



Artigo original

Marcelo Porto ^{1,2,3}

Fábio Lera Orsatti ^{1,4}

Maria Dorotéia Borges-Santos ^{1,5}

Roberto Carlos Burini ^{1,6}

IMPACTO DO EXERCÍCIO MUSCULAR EXAUSTIVO SOBRE INDICADORES SANGUÍNEOS EM PRATICANTES DE MUSCULAÇÃO

IMPACT OF EXERCISING MUSCLES TO EXHAUSTION ON BLOOD MARKERS IN WEIGHT-TRAINING

RESUMO

O impacto da exaustão (com pesos) de grupos musculares, sobre indicadores sanguíneos de acidose e de hemoconcentração foi estudado em 8 jovens (20-30 anos) treinados em musculação. Todos foram submetidos a sobrecarga inicial de 80% de 1RM, até a exaustão (TE), em 8 exercícios distintos, com coleta de sangue e registro da frequência cardíaca (FC) antes (At) e imediatamente após (Ap) o TE para a determinação da glicemia, indicadores hemogasimétricos: pH, lactato (lac), NH_4^+ , pO_2 , pCO_2 , HCO_3^- e ácido úrico (AU) e hemoconcentração: hematócrito, hemoglobina, sódio (Na^+) e cloreto (Cl^-). O efeito da exaustão (At/Ap) sobre cada variável foi testado pelo teste t (Student) e a comparação entre os exercícios pela ANOVA (one way) para $\alpha=0,05$. A elevação da FC por kg levantado ocorreu de forma decrescente: rosca direta, tríceps pulley e mesa flexora, maiores ($p < 0,05$) que elevação lateral, puxador alto, supino, Hack e flexão plantar do tornozelo em pé na máquina. Com o TE observou-se, nos 8 exercícios, redução significativa do pH e HCO_3^- e elevações do lac e NH_4^+ . Os exercícios com maior número de variáveis alteradas (7 a 9) foram: rosca direta, puxador alto, supino e mesa flexora e com menor número de alterações os exercícios flexão plantar do tornozelo em pé na máquina e Hack. Estes últimos foram discriminados por NH_4^+ , lac, e HCO_3^- . Assim o estado de exaustão, com repercussões sanguíneas sistêmicas foi atingido mais rapidamente com exercícios rosca direta e mesa flexora do que os exercícios Hack e flexão plantar do tornozelo.

Palavras-chave: Exaustão muscular, Exercícios com pesos, Equilíbrio ácido básico.

ABSTRACT

Metabolic markers of physical exhaustion were evaluated in venous blood drawn from 8 men (20-30 years old) with at least 3 years' experience in weight-lifting training. They were submitted, in the morning, to an overload (exhaustion) test starting at 80% of 1 RM (one repetition maximum) on 8 muscle groups. Heart rate (HR) was measured and samples of venous blood were collected before and immediately after the exhaustion test (ET) and sent to a laboratory for blood gas analysis (pH, lactate, pO_2 , pCO_2 and HCO_3^-) and measurement of electrolytes (Na^+ , Cl^- , K^+ and Ca^{++}) and glycemia. The HR/kg ratios observed were in the following sequence of descending order: arm and hamstrings > shoulder and back > chest > quadriceps > calf. Results for NH_4^+ , pH, lactate and HCO_3^- levels were changed in all 8 muscle groups, whereas Ca^{++} , K^+ , Na^+ , Cl^- , and uric acid did not change significantly after the ET. The muscle groups: back, biceps, triceps, chest, and hamstrings exhibited changes in seven to nine indicators while only 4 to 6 biochemical indicators changed in response to shoulder, calf, and quadriceps exercises. Thus, blood markers indicating acidosis, hemoconcentration and hyperglycemia were sensitive markers although with low specificity for the eight muscle groups. Calf and quadriceps had the highest tolerance for weight loading along with the smallest HR increase and lowest number of biochemical indicators changed. Therefore, it appears possible to reach muscle exhaustion with systemic responses in the blood by working out the arm muscles and hamstrings with lighter weights than for quadriceps and calf muscles.

Key words: Muscle exhaustion, biochemical markers, resistance training

1 Centro de Metabolismo em Exercício e Nutrição (CeMENutri) -Departamento de Saúde Pública da Faculdade de Medicina(UNESP), Botucatu (SP).

2 Professor de Educação Física – Mestre em Ciências da Motricidade pelo Instituto de Biociência (UNESP), Rio Claro (SP).

3 Auxílio FAPESP – Processo nº 97/7805-0 e 96/07320-3

4 Professor de Educação Física – Doutorando em Ginecologia pela Faculdade de Medicina (UNESP), Botucatu (SP).

5 Biomédica – Doutora em Nutrição Experimental pela Faculdade de Ciências Farmacêuticas (USP), São Paulo (SP).

6 Professor Titular do Departamento de Saúde Pública pela Faculdade de Medicina (UNESP), Botucatu (SP). Coordenador do CeMENutri

INTRODUÇÃO

Fatores como intensidade e duração do trabalho muscular e conseqüentemente, o volume da massa muscular recrutada, modulam o ritmo do aparecimento da fadiga muscular. Nos programas de treinamento resistido, a ordem de execução dos exercícios consiste na realização de exercícios de grandes grupos musculares antes de exercitar os pequenos grupos musculares, como manobra para postergar a fadiga muscular^{1,2}. Esse entendimento é de particular importância na otimização dos programas de treinamento, pois sabe-se que o recrutamento miofibrilar está relacionado com o tipo de protocolo de treinamento aplicado^{2,3}.

Como as respostas fisiológicas ao exercício resistido são dependentes do tipo, duração e principalmente da intensidade, estudos têm demonstrado contribuição significativa da utilização de repetições máximas, desencadeando a exaustão muscular como importante estímulo para alterações metabólicas decorrentes do treinamento resistido^{4,5}.

Considerando que a resposta orgânica à sobrecarga exaustiva pode ocorrer por modificações hemodinâmicas, ventilatórias ou de homeostasia, em magnitudes diferentes dependentes do grupamento muscular exercitado. O exercício resistido exaustivo induz alterações metabólicas do tipo hemoconcentração e acidose⁶, quantificadas por indicadores como hematócrito, osmolaridade, natremia, hemoglobina, albumina, pH, HCO_3^- , lactato, amônio, além de hormônios e neurotransmissores^{2,7-9}. Entretanto, pouco se conhece sobre o impacto exaustivo de grupamentos musculares isolados sobre a magnitude de variação desses indicadores sanguíneos.

Assim, empregando-se um protocolo de exaustão muscular com pesos, e quantificação de indicadores bioquímicos sanguíneos, estabeleceu-se comparativamente a resposta dos grupos musculares, sequenciando-os de acordo com a intensidade de variação dos indicadores sanguíneos da acidose e hemoconcentração.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Indivíduos

Foram selecionados oito jovens (20-30 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. 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°250/96.

Avaliação antropométrica

A avaliação do peso corporal (P) foi feita por meio de balança antropométrica de plataforma (Filizolla®), com precisão de 0,1 Kg e a estatura (A) foi obtida por comparação com fita milimetrada, feita de celulose inextensível, fixada à parede, com precisão de 0,1 cm. Todos os atletas foram medidos e pesados descalços e vestindo sunga.

Avaliação da composição corporal

A avaliação da composição corporal foi feita por meio de DEXA (dual X-ray absorptiometry) em scan de corpo total. Os indivíduos, na posição supina, recebiam incidência de dois diferentes feixes de energia e, pela taxa de absorção desses, pelos tecidos corporais, avaliava-se a quantidade de tecido corporal. De posse dessas informações, pelas fórmulas do próprio equipamento, determinava-se a quantidade de massa adiposa (em gramas e porcentagem de peso) e massa magra livre de osso (em gramas). Essa avaliação foi realizada pelo equipamento HOLOGIC QDR 2000 v.5.67 (HOLOGIC®, WALTHAM, USA).

Avaliação da força muscular (1-RM)

A força muscular foi determinada por meio do teste de uma repetição máxima (1-RM) em oito exercícios, envolvendo os segmentos do tronco, membros inferiores e membros superiores. Os testes foram realizados com exercícios em máquinas, barras e pesos livres para oito grupos musculares distintos na seguinte seqüência:

1. Flexão simultânea do cotovelo (RD). Em pé com barra. Principal grupo muscular exercitado: Bíceps braquial;
2. Extensão do cotovelo (TP). Em pé no puxador alto. Principal grupo muscular exercitado: Tríceps braquial;
3. Abdução do ombro com barra acima de 90° (EL). Sentado no banco com cotovelo flexionado. Principal grupo muscular exercitado: Ombros;
4. Adução do ombro abaixo de 90° no puxador alto (PA). Sentado no banco com cotovelo flexionado. Principal grupo muscular exercitado: Grande dorsal;
5. Adução do ombro no plano transversal com barra (S). Deitado em decúbito dorsal no banco. Principal grupo muscular exercitado: Peitoral maior;
6. Extensão do quadril e joelho (H). Em pé, em ângulo de 45° recostado na máquina Hack. Principal grupo muscular exercitado: quadríceps;
7. Flexão do joelho (MF). Em decúbito ventral na mesa flexora. Principal grupo muscular exercitado: Isquiotibiais;
8. Flexão plantar do tornozelo (FP). Em pé na máquina. Principal grupo muscular exercitado: Panturrilha.

O teste de 1-RM foi realizado no dia anterior ao protocolo de exaustão. Esses exercícios foram escolhidos por serem bastante populares nos treinamentos com pesos de indivíduos com diferentes níveis de treinabilidade.

Cada um dos oito exercícios foi precedido por uma série de aquecimento (6 a 10 repetições), com aproximadamente 50% da carga estimada para a primeira tentativa no teste de 1-RM. A testagem foi iniciada dois minutos após o aquecimento. Os indivíduos foram orientados a tentar completar duas repetições. Caso fossem completadas duas repetições na primeira tentativa, ou mesmo se não fosse completada sequer uma repetição, uma segunda tentativa foi executada após um intervalo de recuperação de três a cinco minutos, com uma carga superior (primeira possibilidade) ou inferior (segunda possibilidade) àquela empregada na tentativa anterior. Tal procedimento foi repetido novamente em uma terceira e derradeira tentativa, caso ainda não se tivesse determinado a carga referente a uma única repetição máxima. Portanto, a carga registrada como 1-RM foi aquela na qual foi possível ao indivíduo completar somente uma única repetição máxima².

Protocolo de exaustão muscular

Determinada a carga máxima individual para cada exercício (1RM)², em dia anterior, cada um dos atletas realizou (na manhã do dia seguinte) o protocolo para indução da exaustão muscular^{2,10,11}. Os exercícios musculares do protocolo de exaustão foram realizados em dias diferentes (24h de intervalo), para que não houvesse interferência residual nos resultados.

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 1 RM). Esta incapacidade de continuidade do exercício configurou o estado de exaustão muscular^{7,9}.

Durante os testes de exaustão, foram registrados, para cada grupo muscular, a somatória da carga levantada e o número de repetições realizadas.

Durante os testes de exaustão, foram registrados, para cada grupo muscular, a somatória da carga levantada, o número de repetições realizadas e a mensuração da frequência cardíaca (FC), registrada pelo frequencímetro da marca POLAR (*Polar Electro Oy – Professorintie 5 KEMPELE – Finland*) com indicador digital atado ao punho e sensor acoplado ao tronco, na altura do processo xifóide. O frequencímetro foi empregado durante todos os testes de exaustão para registro das respostas cardíacas agudas durante o protocolo.

Nos momentos pré e imediatamente pós exaustão, foram avaliados os indicadores sanguíneos, por meio de amostras coletadas da veia cubital, para análises hemogasimétricas (pH, lactato, pO₂, pCO₂ e HCO₃⁻) e eletrolíticas (Na⁺, Cl⁻, K⁺ e Ca⁺⁺) em aparelho de análise automática (Cobas Mira Plus), amoniemia (kit SIGMA), glicose (glicose oxidase) e ácido úrico. A determinação do hematócrito foi realizada pelo método do Microhematócrito.

Análise estatística

Para a verificação do efeito da exaustão sobre cada uma das variáveis (antes - após), foram feitas comparações pelo teste t de Student para medidas pareadas e análise de variância "one way" para comparação entre os grupos musculares. Para todas as análises foi adotado o nível de significância de 5%.

RESULTADOS

No momento do estudo, os atletas de musculação apresentavam as seguintes características antropométricas: 80,4 ± 10,0 kg de peso, estatura 171,0 ± 2,0 cm e 14,7 ± 3,4% de gordura corporal.

Na tabela 1; verifica-se que os valores de pH sanguíneo diminuíram de forma homogênea em todos os exercícios realizados. Paralelamente, houve diminuição dos níveis de HCO₃⁻, observando-se diferença estatística para a seqüência decrescente de valores FP, H / MF/ EL, PA / EL, TP / RD / PA. A pCO₂ diminuiu para a maioria dos exercícios, com exceção da FP e EL, observando-se diferenciação significativa decrescente apenas para os exercícios EL, PA / RD / MF, RD. Já os valores de pO₂ aumentaram para todos os exercícios, sendo RD o maior e FP o menor valor. A amonemia aumentou para todos os músculos exercitados, com diferença estatística para PA (valores maiores) e RD, TP, e S os valores menores. O aumento da lactacidemia acompanhou a queda do pH e HCO₃⁻, com diferença estatística para RD maior do que FP (tabela 1).

Por outro lado, a glicemia aumentou após o exercício para todos os exercícios realizados, exceto MF e PA, sem diferença entre os grupamentos musculares exercitados (Tabela 2). As elevações de hematócrito e hemoglobina foram observadas para os exercícios RD, PA, MF e a natremia apenas nos dois últimos (tabela 2). As demais variáveis observadas (K⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻ e ácido úrico) não sofreram alteração significativa após o exercício exaustivo.

Assim, os indicadores mais sensíveis ao estresse físico foram: amônio, pH, lacticemia e HCO₃⁻ (alterados nos 8 exercícios) seguidos pela glicemia, pO₂ e hematócrito. Quanto aos exercícios executados, PA e RD foram os mais sensíveis ao estresse (respondendo a 9 indicadores de fadiga), em seguida foram S (8 indicadores), TP e MF (7 indicadores), EL e FP (6 indicadores) e H (4 indicadores).

As seqüências das cargas máximas obtidas para os grupamentos musculares testados (teste de 1RM) apresentaram, nos extremos, a FP com a maior e a MF com a menor carga (Tabela 3). O número de repetições observada no teste de exaustão foi semelhante entre os exercícios PA, RD, S, H, EL com os demais apresentando valores intermediários. A variação da frequência cardíaca observada no teste de exaustão foi estatisticamente semelhante entre os exercícios.

Letras diferentes (a b) denotam p<0,05, 1RM = carga máxima, RM = repetição máxima no teste de exaustão, FC = frequência cardíaca (delta = máxima – mínimo), RD=flexão simultânea do cotovelo, MF=flexão

Tabela 1. Variação (antes/após) dos indicadores sanguíneos (ácido-base e hemogasimétrico) frente ao teste de exaustão para oito exercícios diferentes.

		Grupos Musculares							
VARIÁVEL		RD	MF	EL	FP	S	H	PA	TP
pH	At	7,36 ± 0,021	7,36 (7,35-7,39)	7,36 ± 0,18	7,37 ± 0,02	7,35 ± 0,016	7,36(7,36-7,37)	7,36(7,34-7,38)	7,36(7,35-7,38)
	Ap	7,24 ± 0,06*	7,25 (7,18-7,29)*	7,24 ± 0,04*	7,29 ± 0,07*	7,24 ± 0,04*	7,21(7,17-7,28)*	7,24(7,16-7,27)*	7,21(7,19-7,26)*
NH ₄ (µg/dL)	At	76 (63-107)	82 ± 44	83(56-112)	80 ± 19	78 (60-98)	73(62-92)	74(66-87)	107 ± 35
	Ap	392 (300-422)*	179 ± 68*	266(126-363)*	115 ± 32*	350(292-420)*	214(154-382)*	435(285-680)*	384 ± 81*
PO ₂ (mmHg)	At	34 ± 9	31 ± 10	29 ± 6	25 ± 8	31 ± 9	31 ± 7	35 ± 13	31 ± 5
	Ap	64 ± 8*	34 ± 12	48 ± 9*	26 ± 8	58 ± 7*	38 ± 14	55 ± 21*	55 ± 10*
LACT (mmol/l)	At	1,7(1,3-1,9)	1,3(0,9-1,8)	1,6 ± 0,8	1(0,9-1,5)	1,2 (0,8-1,7)	1,4 (0,7-1,7)	1,2 (1-1,8)	1,6(1,3-1,9)
	Ap	14(11-16)*	11(7-14)*	9,5 ± 2,4*	6,6(4,3-8,3)*	11,6 (9,5-13,6)*	11(8,7-13,4)*	11,8(9,2-14,9)*	11,4(7,3-13,9)*
PCO ₂ (mmHg)	At	47,9 ± 6,4	48,4 ± 5,2	48,7 ± 2,4	50(46-51)	48,2 ± 5,7	50 ± 6,5	49 ± 6,4	47,7 ± 4,2
	Ap	36,3 ± 8*	50 ± 8	50,4 ± 7,4	50,7 (45-68)	39,4 ± 5*	46,6 ± 8,9	37,8 ± 7,5*	41,4 ± 6,1*
HCO ₃ ⁻ (mmol/l)	At	27,1 ± 2,2	28,1 ± 2	27,8 ± 1,5	28,3 ± 2,2	27,2 ± 2,6	28,4 ± 2,9	27,7 ± 2,2	27,3 ± 1,7
	Ap	15,8 ± 2,6*	21,2 ± 3,7*	21,8 ± 1,9*	25,2 ± 2,8*	17,0 ± 2,1*	19,3 ± 2*	15,8 ± 2,8*	16,9 ± 1,7*

* = p<0,05(At#Ap), At=antes, Ap = após, NH₄ = amônio, pO₂ = pressão parcial de O₂, pCO₂ = pressão parcial de CO₂, HCO₃ = Bicarbonato, RD=flexão simultânea do cotovelo, MF=flexão do joelho, EL=abdução do ombro com barra acima de 90°, FP=flexão plantar do tornozelo, S=adução do ombro no plano transversal com barra, H=extensão do quadril e joelho, PA=Adução do ombro abaixo de 90° no puxador alto, TP=extensão do cotovelo.

Tabela 2. Variação (antes/após) dos indicadores sanguíneos (hemoconcentração e glicose) frente ao teste de exaustão para oito exercícios diferentes.

		Grupos Musculares							
VARIÁVEL		RD	MF	EL	FP	S	H	PA	TP
HCT (%)	At	41.87 ± 4.22	37.37 ± 8.6	43.75 ± 5.87	37,1±10,5	40,7±5	44.25 ± 7.99	40,1±8	42.(41.2-44.5)
	Ap	47.87 ± 4.94*	46.37 ± 3.7*	43 ± 4.69	44,9±6,5*	50,7±2*	45.1 ± 3.91	47,4±8*	44(41.7-50.7)
Hb (g/dL)	At	14 ± 1.4	12.47 ± 2.87	14.57 ± 1.94	13.16 ± 3.92	14.47 ± 2.67	14.84 ± 2.64	13.30 (11.6-15.2)	14.2 ± 0.59
	Ap	15.94 ± 1.66*	15.16 ± 1.38*	14.35 ± 1.55	15.14 ± 2.06	16.14 ± 1.78	15.12 ± 1.34	16.95(15.85-17.35)*	15.39 ± 1.72
Na ⁺ (mmol/L)	At	140.75 ± 2.87	138.25 ± 4.56	142.12 ± 3.56	140.12 ± 3.56	141.75 ± 2.6	140.5 ± 3.82	141 ± 2.83	141.87 ± 4.12
	Ap	142 ± 3.93	144.5 ± 4.46*	143.62 ± 3.74	143.75 ± 3.20	144.5 ± 14.24	154.12 ± 5.34	146.5 ± 4.44*	144.5 ± 8.70
GLIC (mg/dL)	At	88.75 ± 23.11	89.37 ± 11.44	88.12 ± 13.96	81± 21.89	85.7 ± 25.04	82,4±24,6	91,8±11	87.6 ± 15.11
	Ap	112.37 ± 21.55*	92.12 ± 11.62	108.37 ± 17.32*	93±14,7*	104.4 ± 17.61*	102±27,6*	103,5±31	105.12 ± 16.22*

* = p<0,05(At#Ap), At=antes, Ap = após, HCT = Hematócrito, Hb = Hemoglobina, GLIC = Glicose, Na⁺=sódio, RD=flexão simultânea do cotovelo, MF=flexão do joelho, EL=abdução do ombro com barra acima de 90°, FP=flexão plantar do tornozelo, S=adução do ombro no plano transversal com barra, H=extensão do quadril e joelho, PA=Adução do ombro abaixo de 90° no puxador alto, TP=extensão do cotovelo.

Tabela 3. Seqüência dos exercícios com pesos de acordo com a carga máxima obtida no teste de 1RM.

		Grupos musculares exercitados							
Variáveis		FP	H	S	PA	EL	RD	TP	MF
1RM (kg)		236±35a	161±25c	95±16b	78±12bd	70±10bd	51±9de	37±5e	32±7e
RM (n°)		86±23ab	86±42a	97±36a	121±43a	17±5b	104±26a	76±27ab	65±28ab
FC (delta)		83±25	98±26	99±35	98±17	99±41	106±23	100±30	89±19

do joelho, EL=abdução do ombro com barra acima de 90°, FP=flexão plantar do tornozelo, S=adução do ombro no plano transversal com barra, H=extensão do quadril e joelho, PA=Adução do ombro abaixo de 90° no puxador alto, TP=extensão do cotovelo.

Os exercícios que apresentaram menor relação do número de batimentos cardíacos por kg levantado foram: FP, H e S. Os exercícios com maiores incrementos de FC por kg levantado para atingir a exaustão foram: RD, TP e MF (figura 1).

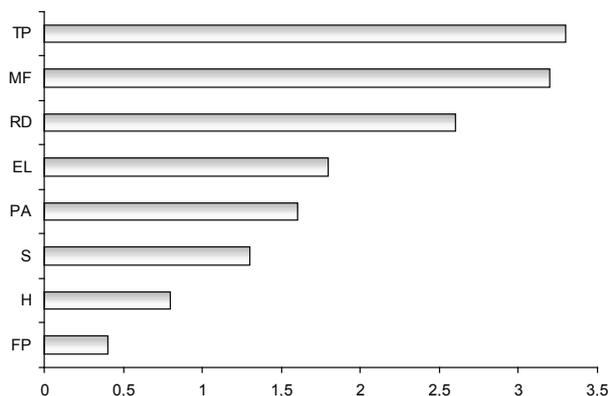


Figura 1. Variação da Frequência cardíaca pela carga máxima (FC/kg) no teste de 1 RM em oito exercícios diferentes.

RD=flexão simultânea do cotovelo, MF=flexão do joelho, EL=abdução do ombro com barra acima de 90°, FP=flexão plantar do tornozelo, S=adução do ombro no plano transversal com barra, H=extensão do quadril e joelho, PA=Adução do ombro abaixo de 90° no puxador alto, TP=extensão do cotovelo.

DISCUSSÃO

O uso do teste de 1RM como ponto de referência para o teste de exaustão em grupamentos musculares, vem sendo sugerido pela literatura², assim como os indicadores de acidose^{6,11-13}, variações hormonais^{7,8,14} e de substratos energéticos^{15,16} e dos seus metabólitos^{7,17-19} como parâmetros sistêmicos dimensionadores da intensidade da fadiga (exaustão)^{16,29}.

O protocolo de indução de exaustão muscular aplicado, caracterizado pela continuidade do exercício com o mínimo de intervalo de recuperação (< 60 seg.) entre as séries realizadas, com as diferentes cargas, resulta em repercussões acentuadas nos indicadores do metabolismo anaeróbico. Conseqüentemente, há produção crescente de metabólitos com acúmulo de H⁺ e estado de acidose¹⁸.

Assim, há maior perfusão da região exercitada pelo aumento do débito cardíaco e do retorno venoso, paralelamente ao tamponamento da acidez (pelo lactato, HCO₃⁻ e NH₄)^{6,19}.

Tanto as alterações hemodinâmicas como as dos substratos energéticos têm em comum o controle humoral da descarga simpática. Como alteração cardiovascular tem-se taquicardia e redução da resistência vascular periférica (via óxido nítrico e

prostaglandinas) e como principal alteração metabólica a glicogenólise e a lipólise¹⁹. A pequena e efetiva ação adrenocortical (cortisol) se dá basicamente no sentido de glutaminogênese e neoglicogênese com resultados no tamponamento de H⁺ e neoglicogênese a partir do lactato, alanina e glutamina^{19,20}. No presente trabalho, a glicemia aumentou significativamente (pós exaustão) em todos os grupos musculares, assim como o amônio e o lactato.

Paralelamente, há ativação do centro bulbar (pelo H⁺ e pCO₂) aumentando a frequência e amplitude dos movimentos respiratórios, resultando em maior oxigenação sanguínea e maior excreção de CO₂ como forma de consumir o ácido carbônico (H₂CO₃ e H⁺) formado¹⁹.

A redução do pH com elevação da amonemia, lactato e redução de HCO₃⁻ e pCO₂, foram achados comuns na maioria dos grupamentos musculares, com o teste de exaustão. Houve, entretanto, certa diferenciação entre eles quanto à magnitude das variações observadas.

A FP e H possibilitaram cargas superiores a 150 kg enquanto bíceps, tríceps e isquiotibiais apresentaram cargas bem inferiores. Sabidamente, grupamentos musculares maiores, como os primeiros, permitem maior força². Inerentemente ao tipo de teste de exaustão utilizado, o número de repetições foi variável entre os exercícios. Assim, RD e TP foram os únicos exercitados com mais de 100 repetições médias até a exaustão, enquanto os demais oscilaram entre 80 e 100, e o menor a FP.

O número de repetições (para atingir a exaustão) não se relacionou ao tamanho do grupamento muscular exercitado como a relação apresentada entre volume massa muscular recrutada e carga deslocada. Existe a possibilidade de que, com os músculos sinérgicos descansados, os grandes músculos do tronco poderiam realizar mais repetições para cada carga e afetar diferentemente os indicadores de fadiga. De qualquer modo, a eficiência na execução do trabalho muscular (kg/rep) pareceu guardar relação com o tamanho do grupamento muscular, de maneira que a FP (2,74), H (1,87), S (0,88), PA (0,64), e EL (0,60) apresentaram valores maiores que RD (0,48), TP (0,49) e MF (0,48). Entretanto, mesmo não apresentando trabalho muscular (de carga) tão eficiente como os dos grandes músculos, o exercício do RD mostrou a maior e a FP a menor variação de FC, durante o teste de exaustão, que os demais.

A frequência cardíaca relaciona-se com o tamanho do músculo exercitado, isto é, grupos musculares menores oferecem maior resistência vascular ao fluxo sanguíneo que tende a ser compensada com aumento da frequência cardíaca²¹.

É interessante notar a inversão de posicionamento FP-RD no escalonamento de kg/rep. e FC. No segundo caso, apenas o RD, como grupamento menor, quebrou a seqüência de maiores incrementos de batimentos cardíacos de grupamentos musculares grandes, ou seja, exceto RD (e FP) a FC no teste exaustivo, estaria relacionado com o tamanho e intensidade

(eficiência) do grupo muscular trabalhado. No geral, o trabalho muscular com maior sobrecarga ventricular (FC/kg – Figura 2) foi o realizado pelos exercícios dos membros superiores (RD e TP) acrescido pelo MF. Complementarmente, o menor esforço cardiovascular seria a sobrecarga da musculatura utilizada na posição ortostática, com movimento para frente (H e FP).

Associadamente ao maior incremento dos batimentos, o fadigamento foi conseqüente ao maior número de repetições (TP e MF). Com o grande número de repetições há maior número de contrações e relaxamentos dos músculos que circundam os vasos permitindo seu massageamento e maior retorno venoso, o que conjuntamente com maior débito cardíaco possibilitaria maior perfusão da área exercitada e retardo da fadiga^{19,23}. Para tanto, há participação do sistema adrenérgico (estimulado pelo massageamento dos vasos) com vasodilatação local e inotropismo cardíaco. O ácido láctico isolado, a hipoxia e os metabólitos do ATP (principalmente a inosina) mostram ação vasodilatadora local, assim como a própria acidose^{19,23}.

Os indicadores sangüíneos utilizados com maior sensibilidade ao protocolo de exaustão foram o lactato, o HCO_3^- e o amônio, seguidos pelo pCO_2 e pO_2 .

Os grupamentos musculares dos membros superiores tiveram maiores respostas metabólicas à exaustão e elevação da frequência cardíaca. Isto poderia levar ao aumento da descarga adrenérgica pela ampla ramificação do sistema nervoso periférico nos grupamentos do braço e rápida remoção de metabólitos (H^+ , lactato, amônio e CO_2) e maior oxigenação sangüínea^{22,23}.

Por outro lado, o exercício com menor resposta metabólica à exaustão foi a FP, que apesar da maior carga levantada, o fez com o menor incremento de batimentos cardíacos e menor elevação de amonemia e do pO_2 .

Dos cinco indicadores mais sensíveis ao protocolo de exaustão (pH , NH_4^+ , lactato, HCO_3^- , e glicose) três (NH_4^+ , lactato e HCO_3^-) indicativos de acidose discriminaram os dois extremos de sobrecarga cardíaca (FC/Kg levantado). Os exercícios representativos desses extremos, foram o braço (RD + TP) e a perna-coxa (FP + H)

A amônia (NH_3^+) é uma substância neuromoduladora que tem sido relacionada com a fadiga durante o treinamento com pesos. Sua participação pode ser tanto em nível celular, reduzindo a respiração da mitocôndria, quanto em nível central, promovendo hiperpnéia ou alterando concentrações de neurotransmissores^{19,25-27}.

Durante o exercício breve (segundos a poucos minutos) e intenso, a principal fonte de amônia é a desaminação do AMP, de modo que neste tipo de exercício a AMP desaminase constituiu-se em enzima chave na amoniogênese^{19,23-25,27}. Dentre os moduladores da AMP-desaminase figuram além do aumento do AMP livre, os aumentos do ADP livre e do H^+ . Em humanos 25% do amônio produzido pelo músculo é liberado no plasma durante os 3 primeiros minutos de exercício

intenso^{19,24,27}.

Além da fonte citosólica (AMP desaminase) há a fonte mitocondrial do amônio pela desaminação dos aminoácidos de cadeia ramificada. A produção mitocondrial é mais comum nos exercícios de longa duração (horas) associados à maior atividade oxidativa intramuscular dos aminoácidos de cadeia ramificada^{19,25-27}.

As respostas metabólicas ao exercício exaustivo com acidose metabólica, hemoconcentração e elevação da glicemia são plenamente descritas, mas de forma mais escassa nos exercícios com pesos e desconhecida para grupamentos musculares isolados, tornando difícil a análise comparativa dos resultados do presente trabalho.

CONCLUSÃO

As variáveis sangüíneas utilizadas permitiram a discriminação das respostas de diferentes exercícios com pesos ao modelo de exaustão a partir do teste de 1RM. Os diferentes indicadores: carga levantada, número de repetições, variação de frequência cardíaca e marcadores sangüíneos da acidose, hemoconcentração e homeostase glicêmica permitiram discriminar os exercícios RD e MF como os mais sensíveis e ET e o H como os mais resistentes à exaustão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lambert CP, Flynn MG. Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Medicine* 2002;32(8):511-22
2. Fleck SJ, Kraemer WJ. Fundamentos do treinamento de força muscular. 3ed, São Paulo: Artimed, 2006.
3. Hakkinen K. Neuromuscular and hormonal adaptation during strength and power training. *J Sports Med* 1989;29:9-26.
4. Smilios I, Piliandis T, Karamouzis M, Tokmakidis S. Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35(4):644-54
5. Clasey JL. Effect of a single bout of exercise on 4-hr and 24-hr growth hormone (GH) release in young and older subjects. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(5):17-26.
6. Douroudos I, Fatouros IG, Mavromatidis K, Tsitsiosq T, Fotinakis PF, Jamourtas AZ, Taxildaris K. Dose-related Effects of Sodium Bicarbonate Ingestion on Acid-base Balance During Exhausting Anaerobic Exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(5) Supplement:S172.
7. Komi PV. Força e potência no esporte. 2ª ed. São Paulo. Artimed, 2006
8. Kraemer WJ, Ratamess NA. Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med* 2005;35(4):339-61.
9. Cyrino ES, Burini RC. Modulação nutricional da fadiga. *Rev Bras Ativ Física Saúde* 1997;2(2):67-74
10. Raastad T, Glomsheller T, Björk T. Changes in human skeletal muscle contractility and hormone status during 2 weeks of heavy strength training. *Eur J Appl Physiol* 2001;84:54-63
11. Rodrigues CEC, Rocha PECP. Musculação: Teoria e prática. Rio de Janeiro: Sprint, 1985
12. Cirino ES. Efeito da suplementação protéica sobre

- indicadores metabólicos da fadiga em atletas de culturismo. Tese de Dissertação de Mestrado. Rio Claro-SP, 1996
- 13 Hermansen L, Osnes J. Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol* 1972;32:304-8
 - 14 Sahlin K, Alvestrand A, Brandt R, Hultman E. Acid-base balance in blood during exhaustive bicycle exercise and the following recovery period. *Acta Physiol Scand* 1978;104(3):370-2.
 - 15 Metzger JM, Fitts RH. Fatigue from high- and low-frequency muscle stimulation: contractile and biochemical alterations. *J Appl Physiol* 1987;62(5):2075-82
 - 16 Myburgh KH. Can Any Metabolites Partially Alleviate Fatigue Manifestations at the Cross-Bridge? *Med. Sci Sports Exerc* 2004;36(1):20-7.
 - 17 Hakkinen K, Pakarinen A. Acute hormonal reposts to two different fatiguing heavy-resistance protocols in male athletes. *J Appl Physiol* 1993;74(2):882-7
 - 18 Li JL, Wang XN, Fraser SF, Carey MF, Wrigley TV, McKenna MJ. Effects of fatigue and training on sarcoplasmic reticulum Ca regulation in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*. 2002; 92: 912-22.
 - 19 Maughan R, Gleeson M. As bases bioquímicas do desempenho nos esportes. Ganabara Koogan: Rio de Janeiro, 2007
 - 20 Farinatti FTV. Fadiga. In Monteiro WD. *Fisiologia e avaliação funcional*. Rio de Janeiro: Sprint, 1992: 161-86
 - 21 Sahlin K, Freyschuss U, Hultman E, Sjöholm H. Effect of short-term CO₂-breathing on the CO₂ content and intracellular pH in skeletal muscle of man. *Clin Physiol* 1981;1(5):495-502.
 - 22 Newsholme EA, Blomstrand E, Ekblom B. Physical and mental fatigue: metabolic mechanisms and importance of plasma amino acids. *Br Med Bull*. 1992 ;48(3):477-95.
 - 23 Astrand PO, Rodahl K, Dahls HA, Stromme SB. *Tratado de fisiologia do trabalho*. 4ªed. São Paulo, 2006
 - 24 Tuttle JL, Potteiger JA, Evans BW, Ozmun JC. Effect of acute potassium-magnesium aspartate supplementation on ammonia concentrations during and after resistance training. *Int J Sport Nutr* 1995;5(2):102-9
 - 25 Wilmore JH, Costill DL. *Fisiologia do esporte e do exercício*. 2ªed. Manole, Human Kinetic, 2001.
 - 26 Graham TE, Turcotte LP, Kiens B, Richter EA. Effect of endurance training on ammonia and amino acid metabolism in humans. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29(5):646-53. Review.
 - 27 Graham TE, Bangsbo J, Gollnick PD, Juel C, Saltin B. Ammonia metabolism during intense dynamic exercise and recovery in humans. *Am J Physiol* 1990;259:E170-6.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores de Educação Física, Renato Rocha e Andréia Nadai pela seleção dos indivíduos e auxílio no protocolo de exaustão e a técnica de laboratório Camila Renata Correia pelo auxílio nas dosagens bioquímicas.

Endereço para correspondência

Roberto Carlos Burini
Rua Distrito de Rubião Júnior, s/n
UNESP/FM/BOTUCATU
CEP: 18618-970 - Botucatu, SP, Brasil
E-mail: burini@fmb.unesp.br

Recebido em 18/03/07
Revisado em 27/08/07
Aprovado em 14/09/07