

## Influência do Treinamento Físico Intenso Sobre o Metabolismo de Proteínas

Gustavo Puggina Rogatto  
Eliete Luciano  
Universidade Estadual Paulista

**Resumo**—Com o objetivo de investigar os efeitos do treinamento físico intenso sobre parâmetros relacionados ao crescimento e ao metabolismo protéico nas condições de repouso e pós-exercício, ratos Wistar foram distribuídos em grupos sedentário (S) e treinado (T). O grupo T realizou 4x10 saltos/dia em piscina, suportando uma sobrecarga equivalente à 50% da massa corporal durante 6 semanas. Ao final deste período os animais foram sacrificados nas condições de repouso e pós-exercício para análise da glicose e insulina séricas, proteínas, DNA e razão proteínas/DNA muscular [porções branca (PB) e vermelha (PV) do gastrocnêmio]. A ANOVA mostrou um aumento da glicemia e diminuição da insulinemia pós-exercício. Somente o grupo S apresentou mobilização de proteínas da PB do músculo na condição pós-exercício. A realização da sessão aguda reduziu a razão proteína/DNA no grupo S. Concluímos que o exercício físico proposto atua somente na condição aguda mobilizando substratos protéicos da PB do músculo estudado.

Palavras-chaves: Treinamento físico intenso, metabolismo de proteínas, insulina, DNA muscular, exercício agudo.

**Abstract**—“Influence of high intensity physical training on protein metabolism.” The aim of this study was to investigate the effects of intense physical training on parameters related to growth and protein metabolism in both rest and post-exercise conditions. Wistar rats were distributed into Sedentary (S) and Trained (T) groups. Trained group performed 4x10 jumps/day for six weeks into a swimming pool, supporting a load of 50% of body weight. At the end of the experimental period rats were sacrificed in both rest and post-exercise conditions and analyzed for serum glucose and insulin, muscular (red (R) and white (W) gastrocnemius) protein, DNA and protein/DNA ratio. ANOVA showed an increase in glycaemia and a decrease of insulinemia in the post-exercise condition. The Sedentary group presented protein mobilization in W after acute exercise. Acute exercise also reduced the protein/DNA ratio in the S group. It was concluded that high intensity exercise acts only in acute conditions, depleting protein stores of white gastrocnemius muscle.

Key words: High intensity physical training, protein metabolism, insulin, muscular DNA, acute exercise.

### Introdução

O exercício físico tem sido apontado por alguns autores como promotor de bem estar e saúde aos seus praticantes, contribuindo favoravelmente com os sistemas circulatório, respiratório, imunológico entre outros, e reduzindo os riscos de distúrbios relacionados ao sedentarismo (Åstrand, 1991; Radak et al., 1999; Rogatto & Luciano, 2001a). A prática da atividade física também pode resultar em algumas adaptações bioquímicas como, por exemplo, aumentando as reservas energéticas e melhorando o perfil metabólico de diversos tecidos (Wong & Booth, 1990a, b). Tais adaptações têm íntima relação com a capacidade do organismo em realizar trabalho muscular e pode representar um importante fator para o desempenho físico (MacDougall, 1992). O metabolismo de carboidratos é uma via energética que pode se beneficiar pelos efeitos do treinamento físico, podendo apresentar favorecimentos das reservas de glicogênio em diferentes tecidos como músculo, fígado e coração (Donovan & Brooks,

1983; Henriksson, 1992; Luciano & Mello, 1998; Rogatto & Luciano, 2000b). O conteúdo protéico-muscular também pode sofrer influência do exercício crônico, refletindo em aumento deste substrato (Luciano & Mello).

A insulina é um importante regulador da síntese protéica e da proteólise no músculo esquelético, sendo que o balanço entre estes dois processos fisiológicos determinam a massa muscular (Smith, Wong & Gelfand, 1989; Kimball, Vary & Jefferson, 1994; Farrell et al., 1999b). Os efeitos anabólicos da insulina resultantes do exercício físico podem, ainda, estimular o transporte de aminoácidos para dentro da célula e/ou aumentar, ao nível ribossômico, a eficiência do processo de tradução, atuando na etapa de iniciação da síntese protéica (O'Brien & Granner, 1991). A redução ou atrofia muscular é uma característica freqüentemente observada em indivíduos com deficiência insulínica severa, como no quadro de diabetes (Flaim, Copenhaver & Jefferson, 1980; Jefferson, 1980; Luciano & Mello, 1998). Alguns estudos têm mostrado um comprometimento da evolução da massa

corporal, além de retardo da estatura e do processo de maturação pela privação de insulina (Adams, 1998; Luciano et al., 1998). Contrariamente, o treinamento físico pode minimizar e/ou reverter alguns prejuízos decorrentes desta deficiência insulínica, como em organismos diabéticos. Em um estudo de Mandroukas et al. (1986), onde pacientes diabéticos insulino-dependentes realizaram uma combinação de exercícios, foi observado um aumento da área das fibras musculares do tipo II (principalmente IIa). Entretanto, embora estes dados sugiram que a massa muscular de indivíduos diabéticos do tipo I pode aumentar pela ação do treinamento físico, alguns autores resistem a estes achados (Farrell et al., 1999a), o que gera dúvidas quanto aos benefícios do exercício sobre o metabolismo protéico em alguns organismos.

A presença de maiores teores protéicos no músculo esquelético pode dever-se a um aumento da área de secção transversa da fibra muscular e/ou a uma maior quantidade de fibras musculares pela ação do treinamento físico (MacDougall, Sale, Elder & Sutton, 1982; Tesch & Larsson, 1982; Gonyea, Sale, Gonyea & Mikesky, 1986; Alway, Grumbt, Gonyea & Stray-Gundersen, 1989a; Alway, Winchester, Davis & Gonyea, 1989b; Goldspink, 1992; MacDougall, 1992; Alway, 1994; Antonio & Gonyea, 1994). Essa resposta hipertrófica ou hiperplásica do músculo ao exercício físico pode ser indiretamente determinada pela razão proteínas totais/DNA e pela concentração de DNA muscular respectivamente, como reportado por Luciano e Mello (1998).

Embora as respostas metabólico-protéicas ao exercício físico venham sendo investigadas, ainda não existem dados conclusivos sobre o efeito da atividade física sobre o desenvolvimento muscular. Além disso, muitos estudos envolvendo treinamento físico para animais têm se utilizado de atividades de caráter aeróbio de longa duração e moderada intensidade, o que deixa uma lacuna sobre os efeitos da realização de esforços mais intensos sobre o perfil protéico do músculo esquelético (Azevedo, 1994; Souza & Luciano, 1996; Luciano & Mello, 1998; Peres et al., 1998; Luciano & Mello, 1999; Luciano, 2000).

Assim, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos do treinamento físico de alta intensidade sobre o metabolismo de proteínas nas condições de repouso e pós-exercício em ratos.

## Método

### Animais

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados ratos machos jovens (aproximadamente 60 dias) Wistar (*Rattus Norvegicus albinus*, Wistar). Os animais provenientes do biotério central da UNESP de Botucatu foram mantidos no biotério do Laboratório de Biodinâmica do Departamento de Educação Física do Instituto de Biociências, UNESP de Rio Claro. Os ratos foram alimentados com ração balanceada padrão (Purina) e água "*ad libitum*" e distribuídos

em gaiolas coletivas (com cinco ratos por gaiola) à temperatura ambiente controlada de 25°C e fotoperíodo de 12h claro/12h escuro (7:00/19:00h).

Os animais foram distribuídos aleatoriamente nos seguintes grupos experimentais (Quadro I):

**Quadro 1:** Distribuição dos animais nos grupos experimentais.

Sedentário Repouso	(SR):	Animais sedentários mantidos em repouso no dia do sacrifício. (n=10)
Sedentário Agudo	(SA):	Animais sedentários submetidos ao exercício agudo no dia do sacrifício. (n=10)
Treinado Repouso	(TR):	Animais treinados mantidos em repouso no dia do sacrifício. (n=10)
Treinado Agudo	(TA):	Animais treinados submetidos ao exercício agudo no dia do sacrifício. (n=10)

### Treinamento Físico

Após um período de adaptação ao meio líquido (uma hora de natação por dia durante dois dias sem utilização de carga), os animais dos grupos TR e TA realizaram um programa de atividade física que constituiu de saltos em tanque com água, com sobrecarga equivalente à 50% do peso corporal de cada animal acoplado ao tórax. A sessão de treinamento consistiu na realização de quatro séries de dez saltos (4x10) com um minuto de intervalo entre as séries. Foram feitas cinco sessões semanais de treinamento durante seis semanas. A temperatura da água foi mantida entre 30°C e 32°C por ser considerada termicamente neutra em relação à temperatura corporal do rato (Azevedo, 1994).

Os saltos foram realizados em um tubo de PVC com 250mm de diâmetro, visando limitar a alternativa do animal em seguir para outra direção, favorecendo dessa forma o salto. O tubo com fundo vazado foi colocado em tanques de amianto com 100 cm de comprimento, 70 cm de largura, com água numa profundidade correspondente à 150% do comprimento corporal do rato.

### Parâmetros avaliados durante o treinamento

Durante o período de treinamento, uma vez por semana, foi avaliado o peso corporal (em gramas) dos animais em balança analítica, e o comprimento corporal (em centímetros) pela utilização de régua de precisão com os animais dispostos sobre uma bancada. Além disso, uma vez por semana, foi medido o consumo de alimento e água durante o período de 24 horas.

### Sacrifício dos animais e análises bioquímicas

Ao final do período experimental de seis semanas os animais foram mantidos em repouso por 48 horas em relação à última sessão de exercício sem jejum prévio. Os animais dos

grupos SR e TR foram sacrificados nesta condição, e os dos grupos SA e TA foram submetidos à uma sessão de exercício (quatro séries de dez saltos, suportando sobrecarga equivalente à 50% da massa corporal) antes do sacrifício.

O sacrifício deu-se por decapitação em guilhotina para coleta de sangue em tubos de vidro sem anticoagulante, que após dez minutos de centrifugação à 3000rpm foi utilizado para avaliação da glicose (método enzimático da glicose-oxidase) (Henry, Cannon & Wilkeman, 1974) e insulina sérica (radioimunoensaio - Kit Coat-A-Count, USA).

Imediatamente após o sacrifício foi realizada uma incisão mediana na pata traseira direita para a retirada de amostras do músculo gastrocnêmio (porções branca e vermelha). A identificação das referidas porções foi feita pela localização (porções periféricas e centrais) e coloração do músculo. A amostra foi pesada e utilizada para a análise das proteínas de acordo com técnica proposta por Lowry, Rosebrough, Farr e Randall (1951), e do DNA muscular pelo método da difenilamina (Giles & Myers, 1965).

#### Análise estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente por teste t-Student para amostras independentes, análise de variância e teste post-hoc de Bonferroni ( $p < 0.05$ ).

## Resultados

#### Parâmetros avaliados durante o treinamento

Na Tabela 1 são apresentados os valores referentes ao ganho de peso e crescimento corporal, e as evoluções alimentar e hídrica dos animais após o período experimental. No decorrer das 6 semanas de experimento os animais dos grupos sedentário e treinado apresentaram um aumento significativo do peso corporal em relação aos valores de base. Contudo não foram encontradas diferenças significativas do ganho absoluto (medido em gramas) e relativo (%) da massa corporal entre S e T.

Embora os animais de ambos os grupos tenham apresentado uma tendência ao aumento do comprimento corporal, não foram observadas diferenças significativas do crescimento. Também não foram detectadas diferenças entre T e S quanto ao crescimento absoluto e relativo.

Ao final das seis semanas, os animais dos grupos S e T apresentaram um aumento significativo do consumo alimentar em relação ao início do estudo. Contudo, não foram encontradas diferenças no consumo absoluto e relativo entre os grupos T e S. Ambos os grupos mostraram incrementos da ingestão hídrica (absoluta e relativa) em relação aos valores de base.

#### Parâmetros avaliados após o sacrifício

Após o final do período experimental de seis semanas,

os animais foram sacrificados nas condições de repouso e pós-exercício sem jejum prévio. O sacrifício deu-se por decapitação em guilhotina sendo, imediatamente, feitas coletas de sangue e tecidos.

Tabela 1. Parâmetros avaliados no início e ao final do período experimental de animais sedentários e treinados. Valores expressos em média  $\pm$  desvio padrão.

	Sedentário (n=20)	Treinado (n=20)	
Peso inicial (g)	165.9 $\pm$ 35.9	162.6 $\pm$ 24.1	N.S.
Peso final (g)	331.1 $\pm$ 46.1*	313.0 $\pm$ 41.6*	N.S.
Ganho de peso (%)	102.8 $\pm$ 20.4*	93.85 $\pm$ 20.4*	N.S.
Comprimento inicial (cm)	18.4 $\pm$ 1.0	18.8 $\pm$ 0.9	N.S.
Comprimento final (cm)	22.1 $\pm$ 1.2	21.9 $\pm$ 0.6	N.S.
Crescimento (%)	20.2 $\pm$ 7.8	16.2 $\pm$ 3.8	N.S.
Consumo alimentar(g/100g)	8.7 $\pm$ 0.4*	8.9 $\pm$ 2.0*	N.S.
Consumo alimentar (%)	40.1 $\pm$ 2.6*	40.1 $\pm$ 11.7*	N.S.
Ingestão hídrica (ml/100g)	5.2 $\pm$ 0.7*	9.9 $\pm$ 2.3*	0.0001
Ingestão hídrica (%)	14.4 $\pm$ 3.7*	34.7 $\pm$ 11.1*	0.0001

N.S. Diferenças não significativas entre os grupos sedentário e treinado.

\*Diferenças significativas em relação aos valores do início do estudo.

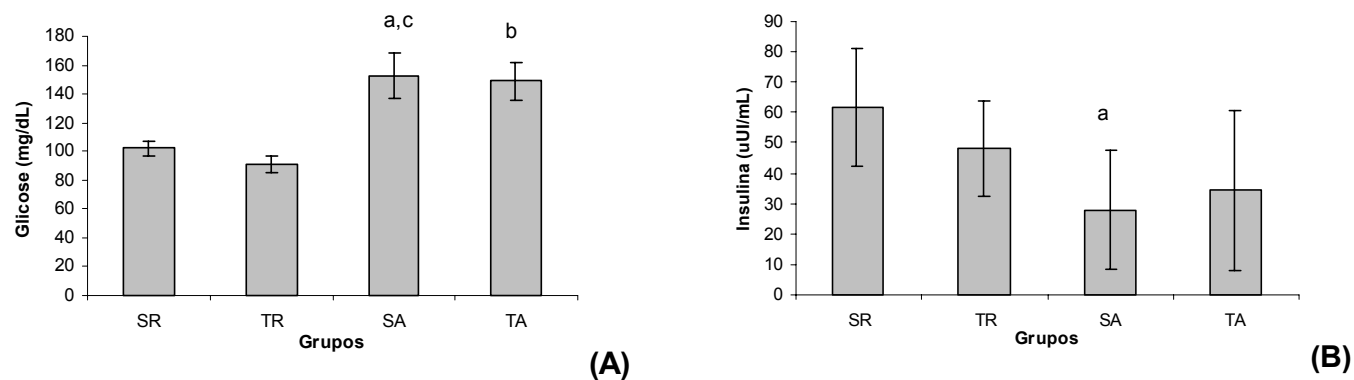
Na Figura 1 são apresentados os valores médios referentes à glicose e insulina séricas dos animais sedentários e treinados em ambas as condições, de repouso e após exercício agudo. Tanto o grupo S quanto o grupo T apresentaram aumentos da glicemia após a realização do exercício agudo ( $p < 0.05$ ). Contudo, não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre SR e TR, e entre SA e TA. A insulinemia dos animais controles e exercitados não mostraram-se diferentes na condição de repouso (SR e TR) e pós-exercício (SA e TA). Somente o grupo sedentário apresentou uma redução da concentração sérica de insulina após a realização da sessão de esforço ( $P < 0.05$ ).

Na Figura 2 são apresentados os valores referentes às proteínas totais das porções branca (Figura 2a) e vermelha (Figura 2b) do músculo gastrocnêmio. Não foram encontradas diferenças significativas pela ação do treinamento físico (SR vs. TR e SA vs. TA) no conteúdo protéico tanto da porção branca quanto da vermelha do músculo estudado. Somente a porção muscular branca do grupo sedentário apresentou significativa mobilização deste substrato após a realização aguda do exercício.

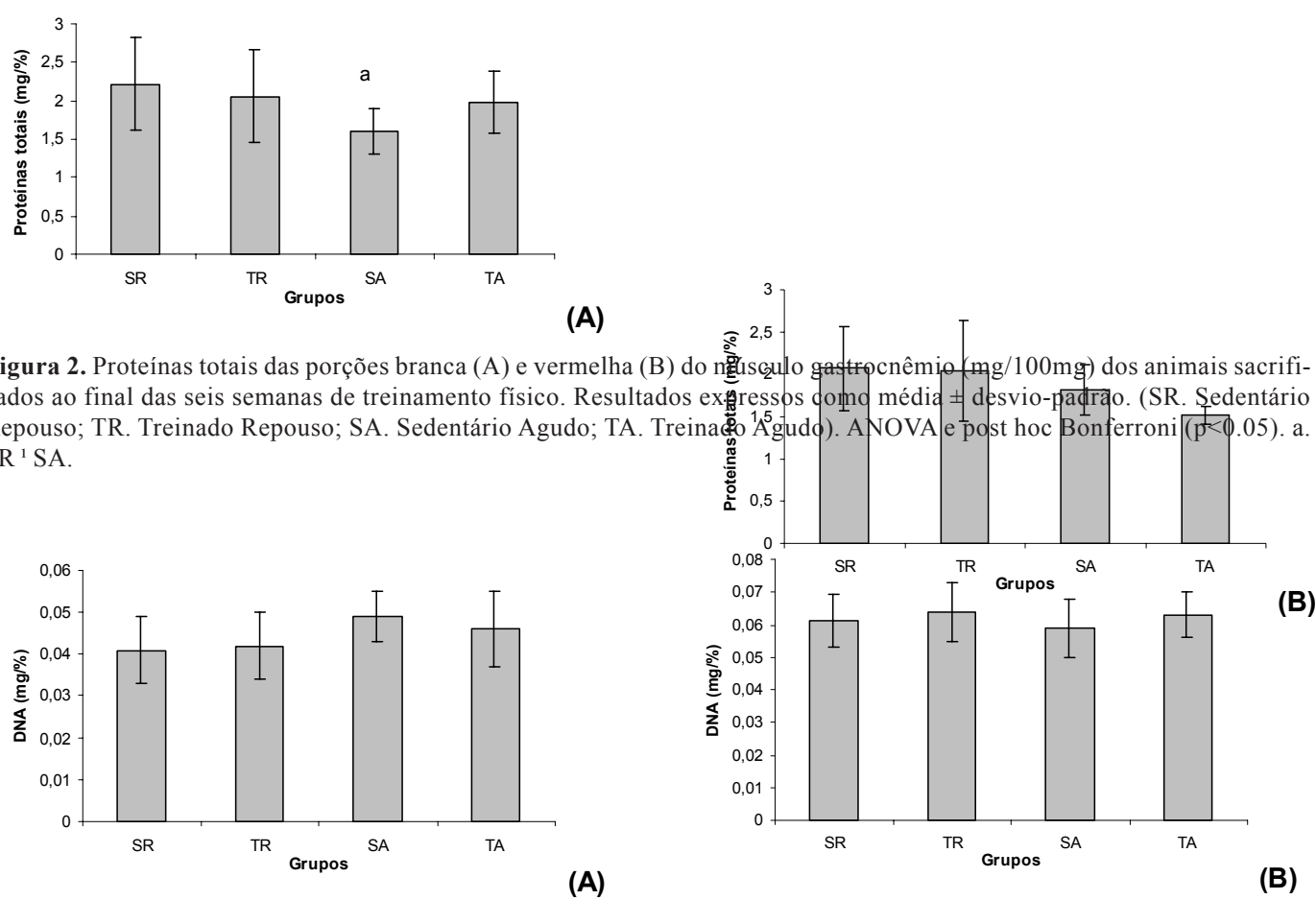
As concentrações de DNA muscular das porções branca e vermelha não se alteraram pela realização aguda ou crônica do exercício físico (Figura 3). Os animais do grupo sedentário apresentaram uma redução da razão proteínas/DNA da porção branca do músculo gastrocnêmio após a realização

da sessão única de exercício (Figura 4a), o que contribuiu com a observação de diferenças entre SA e TA. Não foram encontradas diferenças significativas na razão proteínas/

DNA da porção muscular vermelha entre os quatro grupos estudados (Figura 4b).

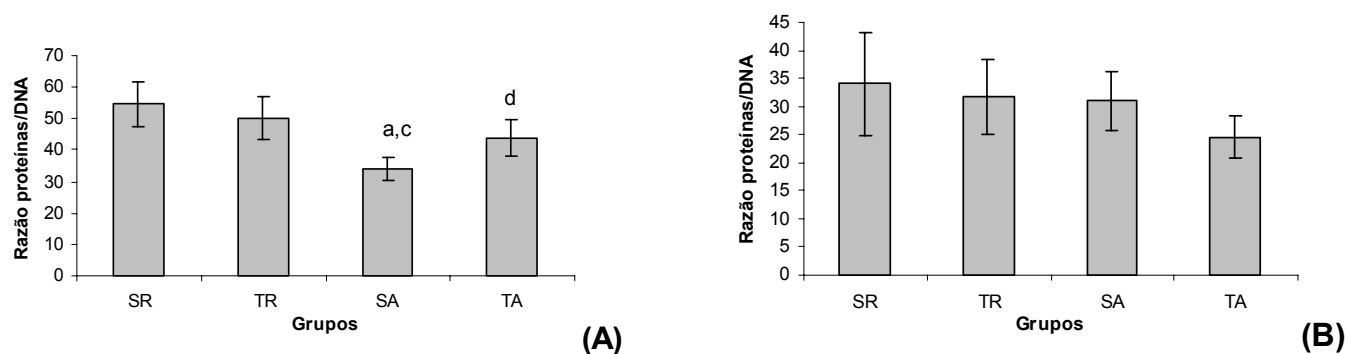


**Figura 1.** Glicose (mg/dL) (A) e insulina sérica (mUI/mL) (B) dos animais sedentários e treinados nas condições de repouso e pós-exercício (SR. Sedentário Repouso; TR. Treinado Repouso; SA. Sedentário Agudo; TA. Treinado Agudo). ANOVA e post hoc Bonferroni ( $p < 0.05$ ). a. SR <sup>1</sup> SA. b. TR <sup>1</sup> TA. c. TR <sup>1</sup> SA. Valores médios  $\pm$  desvios-padrões.



**Figura 2.** Proteínas totais das porções branca (A) e vermelha (B) do músculo gastrocnêmio (mg/100mg) dos animais sacrificados ao final das seis semanas de treinamento físico. Resultados expressos como média  $\pm$  desvio-padrão. (SR. Sedentário Repouso; TR. Treinado Repouso; SA. Sedentário Agudo; TA. Treinado Agudo). ANOVA e post hoc Bonferroni ( $p < 0.05$ ). a. SR <sup>1</sup> SA.

**Figura 3.** DNA das porções branca (A) e vermelha (B) do músculo gastrocnêmio (mg/100mg) dos animais sacrificados ao final das seis semanas de treinamento físico. Resultados expressos como média  $\pm$  desvio-padrão. (SR. Sedentário Repouso; TR. Treinado Repouso; SA. Sedentário Agudo; TA. Treinado Agudo). ANOVA e post hoc Bonferroni ( $p < 0.05$ ).



**Figura 4.** Razão proteínas totais/DNA das porções branca (A) e vermelha (B) do músculo gastrocnêmio dos animais sacrificados ao final das seis semanas de treinamento físico. Resultados expressos como média  $\pm$  desvio-padrão. (SR. Sedentário Repouso; TR. Treinado Repouso; SA. Sedentário Agudo; TA. Treinado Agudo). ANOVA e post hoc Bonferroni ( $p < 0.05$ ). a. SR  $>$  SA. c. TR  $>$  SA. d. SA  $>$  TA.

### Discussão

O estudo dos efeitos do exercício físico através de modelos experimentais com animais de laboratório permite uma investigação mais profunda sobre a ação da atividade no organismo exercitado. Em nosso estudo avaliamos a influência do treinamento físico de alta intensidade sobre algumas variáveis relacionadas ao crescimento e ao metabolismo de proteínas nas condições de repouso e pós-exercício em ratos. A prática crônica de atividade física pode resultar em benefícios desde que orientada e aplicada adequadamente. Por outro lado, exercícios realizados de forma inadequada, seja pela intensidade, frequência e/ou duração, podem resultar em prejuízos para seus praticantes e até mesmo afetar o crescimento e desenvolvimento de diferentes órgãos e tecidos. Tais características podem estar relacionadas à condição de "overtraining," comprometendo o desempenho físico e a saúde (Mackinnon, Hooper, Jones, Gordon & Bachmann, 1997). A perda de peso e/ou comprometimento do crescimento corporal podem ser indicativos úteis da inadequação do exercício para os animais. Contudo, no atual estudo, não foram detectados prejuízos nestas variáveis já que, assim como os animais do grupo sedentário, os ratos do grupo treinado apresentaram um significativo ganho de peso e comprimento corporal em relação ao início do período experimental. Além disso, não foram encontradas diferenças no peso e no comprimento corporal entre os grupos S e T, o que confirma a idéia de que o treinamento físico não afetou negativamente os animais exercitados.

Em um estudo anterior, onde foi utilizado um protocolo de treinamento semelhante, os autores observaram que mesmo com uma maior ingestão alimentar, os animais do grupo treinado apresentaram menor peso corporal, menor acúmulo de tecido adiposo e aumento da massa corporal magra, quando comparados com os do grupo sedentário (Rogatto &

Luciano, 2000c). No presente estudo não encontramos diferenças na ingestão alimentar, bem como no peso corporal quando comparamos animais submetidos ao treinamento físico com os controle.

Tendo em vista que o exercício físico é uma condição na qual observa-se uma rápida mobilização e redistribuição energética para o desempenho da atividade muscular, inúmeras alterações nas secreções hormonais e no metabolismo tornam-se necessárias para a manutenção da homeostasia orgânica. A redução das concentrações séricas de glicose e insulina na condição de repouso poderia indicar uma adaptação metabólica com aumento da captação deste substrato pelos tecidos periféricos (Luciano & Lima, 1997). Contudo, no presente estudo não foram detectadas diferenças nas concentrações de glicose sérica dos animais sedentários e treinados. Quando submetidos à sessão aguda de exercício, os animais de ambos os grupos apresentaram uma elevação da glicemia em relação aos valores de repouso. Este aumento glicêmico possivelmente deve-se à contribuição do metabolismo de carboidratos a partir da glicólise anaeróbia, onde a utilização de glicogênio muscular pode ocorrer predominante nos primeiros minutos de atividade (Billeter & Hoppeler, 1992). Além disso, a possibilidade da gliconeogênese na contribuição do aumento glicêmico não deve ser descartada.

A secreção insulínica também pode sofrer a ação da realização crônica do exercício físico, apresentando-se reduzida tanto na condição de repouso quanto na de pós-exercício (Peres et al., 1998). Entretanto, observamos que, na condição de repouso, as concentrações séricas de insulina não diferiram entre os animais dos grupos S e T. Após a realização da sessão única de exercício, somente os animais do grupo sedentário apresentaram redução dos níveis de insulina no soro. Rogatto e Luciano (2000a) observaram uma redução média de 50% nas concentrações de insulina após a

realização do esforço agudo em ambos os grupos sedentário e treinado. A redução da insulinemia após a realização do exercício agudo pode dever-se a um “mecanismo de proteção” do organismo no sentido de favorecer a manutenção da homeostasia glicêmica, já que a captação de glicose pode apresentar-se aumentada após a realização do esforço e, assim, resultar em hipoglicemia. Esta maior captação glicídica certamente ocorreu no pós-exercício tendo em vista a observação de favorecimentos dos estoques de glicogênio muscular, mesmo com concentrações de insulina semelhantes, como observado em alguns estudos que se utilizaram do mesmo modelo de treinamento físico (Rogatto & Luciano, 1999; 2000a; 2001b). Além disso, o aumento da sensibilidade periférica à insulina pós-exercício, o aumento do número de transportadores de glicose “GLUT 4” translocados no músculo, e a estimulação mecânica decorrente do processo de contração muscular repetida podem favorecer o “aproveitamento” da glicose circulante na síntese glicogênica (Cartee et al., 1989; Rodnick, Henriksen, James, & Holloszy, 1992; Nakatani et al., 1997; Young & Balon, 1997; Host, Hansen, Nolte, Chen, & Holloszy, 1998).

Alguns estudos têm reportado a influência da atividade física regular sobre o estoque de substratos energéticos em diferentes tecidos (Luciano & Lima, 1997; Luciano & Mello, 1999). Tais adaptações contribuem com a capacidade do organismo em desenvolver trabalho muscular, favorecendo assim a performance. A ativação constante da musculatura, durante a realização da contração muscular pode contribuir com o aumento da estimulação necessária para ocorrer síntese protéica (Wong & Booth, 1990b). Alguns autores vêm usando esta medida como indicativo da presença de hiperplasia e/ou hipertrofia muscular, sendo que um aumento da concentração de DNA indicaria aumento do número de fibras musculares, e um incremento da razão proteína/DNA apontaria para aumentos da área de secção transversa da fibra muscular (Luciano & Mello, 1998). Alguns estudos que se utilizaram de exercícios resistidos para avaliação da síntese protéica encontraram elevações na razão de síntese deste substrato (Wong & Booth, 1990a; Booth & Thomason, 1991; Biolo, Maggi, Williams, Tipton & Wolfe, 1995; Farrell, Fedele, Vary, Kimball & Jefferson, 1998; Farrell et al., 1999a; 1999b). No presente estudo não encontramos diferenças significativas nos teores de proteínas totais e DNA musculares, e na razão proteína/DNA do músculo gastrocnêmio. A ocorrência de tais resultados pode estar relacionada à composição corporal, DNA total ou ainda insuficiência do exercício físico utilizado sobre a ativação de mecanismos relacionados à síntese protéica.

O desenvolvimento da massa muscular e, conseqüentemente, do metabolismo protéico dependem, além da insulina e da atividade contrátil, de outros fatores como, por exemplo, hormônio do crescimento (GH) (MacDougall, 1992). Os níveis de GH podem ser influenciados pela atividade física, com tendência a elevação em exercícios agudos intensos (Felsing, Brasel & Cooper, 1992). No presente trabalho não avaliamos os teores desse hormônio, contudo, considerando que os níveis insulinêmicos mantiveram-se constantes

durante o repouso nos grupos sedentário e treinado, e foram reduzidos no grupo sedentário após o exercício agudo, é possível que esses ratos tenham aumentado o GH nessas condições, favorecendo a mobilização das proteínas totais na porção branca do gastrocnêmio, bem como, a razão proteína/DNA. Estudos anteriores realizados com treinamento aeróbio em ratos, também não mostraram diferenças séricas do hormônio do crescimento em condições de repouso (Souza & Luciano, 1996; Luciano, 2000). A existência de um “turnover” protéico onde a degradação não predomina sobre a síntese após o exercício agudo no grupo treinado pode significar uma importante adaptação resultante do esquema de treinamento. Estudos futuros poderiam esclarecer estes aspectos se o período de treinamento fosse mais prolongado.

Assim concluímos que o protocolo de exercício físico proposto atua sobre alguns parâmetros relacionados ao metabolismo das proteínas somente na condição pós-exercício. Contudo, os resultados indicam que a não mobilização deste tipo de substrato no grupo treinado pode representar uma importante adaptação à prática crônica desta atividade.

## Referências

- Adams, G.R. (1998). Role of insulin-like growth factor-I in the regulation of skeletal muscle adaptation to increased loading. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 26, 31-60.
- Alway, S.E. (1994). Characteristics of the elbow flexors in women bodybuilders using androgenic-anabolic steroids. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8, 161-9.
- Alway, S.E.; Grumbt, W.H.; Gonyea, W.J. & Stray-Gundersen, J. (1989a). Contrasts in muscle and myofibers of elite male and female bodybuilders. *Journal of Applied Physiology*, 67, 24-31.
- Alway, S.E.; Winchester, P.K.; Davis, M.E. & Gonyea, W.J. (1989b). Regionalized adaptations and muscle fiber proliferation in stretch-induced enlargement. *Journal of Applied Physiology*, 66, 771-81.
- Antonio, J. & Gonyea, W.J. (1994). Muscle fiber splitting in stretch-enlarged avian muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26, 970-7.
- Åstrand, P.O. (1991). Why exercise?. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24 (2), 153-162.
- Azevedo, J.R.M. (1994). *Determinação de parâmetros bioquímicos em ratos sedentários e treinados, durante e após exercício agudo de natação*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Billeter, R. & Hoppeler, H. (1992). Muscular basis of strength. Em: P.V. Komi (Ed). *Strength and power in sport: the encyclopaedia of sports medicine* (pp.39-63). Oxford: Blackwell.
- Biolo, G.; Maggi, S.P.; Williams, B. D.; Tipton, K. D. & Wolfe, R. E. (1995). Increased rates of muscle protein turnover and amino acid transport after resistance exercise in

- humans. *American Journal of Physiology*, 268, E514-520.
- Booth, F. & Thomason, D. B. (1991). Molecular and cellular adaptation of muscle of muscle in response to exercise: perspectives of various models. *Physiological Review*, 71, 541-584.
- Cartee, G. D.; Young, D. A.; Sleeper, M. D.; Zierath, J.; Wallberg-Henriksson, H. & Holloszy, J. O. (1989). Prolonged increase in insulin-stimulated glucose transport in muscle after exercise. *American Journal of Physiology*, 256(19), E494-E499.
- Donovan, C. M. & Brooks, G. (1983). Endurance training affects lactate clearance, not lactate production. *American Journal of Physiology*, 244(7), E83-E92.
- Farrell, P. A.; Fedele, M. J.; Vary, T. C.; Kimball, S. R. & Jefferson, L. S. (1998). Effects of intensity of acute resistance exercise on rates of protein synthesis in diabetic rats. *Journal of Applied Physiology*, 85, 2291-2297.
- Farrell, P. A.; Fedele, M. J.; Hernandez, J.; Fluckey, J. D.; Miller III, J. L.; Lang, C. H.; Vary, T. C.; Kimball, S. R. & Jefferson, L. S. (1999a). Hypertrophy of skeletal muscle in diabetic rats in response to chronic resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 87(3), 1075-1082.
- Farrell, P. A.; Fedele, M. J.; Vary, T. C.; Kimball, S. R.; Lang C. H. & Jefferson, L. S. (1999b). Regulation of protein synthesis after acute resistance exercise in diabetic rats. *American Journal of Physiology*, 276, E721-E727.
- Felsing, N. E.; Brasel, J. A. & Cooper, D. M. (1992). Effect of low and high intensity exercise on circulating growth hormone in men. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 75, 157-162.
- Flaim, K.E.; Copenhaver, M. E. & Jefferson, L. S. (1980). Effects of diabetes on protein synthesis in fast-and slow-twitch rat skeletal muscle. *American Journal of Physiology*, 239, E88-E95.
- Giles, K. W. & Myers, A. (1965). An improved diphenylamine method for the estimation of deoxyribonucleic acid. *Nature*, 206, 93.
- Goldspink, G. (1992). Cellular and molecular aspects of adaptation in skeletal muscle. Em: P.V. Komi (Ed.), *Strength and power in sport* (pp.211-29). Oxford: Blackwell.
- Gonyea, W.J.; Sale, D.; Gonyea, F. & Mikesky, A. (1986). Exercise induced increases in muscle fiber number. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 137-141.
- Henriksson, J. (1992). Effects of physical training on the metabolism of skeletal muscle. *Diabetes Care*, 15, 1701-1711.
- Henry, R. J.; Cannon, D.C. & Wilkeman, J. (1974). *Clinical chemistry, principles and techniques*. 2nd ed. New York: Harper and Harper Row Publishes.
- Host, H.H.; Hansen, P.A.; Nolte, L.A.; Chen, M.M. & Holloszy, J. O. (1998). Glycogen supercompensation masks the effect of a training-induced increase in GLUT-4 on muscle glucose transport. *Journal of Applied Physiology*, 85(1), 133-138.
- Jefferson, L. S. (1980). Role of insulin in the regulation of protein synthesis. *Diabetes*, 29, 487-496.
- Kimball, S. R.; Vary, T. C. & Jefferson, L. S. (1994). Regulation of protein synthesis by insulin. *Annual Review of Physiology*, 56, 321-348.
- Lowry, O. H.; Rosebrough, N. J.; Farr, A. L. & Randall, R. T. (1951). Protein measurement with the folinphenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.
- Luciano, E. (2000). *Adaptações osteogênicas e musculares à atividade física e ultra-som no diabetes experimental*. Tese de Livre-Docência, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.
- Luciano, E. & Lima, F. B. (1997). Metabolismo de ratos diabéticos treinados submetidos ao jejum e ao exercício agudo. *Revista de Ciências Biomédicas*, 18, 47-60.
- Luciano, E.; Carneiro, E. M.; Reis, M. A. B.; Peres, S. B.; Velloso, L. A.; Boschero, A. C. & Saad, M. J. A. (1998). Endurance training modulates early steps of insulin signaling in rat muscle. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, S24.
- Luciano, E. & Mello, M. A. R. (1998). Atividade física e metabolismo de proteínas em músculos de ratos diabéticos experimentais. *Revista Paulista de Educação Física*, 12(2), 202-209.
- Luciano, E. & Mello, M. A. R. (1999). Efeitos do exercício físico crônico sobre as proteínas no diafragma de ratos diabéticos. *Motriz*, 5(2), 146-151.
- Mackinnon, L. T.; Hooper, S. L.; Jones, S.; Gordon, R. D. & Bachmann, A. W. (1997). Hormonal, immunological, and hematological responses to intensified training in elite swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, (12), 1637-1645.
- Mandroukas, K.; Krotkiewski, M.; Holm, G.; Stromblad, G.; Grimby, G.; Lithell, H.; Wroblewski, Z. & Bjorntrop, P. (1986). Muscle adaptations and glucose control after physical training in insulin dependent diabetes mellitus. *Clinical Physiology*, 6, 39-52.
- MacDougall, J. D. (1992). Hypertrophy or hyperplasia. Em: P.V. Komi (Ed.). *Strength and Power in Sport* (pp.230-8). Oxford: Blackwell Scientific.
- MacDougall, J. D.; Sale, D. G.; Elder, G. C. B. & Sutton, J. R. (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite power lifters and body builders. *European Journal of Applied Physiology*, 48, 117-126.
- Nakatani, A.; Han, D.; Hansen, P. A.; Nolte, L. A.; Host, H. H.; Hickner, R. C. & Holloszy, J. O. (1997). Effect of endurance exercise training on muscle glycogen supercompensation in rats. *Journal of Applied Physiology*, 8(2), 711-715.
- O'Brien, R. M. & Granner, D. K. (1991). Regulation of gene expression by insulin. *Biochemical Journal*, 278, 609-619.
- Peres, S. B.; Carneiro, E. M.; Luciano, E. & Boschero, A. C. (1998). Physical training and glucose-induced insulin release in isolated pancreatic rat islets. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), S24.
- Radak, Z.; Kaneko, T.; Tahara, S.; Nakamoto, H.; Ohno, H.; Sasvari, M.; Nyakas, C. & Goto, S. (1999). The effect of exercise training on oxidative damage of lipids, proteins,

- and DNA in rat skeletal muscle: evidence for beneficial outcomes. *Free Radical Biology and Medicine*, 27(1-2), 69-74.
- Rodnick, K. J.; Henriksen, E. J.; James, D. E. & Holloszy, J. O. (1992). Exercise training, glucose transporters, and glucose transport in rat skeletal muscles. *American Journal of Physiology*, 262, C9-C14.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (1999). Efeitos do treinamento físico de alta intensidade sobre o metabolismo de carboidratos em ratos. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento (Edição Especial)*, 100.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (2000a). Hormonal and metabolic response to acute exercise: Effects of high intensity training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), S227.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (2000b). Respostas metabólicas de ratos Wistar ao treinamento físico intenso. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento (Edição Especial)*, 117.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (2000c). Respostas metabólicas gerais ao treinamento físico intenso [Resumo]. Em: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (Org.), *CD-ROM da 53ª Reunião Anual da SBPC* (3219-A20). Brasília: SBPC.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (2001a). Efeitos do treinamento físico de alta intensidade sobre os leucócitos circulantes em ratos. *Motriz*, 7(1), S172.
- Rogatto, G. P. & Luciano, E. (2001b). Improvements of glucose and protein metabolism: effects of high intensity physical training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(5), S330.
- Smith, O. L. K.; Wong, C. Y. & Gelfand, R. A. (1989). Skeletal muscle proteolysis in rats with acute streptozotocin-induced diabetes. *Diabetes*, 38, 1117-1122.
- Souza, M. Z. & Luciano, E. (1996). Metabolismo e crescimento de ratos diabéticos submetidos ao treinamento físico. *Arquivos Brasileiros de Endocrinologia e Metabolismo*, 40(1), 73.
- Tesch, P. A. & Larsson, L. (1982). Muscle hypertrophy in body builders. *European Journal of Applied Physiology*, 49, 301-306.
- Wong, T. S. & Booth, F. W. (1990a). Protein metabolism in rat gastrocnemius muscle after stimulated chronic concentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 69(5), 1709-1717.
- Wong, T. S. & Booth, F. W. (1990b). Protein metabolism in rat tibialis anterior muscle after stimulated chronic eccentric exercise. *Journal of Applied Physiology*, 69(5), 1718-1724.
- Young, J. C. & Balon, T. W. (1997). Role of dihydropyridine sensitive calcium channels in glucose transport in skeletal muscle. *Life Sciences*, 61, 335-342.

### Nota dos autores

Os autores gostariam de agradecer o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP na realização deste trabalho. (Processo 00/01804-6).

#### Endereço:

Gustavo Puggina Rogatto  
Rua Padre Ferraz, 155, Bairro Santa Cruz  
Itapira, 13.970-000 SP  
Tel: (19) 9702-9639 ou (19) 3535-4407  
E-mail: gustavo.rogatto@rotaract.org

*Manuscrito recebido em 29 de maio de 2001*

*Manuscrito aceito em 19 de setembro de 2001*