem diversos mecanismos moleculares associados ao processo de hipertrofia muscular [4], alguns deles, inclusive, otimizados a partir da suplementação de nutrientes específicos [5].

De qualquer forma, seja qual for o objetivo pretendido, a progressão só será alcançada se forem obedecidos os princípios científicos do treinamento físico. Dentre estes, destaca-se o princípio da sobrecarga, compreendido como base para o progresso de qualquer capacidade que queiramos aprimorar [2,6].

A sobrecarga será modificada por meio da manipulação do volume e/ou intensidade do exercício, apresentando-se inversamente relacionada à fadiga, seja esta central ou periférica [1,2,6].

No que diz respeito à fadiga central, esta pode ser definida como o estado no qual as ações cognitivas que dependem do aumento de esforço são interrompidas, implicando na redução da atividade do sistema nervoso central (SNC) gerando a diminuição de unidades motoras envolvidas no esforço ou da frequência de disparo das mesmas e, como consequência, perda de desempenho [7].

Por outro lado, a fadiga periférica está relacionada a eventos neuromusculares que podem compreender a ineficiência do potencial de ação através do sarcolema, variações no processo de excitação e contração, diminuição de fosfatos de alta energia na região intramuscular e o acúmulo de metabólitos musculares [8,9].

Quanto ao exercício resistido, a fadiga vivenciada durante a sessão de treinamento encontra-se relacionada as complicações ocorridas principalmente em nível neuromuscular [10].

A fadiga neuromuscular pode ser considerada como a perda de competência do músculo em gerar força ou manter o desempenho durante a realização do exercício físico [11,12]. Este fenômeno tem sido amplamente estudado nos últimos anos, sugerindo que este evento faz parte de uma resposta complexa e integrada entre o SNC, sistema nervoso periférico (SNP), junção neuromuscular e as células musculares [13,14].

Em decorrência do exposto, os aminoácidos de cadeia ramificada (BCAA) se tornaram popular na rotina de suplementação nutricional, recomendados como recursos ergogênicos em exercícios com predominância metabólica aeróbia e exercícios de força. Portanto, os BCAA vêm sendo utilizados, cada vez mais, como estratégia não farmacológica na redução da fadiga vivenciada durante a prática do exercício físico, assim como na promoção do anabolismo proteico muscular [15,16].

A concentração de aminoácidos no plasma é mantida de maneira constante após sua ingestão, porém essa concentração pode sofrer alterações em condições metabólicas em que prevaleça o catabolismo. Os exercícios de alta intensidade ou de longa duração, por exemplo, podem ser considerados fatores catabólicos que alteram a concentração de aminoácidos circulantes no plasma [17-19].

Quando o organismo é colocado em situações de esforços muito intensos ou volumosos, estes estímulos podem causar degradação de proteínas corporais, em especial as que formam a estrutura muscular. Partindo deste princípio, a utilização de BCAA, como recurso ergogênico, serviria como uma estratégia no sentido de minimizar esses efeitos catabólicos que promovem, entre outras consequências, a perda de rendimento [20-24].

Os BCAA, após ingestão, são prioritariamente oxidados no músculo, ou seja, a captação e ativação das vias metabólicas desses aminoácidos favorecem ao anabolismo muscular. Karlsson *et al.* [25] mostraram que a ingestão de 7.5 gramas de BCAA promoveu um aumento de 100% na concentração de aminoácidos no plasma, permitindo maior resposta anabólica em relação ao grupo placebo.

Ainda que grande parte dos estudos indiquem que os BCAA possam ser ingeridos antes, durante ou até após uma sessão aguda do treinamento, é importante ressaltar que ainda existe contradição relacionada a um possível ganho de performance. Estudos que analisaram esse tipo de intervenção, ora apresentaram resultados positivos, ora não apontaram alteração significativa no desempenho físico [26].

Outro ponto a ser destacado é o fato de a leucina, dentre os BCAA, apresentar maior desempenho, tanto do ponto de vista anabólico [27], quanto na redução de fadiga [28]. Constata-se que a grande variação na quantidade de leucina utilizada, assim como visto com a suplementação de BCAA, tem gerado resultados ambíguos.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da ingestão pré-treinamento resistido de BCAA, contendo diferentes concentrações de leucina, sobre o número total de repetições realizadas durante essa prática.

Métodos

Foram selecionados para o estudo, 8 indivíduos adultos saudáveis (4 homens e 4 mulheres), com idade entre 20 e 35 anos. Como critério de inclusão, os indivíduos deveriam estar praticando regularmente o TR entre 3 e 18 meses. Por outro lado, a utilização de hormônios anabólicos, de suplementos alimentares ou de medicamentos anti-inflamatórios foi considerada como critério de exclusão para compor a amostra deste estudo.

Esta pesquisa seguiu as normas para a aplicação de testes em seres humanos de acordo com a Resolução 466/12 do Ministério da Saúde. A mesma foi aprovada pelo Comitê de Ética da Faculdade de Ciências Médicas e da Saúde da PUC/SP (01985418.9.0000.5373). O presente estudo teve como campo de pesquisa a sala de Condicionamento Físico da academia Molhação Acqua e Fitness (São Roque/SP). Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido (TCLE).

O suplemento utilizado por todos os sujeitos da amostra foi o Amino BCAA (Recover my clinical line) em duas concentrações diferentes, possibilitando dois tratamentos experimentais: BCAA 4:1:1 (ingestão de aminoácidos de cadeia ramificada contendo 3 g de leucina, 750 mg de isoleucina e 750 mg de valina por 6g do produto) e BCAA 6:1:1 (ingestão de aminoácidos de cadeia ramificada contendo 4,5 g de leucina, 750 mg de isoleucina e 750 mg de valina por 6g do produto). Destaca-se que a dose utilizada no presente estudo foi de 0,4 g BCAA/kg de peso corporal diluída em 250 ml de água, similar àquela utilizada por Ratames *et al.* [29], em estudo experimental já publicado.

Em relação ao tratamento controle (CON), os sujeitos da amostra ingeriram 1.6 g de um composto dietético não calórico FIT® (substância considerada placebo, com aparência e sabor similar ao produto utilizado na fase experimental, contendo 0,36 mg de aspartame, 0,53 mg de acesulfame de potássio e 23 mg de sódio), diluído nos mesmos 250 ml de água utilizados nos tratamentos experimentais.

A administração dos suplementos nos tratamentos experimental e controle foi realizada de maneira aleatória, 30 minutos antes de cada sessão de TR, separados por um intervalo de 7 (sete) dias, entre os quais era permitido aos participantes continuarem apenas sua rotina de treinamento para os membros inferiores.

O teste de repetição máxima (1RM) foi utilizado para determinar a carga a ser aplicada para o exercício desenvolvimento com barra em banco na posição supina (supino reto), de acordo com métodos previamente descritos por Kraemer e Fry [30]. O teste foi iniciando com um aquecimento, que consistiu na realização de 2 séries de 5 a 10 repetições do movimento supino reto, utilizando 40-60% da carga prevista para 1RM, respeitando um intervalo de 2 minutos entre as séries. Posteriormente, após 5 minutos de intervalo, foram realizadas entre 2 e 4 tentativas para determinar a carga equivalente a 1RM. Os períodos de descanso entre as tentativas foram de 2 a 5 minutos [30].

Nos dias das sessões de avaliação, os indivíduos foram submetidos a 10 séries do exercício desenvolvimento com barra em banco na posição supina, utilizando uma carga referente a 80% de 1RM. O exercício partiu da posição decúbito dorsal com o tronco encostado no banco, joelhos flexionados, com os pés apoiados no solo, cotovelos com flexão moderada, ombros aduzidos horizontalmente. As mãos foram posicionadas na barra em posição equivalente a duas vezes a distância biacromial. Na fase concêntrica, realizou-se a adução horizontal dos ombros e extensão de cotovelos e subsequentemente, durante a fase excêntrica, ocorreu o retorno à posição inicial.

Durante a realização das séries, os indivíduos foram incentivados a realizar o maior número de repetições possíveis. A movimentação dos pés, perda de contato do quadril com o banco, descoordenação dos membros superiores durante a fase concêntrica do movimento ou falha muscular foram adotadas como critério para interrupção da série.

Com o intuito de aproximar o protocolo das sessões de avaliação ao da realidade vivenciada no cotidiano das academias, o tempo de recuperação entre as séries destas sessões foi estabelecido em 1'30" nas três primeiras séries, em 1'45" entre a 4ª e 6ª séries e em 2' nas quatro séries restantes.

Os indivíduos foram submetidos a 3 sessões de avaliação, sendo uma realizada após a ingestão de suco dietético (CON) e as outras duas após a ingestão dos BCAA com as concentrações de 4:1:1 e 6:1:1. Como já evidenciado, a ordem das sessões (BCAA ou CON) foi realizada de maneira aleatória.

O volume de trabalho foi demonstrado a partir das seguintes somatórias, em cada sessão de avaliação, para posterior comparação e análise dos dados: 1) do número de repetições totais (realizadas nas 10 séries); 2) do número de repetições realizadas nas 5 primeiras séries; 3) do número de repetições realizadas nas 5 últimas séries.

Os resultados das diferentes sessões foram expressos em média e desvio padrão. A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov Smirnov. Para comparar as médias dos indivíduos nas sessões com diferentes suplementações, foi utilizada a análise de variância para dados paramétricos (ANOVA *one-way*). Para indicar possíveis diferenças, foi utilizado o teste *post-hoc* de Tukey. Para todos os casos de análise, foi adotado um nível de significância de $p < 0,05$. A indicação do número amostral teve como base os estudos de Ratames *et al.* [29], Kraemer *et al.* [31], Sharp e Pearson [32] e Van Dusseldorp *et al.* [33].

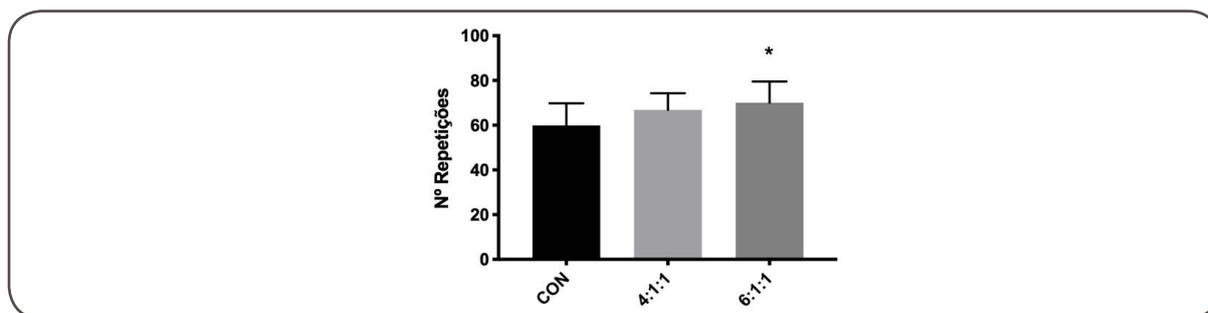
A análise estatística foi realizada com auxílio do software *Graph Pad Prism 8.0*.

Resultados

Atualmente, o número de praticantes do TR vem aumentando significativamente e, em associação, a busca por uma maior aptidão física e um melhor desempenho também crescem exponencialmente. Neste âmbito, a estratégia da suplementação de BCAA vem sendo cada vez mais utilizada, com objetivo de otimizar o rendimento durante a realização do exercício resistido. Contudo, os estudos apresentados são controversos no que tange a utilização deste recurso [24,26].

Com o intuito de investigar a eficiência dos BCAA sobre o rendimento dos praticantes, o presente estudo simulou o volume de treino utilizado nas academias (entre 9 e 12 séries por grupo muscular) e avaliou o número de repetições realizadas durante a execução de 10 séries realizadas com 80% de 1RM.

Como principais resultados, é possível observar na Figura 1 que ocorreu, relacionada a somatória do número total de repetições do movimento supino reto nas 10 séries realizadas, diferença significativa entre o tratamento com BCAA 6:1:1 e o tratamento CON ($p < 0,05$).



*diferença estatística ($p < 0,01$) em relação ao CON

Figura 1 - Média da somatória do número total de repetições realizadas durante as 10 séries nos tratamentos CON ($59,8 \pm 9,9$), BCAA 4:1:1 ($66,8 \pm 7,3$) e BCAA 6:1:1 ($70,0 \pm 9,5$)

Outras interessantes respostas foram encontradas ao serem analisados, separadamente, os resultados referentes as 5 primeiras e as 5 últimas séries realizadas. A média da somatória do número total de repetições realizadas nas 5 primeiras séries não demonstrou diferença significativa entre os tratamentos (Figura 2).

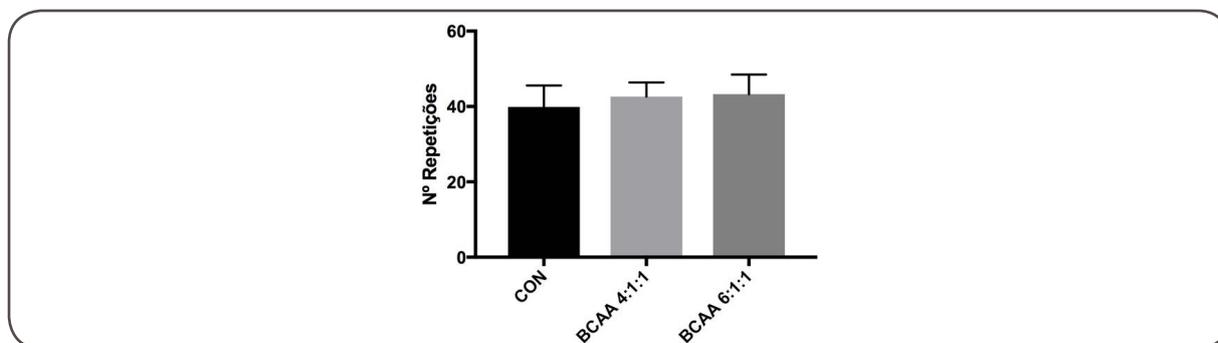
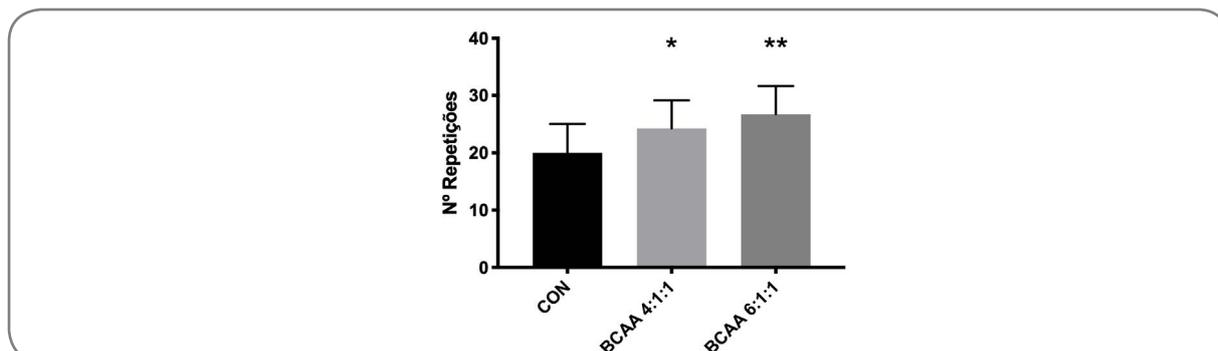


Figura 2 - Média da somatória do número total de repetições realizadas nas 5 primeiras séries dos tratamentos CON ($39,8 \pm 5,6$), BCAA 4:1:1 ($42,6 \pm 3,7$) e BCAA 6:1:1 ($43,2 \pm 5,2$)

Contudo, ao ser analisada a média da somatória do número total de repetições realizadas nas 5 últimas séries nos diversos tratamentos (Figura 3), observou-se um resultado significativamente maior nos tratamentos com suplementação com BCAA quando comparada ao tratamento CON. Observou-se, também, que o tratamento referente a ingestão de uma maior concentração de leucina (BCAA 6:1:1) proporcionou maior diferença estatística ($p < 0,02$) em relação ao tratamento referente a uma menor concentração de leucina ($p < 0,03$), quando comparados ao tratamento CON.



* diferença estatística ($p < 0,03$) em relação ao CON; ** diferença estatística ($p < 0,02$) em relação ao CON

Figura 3 - Média da somatória do número total de repetições realizadas nas 5 últimas séries dos tratamentos CON ($20,0 \pm 5,0$), BCAA 4:1:1 ($24,2 \pm 4,8$) e BCAA 6:1:1 ($26,7 \pm 4,8$).

Discussão

No que diz respeito à suplementação com BCAA, a maior parte dos estudos mostram preocupação em analisar os efeitos destes aminoácidos sobre o anabolismo e catabolismo muscular [25]. Relacionando os efeitos dos BCAA com o desempenho e a fadiga muscular, alguns estudos foram encontrados, embora, geralmente, desenhados metodologicamente com a utilização de exercícios com predomínio do metabolismo aeróbio [34]. Buscando propor outro cenário, o presente estudo foi concebido utilizando-se da relação suplementação de BCAA x treinamento resistido x fadiga muscular.

Observou-se, no presente estudo, que a suplementação pré TR com 0,4 g BCAA/kg em uma concentração de 6:1:1 (leucina, isoleucina e valina, respectivamente), resultou em maior somatória de repetições realizadas durante a execução de 10 séries no exercício desenvolvimento supino no banco horizontal, quando comparado ao tratamento CON. Todavia, cabe ressaltar que diversos estudos que analisaram os efeitos da suplementação de BCAA sobre o desempenho, durante a realização do TR, apresentaram muita contradição nos resultados [26].

Fujita *et al.* [35] avaliaram os efeitos da ingestão de BCAA, contendo 1 g leucina em uma dose de 0,35 g BCAA/kg de peso corporal, sobre marcadores bioquímicos após a realização de 10 séries de 10 RM no exercício cadeira extensora, não observando alteração em relação à fadiga. Em outro estudo, Sharp e Pearson [32], também não encontraram alteração de desempenho entre o grupo suplementado com BCAA (suplementação 2 vezes ao dia, com a seguinte concentração: leucina: 1800 mg; isoleucina: 750 mg; valina: 750 mg) e o grupo controle.

Uma provável explicação para o resultado encontrado no presente estudo reside na dose utilizada nos tratamentos BCAA. Após revisar a literatura sobre os efeitos da suplementação de BCAA no desempenho durante o TR, observou-se que o estudo realizado por Ratames *et al.* [29], cujo objetivo foi verificar a influência da suplementação com BCAA (com dose de 0,4 g BCAA/kg de peso corporal) sobre o desempenho durante o TR, demonstrou aumento de desempenho nos exercícios desenvolvimento supino no banco horizontal e agachamento livre com barra.

Com a finalidade de verificar a influência da suplementação com BCAA sobre o volume de treinamento, foi analisada, separadamente, a somatória do número de repetições realizadas durante as 5 primeiras e 5 últimas séries. No que diz respeito a somatória das 5 primeiras séries, observou-se que o tratamento CON obteve uma média de repetições similar aos dois tratamentos com BCAA. Por outro lado, quando analisada a somatória do número de repetições realizadas durante as 5 últimas séries, os resultados indicam que ambos os tratamentos BCAA realizaram um maior número de repetições quando comparados ao tratamento CON, embora o tratamento BCAA 6:1:1 tenha apresentado uma maior diferença ($p < 0,02$) que o tratamento BCAA 4:1:1 ($p < 0,03$) nestas comparações. Este fato, pode ser explicado por conta de os fatores relacionados à fadiga muscular não prejudicarem o desempenho, até que um determinado volume de treinamento seja realizado [17-19,36].

Uma possível explicação para o aumento no número de repetições realizadas, sobretudo durante as últimas 5 séries, é o fato de que os BCAA podem ser metabolizados e convertidos em grupos Acetil-coenzima A (Acetil-CoA), sendo posteriormente encaminhados para o Ciclo do Ácido Tri-carboxílico (CAT) [37]. Desta forma, os BCAA poderiam complementar a liberação de energia necessária à ressíntese quantitativamente mais adequada de adenosina trifosfato (ATP) naquele exato momento do exercício. Como descrito por Gatin [38], durante os intervalos de recuperação, uma parte da ATP ressintetizada é clivada para fornecer energia para a reconstrução da creatina fosfato (CP). Portanto, podemos levantar a hipótese de que o aumento no aporte de Acetil-CoA ao CAT, oriundo dos BCAA, poderia também aumentar a taxa de ressíntese de ATP entre as séries realizadas, acelerando a ressíntese dos estoques de CP e permitindo ao indivíduo, conseqüentemente, uma maior capacidade de trabalho nas séries subsequentes.

Outro fato que merece atenção é que a maior ressíntese de CP, entre as séries, resultaria em uma maior participação deste substrato energético na execução das séries subsequentes e, de acordo com Robergs, Ghiasvand e Parker [39], a clivagem da CP auxiliaria no tamponamento dos prótons de H⁺ liberados durante a hidrólise da ATP, reduzindo, desta forma, a chance de ocorrer o desequilíbrio do pH intracelular (acidose metabólica), minimizando a fadiga muscular.

Cabe destacar que o presente estudo utilizou um número amostral de 8 indivíduos, o que poderia limitar, em partes, os resultados e conclusões aqui apresentados. Contudo, o número amostral do grupo experimental de outros trabalhos realizados com o mesmo intuito [29,31-33], ou seja, avaliar os efeitos da suplementação com BCAA, foi similar ao aqui utilizado.

Conclusão

O objetivo do presente estudo foi avaliar a influência da ingestão de BCAA, contendo diferentes concentrações de leucina, sobre o número total de repetições realizadas em treinamento resistido.

Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que a suplementação BCAA, com concentração 6:1:1, está associada ao aumento do número total de repetições realizadas quando comparada ao tratamento controle, enfatizando que, na segunda metade da sessão de treinamento (5 últimas séries), esse aumento, em relação ao grupo controle, também foi observado no tratamento com a concentração 4:1:1. Portanto, a suplementação de BCAA, principalmente com maior concentração de leucina, parece exercer importante efeito na redução da fadiga muscular durante a prática do treinamento resistido, otimizando o desempenho, principalmente no que tange ao volume de treinamento-dependente (número de séries realizadas).

No entanto, vale salientar que esse grupo de autores entende a necessidade da realização de outros estudos a fim de elucidar este tema, inclusive utilizando diferentes doses de BCAA com distintas concentrações do aminoácido leucina em populações que apresentem níveis diferenciados de aptidão física e faixa etária.

Potencial conflito de interesse

Nenhum conflito de interesses com potencial relevante para este artigo foi reportado.

Fontes de financiamento

Não houve fontes de financiamento externas para este estudo.

Contribuição dos autores

Concepção e desenho da pesquisa: Machado OAS, Haddad RN. **Obtenção de dados:** Haddad RN, Machado OAS. **Análise e interpretação dos dados:** Machado OAS, Lima WP. **Análise estatística:** Machado OAS. **Obtenção de financiamento:** Machado OAS, Gianolla F. **Redação do manuscrito:** Haddad RN, Machado OAS, Lima WP, Machado GAC, Gianolla F. **Revisão crítica do manuscrito quanto ao conteúdo intelectual importante:** Lima WP, Machado GAC, Machado OAS.

Referências

1. Fisher J, Steele J, Stewart B, Dave S. Evidence-based resistance training recommendations. *Med Sport* 2011;15:147-62. doi: 10.2478/v10036-011-0025-x
2. American College of Sports Medicine. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(3):687-708. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181915670
3. Santarem JM. *Musculação em todas as idades: comece a praticar antes que o seu médico recomende*. Barueri: Manole; 2012.
4. Lima WP. Mecanismos moleculares associados à hipertrofia e hipotrofia muscular: relação com a prática do exercício físico. *Rev Bras Fisiol Exerc* 2017;16(2):95-113. doi: 10.33233/rbfe.v16i2
5. Lane MT, Herda TJ, Fry AC, Cooper MA, Andre MJ, Gallagher PM. Endocrine responses and acute mTOR pathway phosphorylation to resistance exercise with leucine and whey. *Biol Sport* 2017;34(2):197-203. doi: 10.5114/biolSport.2017.65339
6. Davies T, Orr R, Halaki M, Hackett D. Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med* 2016;46(4):487-502. doi: 10.1007/s40279-015-0451-3
7. Morgan RM, Parry AM, Arida RM, Matthews PM, Davies B, Castell ELM. Effects of elevated plasma tryptophan on brain activation associated with the Stroop task. *Psychopharmacology* 2006;190(3):383-89. doi: 10.1007/s00213-006-0609-7
8. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008;88(1):287-332. doi: 10.1152/physrev.00015.2007
9. O'Leary TJ, Morris MG, Collett J, Howells K. Central and peripheral fatigue following non-exhaustive and exhaustive exercise of disparate metabolic demands. *Scand J Med Sci Sports* 2016;26(11):1287-1300. doi: 10.1111/sms.12582
10. Gibson H, Edwards RHT. Muscular exercise and fatigue. *Sports Med* 1985;2:120-32. doi: 10.2165/00007256-198502020-00004
11. Newsholme EA, Blomstrand E. The plasma level of some amino acids and physical and mental fatigue. *Experientia* 1996;52(5):413-15. doi: 10.1007/BF01919308
12. Jakeman PM. Amino acid metabolism, branched-chain amino acid feeding and brain monoamine function. *Proc Nutr Soc* 1998;57(1):35-41. doi: 10.1079/PNS19980007
13. Pires FO. Thomas Kuhn's Structure of Scientific Revolutions' applied to exercise science paradigm shifts: example including the Central Governor Model. *J Sports Med* 2012;47(11):721-2. doi: 10.1136/bjsports-2012-091333
14. Siegler JC, Marshal IP. The effect of metabolic alkalosis on central and peripheral mechanisms associated with exercise-induced muscle fatigue in humans. *Exp Physiol* 2015;100(5):519-30. doi: 10.1113/EP085054
15. Rogero MM, Tirapegui J. Aspectos atuais sobre aminoácidos de cadeia ramificada e exercício físico. *Rev Bras Cienc Farm* 2008;44(4):563-75. doi: 10.1590/S1516-93322008000400004
16. Pereira Junior M. Aspectos atuais sobre aminoácidos de cadeia ramificada e seu efeito ergogênico no desempenho físico humano. *Revista Brasileira de Nutrição Esportiva [Internet]* 2012;6(36):436-48. [cited 2021 Jan 10] Available from: <http://www.rbne.com.br/index.php/rbne/article/view/333>

17. Schaefer A, Piquard F, Geny B, Doutreleau S, Lampert E, Mettauer B, Lonsdorfer J. L-arginina reduces exercise-induced increase in plasma lactate and ammonia. *Int J Sports Med* 2002;23(6):403-7. doi: 10.1055/s-2002-33743
18. Popovic PJ, Zeh HJ, Ochoa JB. Arginine and immunity. *J Nutr* 2007;137(6):1681-86. doi: 10.1093/jn/137.6.1681S
19. Manso Filho HC, Mckeever KH, Gordon ME, Manso HE, Legakos WS, Wu G. Developmental changes in the concentrations of glutamine and other amino acids in plasma and skeletal muscle of the standard bed foal. *J Anim Sci* 2009;87(8):2528-35. doi: 10.2527/jas.2009-1845
20. Hsueh CF, Wu HJ, Tsai TS, Wu CL, Chang CK. The effect of branched-chain amino acids, citrulline, and arginine on high-intensity interval performance in young swimmers. *Nutrients* 2018;10:1979. doi: 10.3390/nu10121979
21. Norton LE, Layman DK. Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *J Nutr* 2006;136(2):533S-37S. doi: 10.1093/jn/136.2.533S
22. Kimball SR, Jefferson LS. New functions for amino acids: effects on gene transcription and translation. *Am J Clin Nutr* 2006;83(2):500-7. doi: 10.1093/ajcn/83.2.500S
23. Blomstrand E, Eliasson J, Karlsson HK, Kohnke ER. Branched-chain amino acids active key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *J Nutr* 2006;136(1):269-73. doi: 10.1093/jn/136.1.269S
24. Cruzat VF, Krause M, Newsholme EP. Amino acid supplementation and impact on immune function in the context of exercise. *J Int Soc Sports Nutr* 2014;11(1):1-13. doi: 10.1186/s12970-014-0061-8
25. Karlsson H, Nilsson PA, Nilsson J, Chibalin AV, Zierath JR, Blomstrand E. Branched chain amino acids increased p70s6k phosphorylation in human skeletal muscle after resistance training. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2004;287(1):E1-7. doi: 10.1152/ajpendo.00430.2003.
26. Lorenzetti F, Carnevali LC, Lima WP, Zanuto R. Nutrição e suplementação esportiva: aspectos metabólicos, fitoterápicos e da nutrigênômica. São Paulo: Phorte; 2015.
27. Joannis S, Lim C, McKendry J, McLeod JC, Stokes T, Phillips SM. Recent advances in understanding resistance exercise training-induced skeletal muscle hypertrophy in humans. *F1000 Research* 2020;141(9):1-12. doi: 10.12688/f1000research.21588.1
28. Abumoh'd MF, Matalqah L, Al-Abdulla Z. Effects of oral branched-chain amino acids (BCAAs) intake on muscular and central fatigue during an incremental exercise. *J Hum Kinet* 2020;72:69-78. doi: 10.2478/hukin-2019-0099
29. Ratames NA, Kraemer WJ, Volek JS, Rubin MR, Gomez AL, French DN, *et al.* The effects of amino acid supplementation on muscular performance during resistance training overreaching. *J Strength Cond Res* 2003;17(2):250-8. doi: 10.1519/1533-4287(2003)017<0250:teoass>2.0.co;2
30. Kraemer WJ, Fry AC. Strength testing: development and evaluation of methodology. In: Maud PJ, Foster C. *Physiological assessment of human fitness*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1995. p. 115-38.
31. Kraemer WJ, Ratames NA, Volek JS, Hakkinen K, Rubin MR, French DN, *et al.* The effects of amino acid supplementation on hormonal responses to resistance training overreaching. *Metabolism* 2006;55(3):282-91. doi: 10.1016/j.metabol.2005.08.023
32. Sharp CP, Pearson DR. Amino acid supplements and recovery from high-intensity resistance training. *J Strength Cond Res* 2010;24(4):1125-30. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c655
33. Van Dusseldorp TA, Escobar K, Johnson KE, Stratton MT, Moriarty T, Cole N, *et al.* Effect of branched-chain amino acid supplementation on recovery following acute eccentric exercise. *Nutrients* 2018;10(10):1389-1404. doi: 10.3390/nu10101389
34. Davis JM, Anderson NL, Welsh RS. Serotonin and central nervous system fatigue: nutritional considerations. *Am J Clin Nutr* 2000;72(2):573S-8S. doi: 10.1093/ajcn/72.2.573S
35. Fujita S, Dreyer HC, Drummond MJ, Glynn EL, Volpi E, Rasmussen BB. Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance post-exercise muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 2009;106(5):1730-39. doi: 10.1151/jappphysiol.90395.2008
36. Crowe M, Weatherson JN, Bowden EBF. Effects of dietary supplementation on exercise performance. *Eur J Appl Physiol* 2006;97:664-72. doi: 10.1007/s00421-005-0036-1
37. She P, Olson KC, Kadota Y, Inukai A, Shimomura Y, Hoppel CL, *et al.* Leucine and protein metabolism in obese Zucker rats. *Plos One* 2013;8(3):e59443. doi: 10.1371/journal.pone.0059443
38. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med* 2001;31(10):725-41. doi: 10.2165/00007256-200131100-00003