

---

## Artigo original

---

# Efeito da combinação de exercícios com pesos sobre indicadores sanguíneos da exaustão em praticantes de musculação

## *Effect of exercises combined with weight on blood markers related to exhaustion in weight training*

Carol Christina de Faria\*, Fábio Lera Orsatti, D.Sc.\*, Fernando Moreto\*\*, Roberto Carlos Burini, D.Sc.\*\*\*

*\*Centro de Metabolismo em Exercício e Nutrição (CeMENutri), Depto. Saúde Pública, Faculdade de Medicina (UNESP), Botucatu/SP, \*\*Biomédico, mestrando em Patologia, Faculdade de Medicina (UNESP), Botucatu/SP, (CeMENutri), \*\*\*Professor Titular do Departamento de Saúde Pública, Faculdade de Medicina (UNESP), Botucatu, SP, Responsável pelo CeMENutri*

### Resumo

Foram comparados os indicadores sanguíneos (de acidose e hemoconcentração), de 21 homens (20-32 anos) treinados em musculação e divididos em três grupos, segundo o número de exercícios executados: grupo 5 (n = 6) cinco exercícios, grupo 4 (n = 7) quatro exercícios, grupo 3 (n = 8) três exercícios. Foram submetidos à sobrecarga inicial de 80% de uma repetição máxima (1RM), até a exaustão. O sangue foi coletado antes (At) e imediatamente após (Ap) ao teste de exaustão (TE) para a análise de indicadores hemogasimétricos: pH, pO<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, hemoconcentração (Ht) e glicemia. O efeito do TE sobre cada variável foi avaliado comparando-se os grupos por meio de ANOVA-medidas repetidas para significância de p = 0,05. Houve significância (p < 0,05) na elevação do Ht, glicose e pO<sub>2</sub> e redução do pH, pCO<sub>2</sub> e HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Diferença significativa ocorreu entre os grupos apenas em relação ao HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, cuja maior variação foi registrada no grupo 4. Assim, esses marcadores sistêmicos respondem a exaustão muscular de modo semelhante ao envolvimento de três, quatro ou cinco grupamentos musculares.

**Palavras-chave:** teste de exaustão, 1RM, indicadores sanguíneos.

### Abstract

In this study, biochemical markers (eg., acidosis and hemoconcentration) are compared in 21 strength trained male individuals (20-32 years) and divided in three groups, according to the number of executed exercises: group 5 (n = 6) five exercises, group 4 (n = 7) four exercises, group 3 (n = 8) three exercises. All individuals were submitted to an overload exercise at 80% of one maximum repetition (1RM) until exhaustion. Blood samples were drained before and immediately after the test to hemogasometric parameters: pH, pO<sub>2</sub>, pCO<sub>2</sub>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, hemoconcentration (Ht) and glucose. Exhaustion test (ET) effects over the blood markers were compared by means of ANOVA with group significance level at p = 0.05. Ht, glucose and pO<sub>2</sub> elevation, and pH, pCO<sub>2</sub> and HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> reduction were significant. There was significant differences among the groups only in relation to HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, that showed higher variation in the group 4. The data gathered suggest that those biochemical markers have similar responses to ET encompassing three, four and five muscle groups.

**Key-words:** exhaustion test, 1RM-test, biochemical markers.

## Introdução

Sabidamente intensidade e duração do trabalho muscular são os principais indutores do ritmo de fadigamento muscular. Esta por sua vez constitui o *end-point* para o treinamento máximo e *turning-point* para o início fisiopatológico do exercício exaustivo. Por estas razões os indicadores da fadiga muscular, e suas sensibilidades e especificidades, são duplamente perseguidos pelos estudiosos dos limites do treinamento e por aqueles do estresse metabólico do exercício exaustivo.

Embora a etiologia complexa, a fadiga muscular pode ser precipitada por fatores locais, intramusculares, sistêmicos e centrais. Nos exercícios de alta intensidade e curta duração os fatores locais particularmente a transmissão nervosa, recrutamento miofibrilar e utilização anaeróbia de substratos energéticos parecem ser os mais importantes. Entretanto, para a continuidade do esforço físico, a perfusão adequada do músculo com suprimento sanguíneo de oxigênio e remoção de calor,  $\text{CO}_2$  e metabolitos ácidos gerados pelo trabalho contrátil, são também importantes [1].

Em humanos os estudos da transmissão dos impulsos nervosos por intermédio da técnica se resumem a músculos individualizados. Por sua vez a tipagem miofibrilar recrutada e o consumo de substratos energéticos intramusculares são estudos envolvendo biópsias de músculos, ainda dependentes de pendências éticas não universalizadas nas regiões brasileiras. O uso da ressonância magnética do fósforo para estudo cinético das vias fosfagênicas veio como alternativa *in vivo* para o uso da biópsia, mas é limitante pela existência e custo do aparelho [2]. Assim, o estudo local dos fatores intramusculares da fadiga é de difícil execução restando o estudo indireto pela variação dos indicadores sistêmicos (sanguíneos).

Em estudo de protocolo de exaustão com pesos envolvendo jovens culturistas do gênero masculino verificou-se que amostras de sangue venoso colhidas antes e após o teste de exaustão individual (iniciando-se a 85% de 1RM) diferiam nos indicadores de acidose, hemoconcentração, glicemia e enzimas características de permeabilidade-lesão muscular [3].

Posteriormente, em amostragem sanguínea antes e após o conjunto de testes de exaustão em três exercícios: supino reto, agachamento na máquina Hack e remada baixa no pulley, sem descanso entre exercícios foi observado que a  $\text{pCO}_2$  prediz 50% e a aspartato aminotransferase 40% do total de repetições observadas nos 3 exercícios. Somadas essas 2 variáveis a  $\text{pCO}_2$ , hematócrito,  $\text{HCO}_3^-$  e fração cardíaca da creatina quinase (CK-MB) o nível preditivo do esforço (repetições) realizado se eleva a 92% [4].

Mais recentemente [5], esse protocolo foi repetido individualmente em 8 exercícios para grupamentos musculares distintos. Em todos os 8 exercícios foram observados reduções

significativas do pH e  $\text{HCO}_3^-$  sanguíneos e elevações do lactato e  $\text{NH}_4$  plasmáticos. Rosca direta, puxador alto, supino e mesa flexora diferiram da flexão plantar do tornozelo em pé na máquina e Hack pelo maior número de variáveis sanguíneas alteradas e pela maior magnitude da acidose metabólica e tamponantes ( $\text{NH}_4^+$ , lactato e  $\text{HCO}_3^-$ ).

Assim considerando que grupamentos musculares distintos, quando submetidos a exaustão com pesos, apresentam padrão bioquímico-sanguíneo semelhante (acidose metabólica, hemoconcentração e aumento da glicemia), mas de magnitude de variação dependente do grupamento muscular exercitado.

O presente estudo pretende investigar o impacto associado da exaustão de 3, 4 ou 5 grupamentos musculares sobre esses parâmetros bioquímicos-sanguíneos da exaustão muscular.

## Material e métodos

Contou-se, neste estudo, inicialmente, com a participação de cinco trabalhos ( $n_{\text{total}} = 40$ ). Todos estes visavam a promoção da exaustão muscular por meio de um mesmo tipo de protocolo com exercícios resistidos. Contudo, dois desses trabalhos ( $n = 19$ ) foram excluídos do estudo, durante a fase analítica, pois apresentaram dados imprecisos. A amostra em estudo foi composta por 21 jovens (20-32 anos) do sexo masculino que estavam de acordo com os procedimentos investigativos e que obedeciam aos critérios de inclusão: mínimo de três anos de prática de exercícios com pesos, não tabagistas, não usuários de esteróides anabolizantes e não portadores de doenças metabólicas. Após serem informados sobre o propósito desta investigação e os procedimentos a serem adotados, assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido, em conformidade com as instruções contidas na Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde, sendo aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, processo n° 150/2000- CEP MVCR/asc

### Avaliação da força muscular (1RM)

A força muscular foi determinada por meio do teste de uma repetição máxima (1RM), envolvendo os segmentos do tronco, membros inferiores e membros superiores como descrito por Porto *et al.* [5]. O teste de 1RM foi realizado no dia anterior ao protocolo de exaustão.

### Protocolo de exaustão muscular

Determinada a carga máxima individual para cada exercício (1RM) [5], em dia anterior, cada um dos atletas realizou (na manhã do dia seguinte) o protocolo para indução da exaustão muscular após café da manhã de composição padronizada oferecido 60 minutos antes. Os exercícios foram

iniciados com carga individual de 80% de 1RM, realizando o maior número de repetições possíveis sem auxílio externo. Em seguida, com auxílio externo e sem interrupção do exercício, a carga foi reduzida em 20% para a continuidade das repetições, e assim foram realizadas sucessivamente reduções de 20% do peso, até a impossibilidade de continuidade de realização do exercício com a carga mínima (20% de 1RM) [5]. Esta incapacidade de continuidade do exercício configurou o estado de exaustão muscular.

Os exercícios abaixo foram selecionados para compor os grupos por serem bastante populares:

*Grupo com cinco exercícios (G5):* Extensão do cotovelo, desenvolvimento pela frente, supino reto, levantamento terra e agachamento *hack*;

*Grupo com quatro exercícios (G4):* Supino reto, rosca direta com barra, agachamento *hack*, tríceps no *pulley*;

*Grupo com três exercícios (G3):* Agachamento *hack*, supino reto e rosca direta.

Nos momentos pré e imediatamente pós-exaustão, foram avaliados os indicadores sanguíneos, por meio de amostras coletadas da veia cubital, para análises hemogasimétricas (pH,  $pO_2$ ,  $pCO_2$  e  $HCO_3^-$ ) em aparelho de análise automática (Cobas Mira Plus), glicose (glicose oxidase) e hematócrito mediante centrifugação pelo método de Microhematócrito.

## Análise estatística

O teste de *Kolmogorov e Smirnov* foi realizado para observar se as amostras tinham distribuição normal. Os resultados foram agrupados mediante valores médios e desvio padrão e, posteriormente, comparados por análise de variância (ANOVA de medidas repetidas entre os momentos), grupos (5, 4 e 3 exercícios) x momentos (pré e pós) com nível de significância  $p < 0,05$ .

## Resultados

Ao compararmos os momentos pré e pós TE nos três protocolos, observou-se queda significativa nos valores do pH e  $pCO_2$  (pré > pós), porém, estes não apresentaram diferença significativa entre os grupos (Tabelas I e II).

Em relação ao íon  $HCO_3^-$ , este foi o único parâmetro que apresentou diferença significativa entre os grupos, sendo o grupo quatro (G4) aquele que apresentou maior variação em relação aos demais (Tabela II).

Para a variável  $PO_2$  os valores se elevaram significativamente para todos os grupos (pré < pós), contudo, não houve variação significativa entre esses mesmos valores (Tabelas I e II).

Os parâmetros correspondentes a hemoconcentração (hematócrito) e substrato energético (glicose) acompanharam o  $pO_2$ , pois aumentaram significativamente seus valores em comparação ao momento pré, porém não apresentaram diferença entre si (Tabelas I e II).

**Tabela I** - Valores hemogasimétricos, hemoconcentração e glicemia no momento pré-teste de exaustão com três, quatro ou cinco exercícios.

Variável	G3	G4	G5
pH	7,3 ± 0,03	7,4 ± 0,03	7,4 ± 0,02
$pCO_2$ (mmHg)	59,8 ± 5	44,7 ± 5,2	46,1 ± 3,6
$pO_2$ (mmHg)	24,7 ± 5,1	37,1 ± 14,8	4,2 ± 25,6
$HCO_3^-$ (mmol/l)	29,7 ± 2,2	25,2 ± 1,7	25,6 ± 2,1
Ht (%)	46,8 ± 2,4	48,1 ± 6,6	46,3 ± 4,0
Glicose (mg/dl)	85,1 ± 3,0	88,0 ± 16,9	89,8 ± 4,6

Os valores são média ± desvio padrão; pH = concentração de  $H^+$  em  $-log_{10}$ ;  $pCO_2$  = pressão parcial de dióxido de carbono;  $pO_2$  = pressão parcial de oxigênio; Ht = hematócrito; Glicose = glicemia de jejum.

**Tabela II** - Delta percentual dos dados hemogasimétricos, hematócritos e glicemia após teste de exaustão com três, quatro ou cinco exercícios.

Variável	G3	G4	G5	p
pH	-1,8 ± 1,5	-2,7 ± 0,8	-2,8 ± 1,2	ns
$pCO_2$ (mmHg)	-8,3 ± 26,3	-24,7 ± 17,3	4,7 ± 24,0	ns
$pO_2$ (mmHg)	106,6 ± 112,4	59,7 ± 56,8	23,4 ± 28,3	ns
$HCO_3^-$ (mmol/l)	-33,5 ± 9,1	-51,4 ± 7,9*	-36,4 ± 5,8	<0,001
Ht (%)	10,2 ± 5,4	9,1 ± 13,8	6,0 ± 7,2	ns
Glicose (mg/dl)	13,4 ± 20,5	8,6 ± 24,5	14,7 ± 10,7	ns

\*Diferença significativa do G3 e G5, Anova - one way (post hoc - Bonferroni). Os valores são média ± desvio padrão; pH = concentração de  $H^+$  em  $-log_{10}$ ;  $pCO_2$  = pressão parcial de dióxido de carbono;  $pO_2$  = pressão parcial de oxigênio; Ht = hematócrito; Glicose = glicemia de jejum.

## Discussão

A fadiga muscular nos últimos anos tem sido o escopo de investigação em inúmeras publicações pertencentes à área da fisiologia do exercício [6,7]. O grande volume de trabalhos publicados referentes a essa temática sinaliza o forte interesse que os fisiologistas têm de compreender, em maior profundidade, esse mecanismo tão importante ao nosso corpo.

Sugere-se que a fadiga muscular seja possível mecanismo protetor aos eventuais efeitos deletérios da integridade da fibra muscular esquelética [8]. Sendo esta modulada pelo tipo, intensidade e duração do trabalho muscular, tipologia de fibras musculares recrutadas, do nível de treinamento do sujeito e das condições ambientais de realização do exercício [9-11].

Apesar dos estudos *in vivo* realizados em animais [12,13] e em humanos [14,15] terem constituído ferramenta fundamental para o estabelecimento do estudo da fadiga central em exercício prolongado, pouco se sabe sobre as possíveis

implicações sistêmicas que a fadiga periférica causa após exercícios de curta duração e de alta intensidade.

O uso do teste de 1RM, como ponto de referência para o teste de exaustão em grupamentos musculares, vem sendo sugerido pela literatura [16], assim como os indicadores de acidose [5], variações hormonais [16-18] e de substratos energéticos [11,19] e dos seus metabólitos como parâmetros sistêmicos dimensionadores da intensidade da fadiga (exaustão) [1,5,20].

Os protocolos de indução a exaustão aplicados, caracterizados pelo exercício contínuo e com intervalo mínimo de recuperação entre as séries, com cargas diferentes, repercutem em respostas acentuadas nos indicadores do metabolismo anaeróbio, gerando, conseqüentemente, produção crescente de metabólitos com acúmulo de íons hidrogênio ( $H^+$ ) desencadeando o estado de acidose [20].

O organismo dispõe de mecanismos específicos que regulam a concentração de  $H^+$  no sangue denominados sistemas tampões, sendo estes classificados em químicos ou fisiológicos [20]. O bicarbonato (tampão químico) atua como agente de rápida ação na manutenção ácido-básica, já o mecanismo de hiperventilação (tampão fisiológico) entra em ação quando os tampões químicos estão esgotados, ou seja, a segunda linha de defesa entra em ação quando já ocorreu alteração no pH [20].

Com o exercício intenso, há maior produção de dióxido de carbono em virtude do tamponamento do lactato que se acumula, em parte por causa da glicólise anaeróbica aumentada. O  $CO_2$  plasmático em excesso estimula imediatamente o centro bulbar aumentando a frequência e amplitude dos movimentos respiratórios resultando em aumento na oxigenação sanguínea para eliminar este excedente [20].

O Ht e  $O_2$  aumentaram significativamente, sendo relacionado a fadiga muscular pelo aumento da viscosidade sanguínea e conseqüente redução no transporte de  $O_2$ , remoção do  $CO_2$  e outros metabólitos [21]. A glicemia aumentou significativamente após o TE, provavelmente pela descarga simpática, desencadeando a glicogenólise e neoglicogênese hepática [5]. O teste de exaustão aplicado nos três protocolos com carga inicial de 80% de 1RM mostrou causar estresse sistêmico, pois alterou significativamente vários parâmetros dimensionadores de intensidade da fadiga muscular. Contudo, não diferiu entre os grupos, mostrando que a ordem e a quantidade de exercícios não interferiram na resposta sistêmica.

## Conclusão

Os exercícios exaustivos provocaram de forma e intensidade semelhantes acidose metabólica, hemoconcentração e elevação da glicemia. Portanto, a magnitude desses fatores não tem correlação com o número de exercícios realizados. Em outras palavras, adotar protocolo com elevado número de exercícios não constitui condição indispensável para atingir fadiga muscular de maior intensidade.

## Referências

1. Cyrino ES, Burini RC. Modulação nutricional da fadiga. *Rev Bras Ativ Física Saúde* 1997;2(2):67-74.
2. Santos MG, Dezan VH, Sarraf TA. Bases metabólicas da fadiga muscular aguda. *Rev Bras Ciên Mov* 2003;11(1):07-12.
3. Petricio AM, Porto M, Burini RC. Alterações hemodinâmicas do equilíbrio ácido básico e enzimáticas no exercício exaustivo com pesos. *Rev Bras Ativ Fis Saúde* 2001;6:17-26.
4. Fett CA, Orsatti FL, Burini RC. Predição do volume de exercícios com pesos para promoção da exaustão em três grupos musculares de atletas mediante variações de componentes sanguíneos. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício* 2005;4(1):17-21.
5. Porto M, Orsatti FL, Borges-Santos MD, Burini RC. Impacto do exercício muscular exaustivo sobre indicadores sanguíneos em praticantes de musculação. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum* 2008;10(3):230-6.
6. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev* 2008;88(1):287-332.
7. Dimitrov GV, Arabadzhiev TI, Mileva KN, Bowtell JL, Crichton N, Dimitrova NA. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(11):1971-9.
8. Williams JH, Klug GA. Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review. *Muscle Nerve* 1995;18(4):421-34.
9. Davis M, Fitts R. Mechanisms of muscular fatigue. In: PD, ed. *ACSM'S resource manual: guidelines for exercise testing and prescription*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins; 2001. p. 184-90.
10. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol* 1992;72(5):1631-48.
11. Metzger JM, Fitts RH. Fatigue from high- and low-frequency muscle stimulation: contractile and biochemical alterations. *J Appl Physiol* 1987;62(5):2075-82.
12. Danieli-Betto D, Germinario E, Esposito A, Biral D, Betto R. Effects of fatigue on sarcoplasmic reticulum and myofibrillar properties of rat single muscle fibers. *J Appl Physiol* 2000;89(3):891-8.
13. Soares DD, Coimbra CC, Marubayashi U. Tryptophan-induced central fatigue in exercising rats is related to serotonin content in preoptic area. *Neurosci Lett* 2007;415(3):274-8.
14. Amann M, Dempsey JA. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance. *J Physiol* 2008;586(1):161-73.
15. Nookes TD, St. Clair Gibson A, Lambert EV. From catastrophe to complexity: a novel model of integrative central neural regulation of effort and fatigue during exercise in humans: summary and conclusions. *Br J Sports Med* 2005;39:120-4.
16. Fleck SJ, Kraemer WJ. *Fundamentos do treinamento de força muscular*. 3ª ed. São Paulo: Artmed; 2006.
17. Komi PV. *Força e potência no esporte*. 2ª ed. São Paulo: Artmed; 2006.
18. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 2005;35(4):339-61.
19. Myburgh KH. Can any metabolites partially alleviate fatigue manifestations at the cross-bridge? *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(1):20-7.
20. Maughan R, Gleeson M. *As bases bioquímicas do desempenho nos esportes*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.
21. Brun JF, Bouchahda C, Chaze D, Benhaddad AA, Micallef JP, Mercier J. The paradox of hematocrit in exercise physiology: which is the "normal" range from an hemorheologist's viewpoint? *Clin Hemorheol Microcirc* 2000;22(4):287-303.