

Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
Instituto de Biociências, IBB - Botucatu

Diferenciação Hemogasimétrica, Hemoconcentradora e da
Glicemia em Testes de Exaustão Muscular usando Cinco,
Quatro ou Três Exercícios

Carol Christina de Faria

**Monografia apresentada ao
Instituto de Biociências –UNESP,
Botucatu, para obtenção do título
de Bacharel em Ciências
Biológicas**

-Botucatu-
2008

Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho” - UNESP
Instituto de Biociências, IBB - Botucatu

Diferenciação Hemogasimétrica, Hemoconcentradora e da
Glicemia em Testes de Exaustão Muscular usando Cinco,
Quatro ou Três Exercícios

Carol Christina de Faria

Orientador: Prof. Dr. Roberto Carlos Burini
Co-orientador: Dr. Fábio Lera Orsatti
Supervisora: Prof^a. Dr^a. Maria J. Q. de Freitas Alves

**Monografia apresentada ao
Instituto de Biociências –UNESP,
Botucatu, para obtenção do título
de Bacharel em Ciências
Biológicas**

**-Botucatu-
2008**

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
1. O Estresse do Esforço Físico.....	7
1.1 Respostas orgânicas frente ao exercício físico exaustivo.....	7
OBJETIVO.....	9
CASUÍSTICA.....	9
1. Voluntários.....	6
2. Considerações Éticas.....	6
MÉTODOS.....	10
1. Teste de Uma Repetição Máxima (1RM).....	10
1.1. Avaliação da força muscular	10
2. Protocolo de Exaustão Muscular.....	11
3. Avaliação de Indicadores sanguíneos.....	11
4. Análise Estatística.....	12
RESULTADOS.....	13
1. Avaliação da Exaustão.....	13

1.1 Indicadores metabólicos de fadiga.....	13
1.1.1. Acidose metabólica.....	13
DISCUSSÃO.....	14
CONCLUSÃO.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	17
RESUMO	22

LISTA DE SIGLAS

- ❖ **1-RM**: teste de uma repetição máxima (kg).
- ❖ **pH**: potencial hidrogeniônico
- ❖ **HCO₃⁻**: íon bicarbonato
- ❖ **NH₄**: amônio
- ❖ **pO₂**: pressão parcial de oxigênio (mmHg)
- ❖ **pCO₂**: pressão parcial de gás carbônico (mmHg)
- ❖ **Ht**: hematócrito (%)
- ❖ **H₂O₂**: peróxido de hidrogênio
- ❖ **G3**: grupo com três exercícios
- ❖ **G4**: grupo com quatro exercícios
- ❖ **G5**: grupo com cinco exercícios
- ❖ **TE**: teste de exaustão
- ❖ **H⁺**: íon hidrogênio
- ❖ **CO₂**: dióxido de carbono
- ❖ **O₂**: oxigênio

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig.1:	08
Relação entre exercício físico resistido, exaustão muscular e alterações metabólicas (resposta orgânica)	

LISTA DE TABELAS

	Página
Tab. 1:	13
Valores hemogasimétricos, hemoconcentração e glicemia no momento pré teste de exaustão com 3, 4 ou 5 exercícios	
Tab. 2:	14
Delta percentual dos dados hemogasimétricos, hematócritos e glicemia após teste de exaustão com 3, 4 ou 5 exercícios	

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, foi possível observar o aumento considerável do número de publicações referente à fadiga muscular^{8,13,24}. Essa tendência, por sua vez, reflete o crescente interesse dos profissionais da saúde, sejam estes envolvidos com preparação física, treinamento desportivo ou reabilitação física, na melhor compreensão dos mecanismos relacionados a exaustão muscular.

Os estudos *in vivo* realizados em animais^{6,22} e em humanos^{2,19}, que foram e estão sendo desenvolvidos, permitem investigar as inúmeras alterações fisiológicas e metabólicas que ocorrem em resposta à exaustão do músculo. Portanto, essa abordagem constitui ferramenta essencial aos profissionais da saúde que almejam desenvolver métodos mais seguros e eficientes para o tratamento ou prevenção da fadiga muscular, além de fornecer também subsídios para a otimização de programas de treinamento.

1. O estresse do esforço físico

1.1 Respostas orgânicas frente ao exercício físico exaustivo

Visto que as respostas fisiológicas ao exercício resistido dependem do tipo e nível de treinamento, duração e intensidade do exercício, da tipologia das fibras recrutadas e das condições ambientais^{3,10,11}, estudos têm demonstrado significativa contribuição do teste de repetições máximas (RM) para a promoção do processo de desencadeamento da fadiga muscular como importante estímulo para alterações metabólicas decorrentes do treinamento resistido^{20,21}.

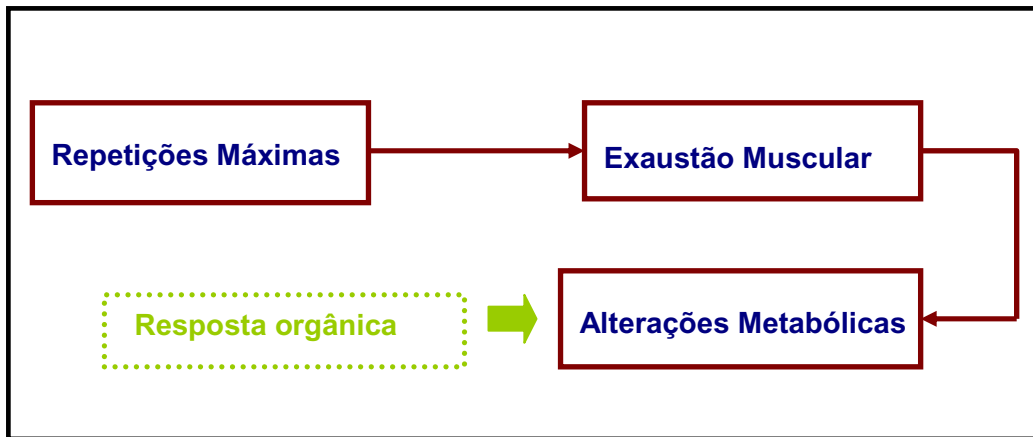


Figura 1. Relação entre exercício físico resistido, exaustão muscular e alterações metabólicas (resposta orgânica).

Podem ser citados como exemplos de fatores indicativos de fadiga muscular os parâmetros hematológicos, os ventilatórios e os imunológicos^{12,23}. Esses, por sua vez, podem ser quantificados através de indicadores, tais como: hematócrito, osmolaridade, natremia, hemoglobina, albumina, pH, HCO_3^- , lactato, amônio (NH_4), hormônios e neurotransmissores^{5,9,14}.

Considerando que a resposta orgânica à sobrecarga exaustiva pode ocorrer em intensidades diferentes dependentes do grupamento muscular exercitado²⁰, pouco se conhece sobre o impacto exaustivo de grupamentos musculares associados sobre a magnitude de variação desses indicadores sanguíneos.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo comparar a resposta dos grupos musculares associados em três, quatro ou cinco grupamentos, nos indicadores sanguíneos da acidose, glicemia e hemoconcentração ao empregar um protocolo de exaustão muscular com pesos²⁰.

CASUÍSTICA

1. Voluntários

Foram selecionados 21 jovens (20-32 anos) do sexo masculino que concordaram com os procedimentos investigativos. Todos obedeceram aos critérios de inclusão de mínimo de três anos de prática de exercícios com pesos, não tabagistas, não usuários de esteróides anabolizantes e não portadores de doenças metabólicas.

2. Considerações Éticas

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 nº150/2000-CEP MV R/ asc.

MÉTODOS

1. Teste de uma Repetição Máxima (1RM)

O teste de 1RM avalia a carga máxima de determinado exercício envolvendo grupo(s) muscular(es), por meio do uso de pesos livres e, ou máquinas de musculação. Estipula-se uma carga subjetivamente, normalmente ligeiramente abaixo do provável peso máximo a ser erguido. É dado um pequeno descanso após cada tentativa, antes de fazer-se novamente. Acresce-se carga (5, 2 ou 1 kg) dependendo do grupo muscular envolvido e o grau de dificuldade na execução do movimento anterior. É considerado como carga máxima, o maior peso levantado em uma execução do exercício pré-determinado, sem auxílio externo. (GHORAYEB *et al.*, 1999)

1.1 Avaliação da força muscular

A força muscular foi determinada por meio do teste de uma repetição máxima (1RM), envolvendo exercícios comumente realizados nos programas de treinamento de musculação de atletas de culturismo e que envolvessem os diferentes grupos musculares para a realização dos movimentos, permitindo utilização de sobrecargas mais elevadas.

Os exercícios escolhidos para o teste envolveram a musculatura do tronco, membros inferiores e dos membros superiores como descrito por PORTO *et al.*, (2008). O teste de 1RM foi realizado no dia anterior ao protocolo de exaustão.

2. Protocolo de Exaustão Muscular

Determinada a carga máxima individual para cada exercício (1RM)²⁰, 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)²⁰. Esta incapacidade de continuidade do exercício configurou o estado de exaustão muscular.

Os exercícios que compõem os grupos abaixo foram selecionados 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.

3. Avaliação de Indicadores Sanguíneos

Esta avaliação consistiu na determinação plasmática de alguns indicadores metabólicos dimensionadores da fadiga muscular por meio de

amostras coletadas mediante punção da veia cubital com agulha e seringa descartáveis. Este processo se deu em dois momentos distintos, sendo realizado pré e imediatamente pós ao teste de exaustão (TE).

Os indicadores metabólicos de fadiga estudados foram os seguintes:

- ❖ Acidose metabólica: pH, pO_2 , pCO_2 e HCO_3^- ;
- ❖ Hemoconcentração: hematócrito (Ht);
- ❖ Substrato energético: glicose.

Para as análises hemogasimétricas (pH, pO_2 , pCO_2 e HCO_3^-) foi utilizado aparelho de análise automática (Cobas Mira Plus ou Technicon- RA-XT).

A glicose foi determinada pelo método colorimétrico enzimático, onde esta é oxidada por ação da glicose oxidase, com formação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), e por ação da peroxidase, produz um composto resultante de coloração proporcional à concentração da glicose.

O hematócrito foi determinado mediante centrifugação pelo método de Microhematócrito.

4. Análise Estatística

Foi feito o teste de *Kolmogorov e Smirnov* 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 (cinco, quatro e três exercícios) “versus” momentos (pré e pós) com nível de significância” $p < 0,05$.

RESULTADOS

1. Avaliação da Exaustão

1.1 Indicadores metabólicos de fadiga

1.1.1. Acidose metabólica

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 1 e 2).

Em relação ao íon HCO_3^- , este foi o único parâmetro que apresentou diferença significativa entre os grupos, sendo o grupo 4 (G4) aquele que apresentou maior variação em relação aos demais (Tabela 2).

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 1 e 2).

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 1 e 2).

Variável	G3	G4	G5
pH	7,3±0,03	7,4±0,03	7,4±0,02
pCO_2	59,8±5	44,7±5,2	46,1±3,6
pO_2	24,7±5,1	37,1±14,8	4,2±25,6
HCO_3^-	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	85,1±3,0	88,0±16,9	89,8±4,6

Tabela 1. Valores hemogasimétricos, hemoconcentração e glicemia no momento pré teste de exaustão com 3, 4 ou 5 exercícios.

Variável	G3	G4	G5	p
pH	-1,8±1,5	-2,7±0,8	-2,8±1,2	ns
pCO ₂	-8,3±26,3	-24,7±17,3	4,7±24,0	ns
pO ₂	106,6±112,4	59,7±56,8	23,4±28,3	ns
HCO ₃ ⁻	-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	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).

Tabela 2. Delta percentual dos dados hemogasimétricos, hematócitos e glicemia após teste de exaustão com 3, 4 ou 5 exercícios.

DISCUSSÃO

A fadiga muscular nos últimos anos tem sido o escopo de investigação em inúmeras publicações pertencentes à área da fisiologia do exercício^{1,8}. 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 esquelética²⁵. 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^{7,10,17}.

Apesar dos estudos *in vivo* realizados em animais^{6,22} e em humanos^{2,19} 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 literatura¹², assim como os indicadores de acidose²⁰, variações hormonais^{12,14,15} e de substratos energéticos^{17,18} e dos seus metabólitos^{5,16,20} como parâmetros sistêmicos dimensionadores da intensidade da fadiga (exaustão)^{5,16}.

Os protocolos de indução a exaustão aplicados, caracterizados pelo exercício contínuo e com intervalo mínimo de recuperação entre as séries, com cargas diferentes repercute em respostas acentuadas nos indicadores do metabolismo anaeróbio, gerando, conseqüentemente, produção crescente de metabólitos com acúmulo de íons hidrogênio (H^+) desencadeando o estado de acidose¹⁶.

O organismo dispõe de mecanismos específicos que regulam a concentração de H^+ no sangue denominados sistemas tampões, sendo estes classificados em químicos ou fisiológicos¹⁶. 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 pH¹⁶.

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 freqüência e amplitude dos

movimentos respiratórios resultando em aumento na oxigenação sanguínea para eliminar este excedente¹⁶.

O Ht e O₂, aumentaram significativamente, sendo relacionado a fadiga muscular pelo aumento da viscosidade sanguínea e conseqüente redução no transporte de O₂, remoção do CO₂ e outros metabólitos⁴.

A glicemia aumentou significativamente após o TE, provavelmente pela descarga simpática, desencadeando a glicogenólise e neoglicogênese hepática²⁰.

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 BIBLIOGRÁFICAS

1. Allen, D.G., Lamb, G.D., Westerblad, H. Skeletal Muscle Fatigue: Cellular Mechanisms *Physiol Rev*, 88(1): 287-332 2008
2. Amann, M., Dempsey, J.A. Locomotor muscle fatigue modifies central motor drive in healthy humans and imposes a limitation to exercise performance *J. Physiol*, ; 586(1): 161-173 2008
3. Ascensão, A., Magalhães, J., Soares, J., Oliveira, J., Duarte, J.A. Exercício e stress oxidativo cardíaco. *Revista Portuguesa de Cardiologia*,2003; 22(5):651-678
4. Brun, J. F., Bouchahda, C., Chaze, D., Benhaddad, A.A, Micallef, J.P., Mercier, J. The paradox of hematocrit in exercise physiology: which is the “normal” range from a hemorheologist’s viewpoint? *Clin. Hemorheol. Microcirc.* 22:287-303, 2000
5. Cyrino E.S., Burini R.C. Modulação nutricional da fadiga. *Rev Bras Ativ Física Saúde* 1997;2(2):67-74
6. Danieli-Betto, D. Effects of fatigue on sarcoplasmic reticulum and myofibrillar properties of rat single muscle fibers. *J. Appl. Physiol* 89:891-898, 2000
7. Davis, M., Fitts, R. Mechanisms of muscular fatigue. In P Darcey, *ACSM’S resource manual - guidelines for exercise testing and prescription*, Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 184-190, 2001
8. Dimitrov, G.V, Arabadzhiev, T.I., Mileva, K.N., Boutell, J.L, Crichton, N., Dimitrova, N.A. Muscle fatigue during dynamic contractions assessed by new spectral indices vol 38 (11): 1971-1979, 2006

9. Douroudos, I., Fatouros, I. G., Mavromatidis, K., Tsitosq, T., Fotinakis, P. F., Jamourtas, A. Z., Taxildaris, K. Dose-related effects of sodium bicarbonate ingestion on acid-base balance during exhausting anaerobic exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2004;36(5) Supplements: S172
10. Enoka, R. M., Stuart, D. G. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, May 1992; 72: 1631 – 1648
11. Fitts, R. H. Cellular mechanisms of fatigue muscle. *Physiological Reviews*, Baltimore, 1994; v.74, n.1, p.49-93
12. Fleck, S.J., Kraemer, W.J. Fundamentos do treinamento de força muscular. 3ed, São Paulo: Artimed, 2006
13. Garrandes, F., Colson, S.S., Pensini, M., Seynnes, O., Legros, P. Neuromuscular fatigue profile in endurance- trained and power-trained athletes vol 39 (1):149-158, Janeiro 2007 (?)
14. Komi, P.V. Força e potência no esporte. 2ª ed. São Paulo. Artimed, 2006
15. Kraemer, W.J., Ratames, N.A. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 2005;35(4):339-61
16. Maughan, R., Gleeson, M. As bases bioquímicas do desempenho nos esportes. Ganabara Koogan: Rio de Janeiro, 2007
17. Metzger, J.M., Fitts, R.H. Fatigue from high- and lowfrequency muscle stimulation: contractile and biochemical alterations. *J Appl Physiol* 1987;62(5):2075-82

18. Myburgh, K.H. Can Any Metabolites Partially Alleviate Fatigue Manifestations at the Cross-Bridge? *Med. Sc Sports Exerc* 2004;36(1):20–7
19. Nookes, T.D., A. St. Clair Gibson, and E.V. Lambert. 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* 39:120-124, 2005
20. Porto, M., Orsatti, F.K., Borges-Santos, M.D., Burini, R.C. Impacto do exercício muscular exaustivo sobre indicadores sanguíneos em praticantes de musculação. *Rev. Bras.Cineantropom. Desempenho Hum.* 2008;10(3):230-236
21. Smilios, I., Piliandis, T., Karamouzis, M., Tokmakidis, S. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc*, 2003; 35(4): 644-54
22. Soares, D.D., Coimbra, C.C., Marubayashi, U. Tryptophan-induced central fatigue in exercising rats is related to serotonin content in preoptic area. *Neuroscience Letters* 45(3): 274-278, March 2007
23. Tsopanakis, C., Tsopanakis, A. Stress Hormonal Factors, Fatigue and Antioxidant Responses to Prolonged Speed Driving. *Pharmacol. Biochem. Behaviour*, v. 60, n. 3, p. 747-751, 1998
24. Villanueva, A.M., Hamer, P., Bishop, D. Fatigue Responses during repeated sprints matched for initial mechanical output. *Med & Sci Sports Exerc* Vol 39 (12): 2219- 2225, December 2007

25. Williams, J., Klug, G. Calcium exchange hypothesis of skeletal muscle fatigue: a brief review. *Muscle and Nerve* 18:421-434, 1995

RESUMO

Em trabalho anterior, observou-se que diferentes grupamentos musculares submetidos ao teste de exaustão (TE) com pesos respondem semelhantemente com hemoconcentração, acidose e aumento da glicemia, entretanto, com variações grupo-muscular dependentes. Nesse estudo, é comparado o efeito do impacto provocado pelo TE envolvendo, conjuntamente, 5, 4 ou 3 exercícios por meio da análise desses marcadores bioquímicos. Foram estudados 21 indivíduos do sexo masculino (20-32 anos) voluntários, familiarizados com treinamento em musculação, estratificados em três grupos de acordo com o número de exercícios: grupo 5 (n= 6) 5 exercícios (Extensão do cotovelo, desenvolvimento pela frente, supino reto, levantamento terra e agachamento), grupo 4 (n= 7) 4 exercícios (Supino reto, rosca direta com barra, agachamento *hack*, tríceps no *pulley*), grupo 3 (n= 8) 3 exercícios (Agachamento *hack*, supino reto, rosca direta) . Todos foram submetidos à sobrecarga inicial de 80% de uma repetição máxima (1RM), até a exaustão, em seguida, com auxílio externo e sem interrupção do exercício, a carga foi reduzida em 20% do peso, até a impossibilidade de continuidade de realização do exercício com a carga mínima (20% de 1RM). O sangue coletado em veia cubital antes (At) e imediatamente após (Ap) o TE foi analisado para indicadores hemogasimétricos (pH, pO₂, pCO₂, HCO₃⁻), hemoconcentração (Ht) e glicemia. O efeito do TE sobre cada variável (At/Ap) 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 pO₂ e redução do pH, PCO₂ e HCO₃⁻. Entretanto houve diferença significativa entre os grupos apenas em relação ao HCO₃⁻, no qual este apresentou maior variação no G4 em relação ao demais. Assim, esses marcadores sistêmicos respondem a exaustão muscular de modo semelhante ao envolvimento de 3, 4 ou 5 grupamentos musculares.