

INFLUÊNCIA DA INGESTÃO DE CARBOIDRATOS SOBRE O DESEMPENHO FÍSICO

Edilson Serpeloni Cyrino^{*}
Sérgio Miguel Zucas^{**}

RESUMO. Além da manutenção da homeostase glicêmica, dietas ricas em carboidratos proporcionam um maior armazenamento de glicogênio muscular e hepático. Altas reservas de glicogênio muscular propiciam um nível maior de energia ao organismo e muitas vezes auxiliam no protelamento do início da fadiga muscular. Nos esforços moderados realizados em intervalos de tempo prolongados, ou nos exercícios físicos de alta intensidade e curta duração, a depleção das reservas de glicogênio muscular são acentuadas, provocando queda no desempenho físico e até hipoglicemia e desidratação. Assim, o propósito desse estudo foi analisar a influência da ingestão de carboidratos antes, durante e após o exercício físico para a melhoria do desempenho físico.

Palavras-chave: glicogênio muscular, carboidratos, desempenho físico.

INFLUENCE OF CARBOHYDRATES INGESTION ON PERFORMANCE

ABSTRACT. Beyond maintaining glycemic homeostasis, rich carbohydrate diets provide a larger muscle and hepatic glycogen storage. Higher muscle glycogen stores propitiate a higher level of energy to the organism and often help to delay the beginning of the muscle fatigue. In moderate efforts made at long intervals of time or in short-term physical exercises of high intensity muscle glycogen stores are strongly depleted, leading to a fall in performance and even to hypoglycemia and dehydration. Thus the aim of this study was to analyze the influence of carbohydrates ingestion before, during and after physical exercise for performance improvement.

Key words: muscle glycogen, carbohydrates, performance.

INTRODUÇÃO

Carboidratos são importantes substratos energéticos para a contração muscular durante o exercício prolongado realizado sob intensidade moderada e em exercícios de alta intensidade e curta duração. Assim, a utilização de estratégias nutricionais envolvendo a ingestão de uma alimentação rica em carboidratos antes da prática de exercícios físicos aumenta as reservas

de glicogênio, tanto muscular quanto hepático. Já a ingestão de carboidratos durante o esforço ajuda a manutenção da glicemia sanguínea e a oxidação destes substratos (Coggan, 1997; Costill e Hargreaves, 1992). Essa prática tem sido empregada ao longo das duas últimas décadas e está fundamentada em estudos que demonstraram uma correlação positiva entre as concentrações de glicogênio muscular pré-

^{*} Departamento de Fundamentos da Educação Física, Centro de Educação Física e Desportos da Universidade Estadual de Londrina, Londrina, Paraná, Brasil.

Endereço para correspondência: Rua Cândido Betoni, nº 199, aptº 602. CEP: 86060-590. Londrina – PR. E-mail: <emcyrino@sercomtel.com.br>.

^{**} Escola de Educação Física e Esportes, Universidade de São Paulo.

Endereço para correspondência: Escola de Educação Física e Esportes da Universidade de São Paulo. Rua Prof. Mello Moraes, nº 65. Cidade Universitária. São Paulo – SP. CEP: 05508-900. Telefone: (0XX11) 2114477. E-mail: <ricardo zucas@uol.com.br>.

exercício e o tempo de manutenção do esforço (Ahlborg *et al.*, 1967; Bergström *et al.*, 1967; Karlsson e Saltin, 1971).

O glicogênio muscular e a glicose sangüínea, derivada do fígado, são utilizados como fontes energéticas primárias durante a prática de exercícios físicos predominantemente aeróbios ou anaeróbios. Contudo, os depósitos de glicogênio no corpo são extremamente limitados ao ponto dos dois principais sítios (músculos e fígado) contribuírem com apenas cerca de 1% a 2% das reservas totais dos substratos energéticos armazenados (Liebman e Wilkinson, 1996).

A quantidade absoluta de glicogênio armazenada, nos músculos é, em média, de 300g a 400 g, portanto, muito superior à do fígado, que se situa, em média, entre 80g e 90 g. Todavia, em valores relativos, as reservas do fígado são aproximadamente 6% contra menos de 1% dos músculos. Tais valores podem ser modificados de acordo com o nível de treinamento do indivíduo, associado à ingestão de dietas ricas em carboidratos (Mayes, 1990).

Dessa forma, o treinamento, particularmente de resistência, pode desencadear um aumento na quantidade da proteína transportadora de glicose a GLUT-4 (Gulve e Spina, 1995; Phillips *et al.*, 1996b; Hickner *et al.*, 1997). Aparentemente, este pode ser um fator limitante no processo de armazenamento do glicogênio muscular, visto que a GLUT-4 determina a taxa de transporte de glicose para o músculo (Ren *et al.*, 1994).

O objetivo dessa revisão foi verificar o comportamento das reservas de glicogênio muscular frente a exercícios físicos de diferentes intensidades e examinar as estratégias nutricionais envolvendo a ingestão de carboidratos que podem otimizar as reservas desse substrato, contribuindo assim para a melhoria do desempenho físico.

DEPLEÇÃO DAS RESERVAS DE GLICOGÊNIO MUSCULAR

Muitos estudos, ao longo das quatro últimas décadas, têm demonstrado a relação direta entre os níveis de glicogênio muscular pré-exercício e

o tempo de exaustão durante o esforço (Bergström *et al.*, 1967; Karlsson e Saltin, 1971; McConell *et al.*, 1994 e Mitchell *et al.*, 1989). Dessa forma, a depleção das reservas de glicogênio muscular tem sido freqüentemente associada à fadiga em diferentes exercícios físicos (Coggan e Coyle, 1987; Coyle *et al.*, 1986).

Em esforços prolongados, realizados sob intensidade moderada (60% a 85% do VO₂ máx), o consumo da glicose é intensificado, principalmente nos estágios mais avançados do esforço, para o fornecimento de energia, visto que, nesse momento, as reservas de glicogênio muscular se encontram reduzidas, o que contribui acentuadamente para a queda do rendimento (Coggan e Coyle, 1987). Portanto, a depleção das reservas de glicogênio muscular apresenta uma forte correlação com a fadiga (Coggan e Coyle, 1987; Costill e Hargreaves, 1992).

Neste sentido, o treinamento de resistência realizado de forma regular pode gerar alterações metabólicas importantes, tais como a redução na taxa de depleção do glicogênio muscular, aumento na utilização de triglicerídeos intramusculares e/ou AGL plasmáticos e, conseqüentemente, protelamento do início da fadiga (Donovan e Sumida, 1997; Kiens *et al.*, 1993; Phillips *et al.*, 1995; Phillips *et al.*, 1996a).

Já em esforços desenvolvidos sob baixa intensidade (inferior a 60% do VO₂máx) as reservas de glicogênio muscular se mantém relativamente altas, visto que, aparentemente, existe um aumento da participação dos AGL para o fornecimento de energia (Donovan e Sumida, 1997). Isso vem demonstrar que, em exercícios de baixa intensidade, outros mecanismos, afora a depleção dos depósitos de glicogênio muscular, têm importante participação no desencadeamento do processo de fadiga muscular (Fitts, 1994).

A taxa de depleção do glicogênio para um determinado músculo, em particular, depende diretamente do tipo, da duração e da intensidade do exercício físico (Abernethy *et al.*, 1994).

Assim, durante a corrida, existe uma maior depleção de glicogênio muscular no músculo gastrocnêmio do que nos músculos do quadríceps (Costill *et al.*, 1974). Em

contrapartida, no ciclismo, essa participação se inverte (Fitts, 1994). Isso retrata o grau de recrutamento de um grupo muscular ou de um tipo de fibra, em específico, durante diferentes tipos de esforço. Nesse sentido, alguns estudos têm demonstrado que a depleção do glicogênio muscular é seletiva, ocorrendo predominantemente nas fibras do tipo I durante esforços de resistência (Costill *et al.*, 1973; Sherman *et al.*, 1983; Tsintzas *et al.*, 1996).

A depleção das reservas de glicogênio muscular pode causar fadiga também em exercícios repetitivos, sob alta intensidade, como nas atividades de musculação ou ginástica com pesos (Fitts, 1994), embora a magnitude dessa redução não seja tão acentuada quanto a observada em exercícios de resistência (Tarnopolsky *et al.*, 1992).

Durante o exercício de força (resistido), existe uma queda de cerca de 25% nos depósitos de glicogênio muscular nos primeiros trinta minutos de prática, sendo depletadas preferencialmente as fibras de contração rápida (tipo IIb). Essa queda é idêntica à observada em corredores de velocidade após trinta segundos de corrida máxima (sprint) (Tesh *et al.*, 1986).

Por outro lado, o treinamento de força pode aumentar os depósitos de glicogênio muscular em até aproximadamente 90%, como observado em culturistas quando comparados a indivíduos não treinados (Tesh *et al.*, 1986). Todavia, esses valores podem ter sido influenciados pela alta taxa de ingestão de carboidratos na dieta, comum em atletas dessa modalidade.

EFEITOS DA INGESTÃO DE CARBOIDRATOS ASSOCIADA AO EXERCÍCIO FÍSICO

Os efeitos metabólicos e ergogênicos obtidos pela ingestão de carboidratos antes, durante e após o exercício físico, têm merecido especial atenção no que diz respeito à melhoria do desempenho físico.

Com relação à ingestão de carboidratos, administrada pré-exercício, um dos fatores que não pode ser desprezado é o tempo que antecede essa prática. Assim, deve-se tomar bastante cuidado com a administração de alimentos à base de glicose, realizada cerca de 30-60 minutos antes do esforço físico, visto que isso

pode levar à hiperinsulinemia (Hargreaves *et al.*, 1987), reduzindo as concentrações sanguíneas de glicose e ácidos graxos livres (AGL). Essas alterações metabólicas, podem desencadear um aumento da utilização das reservas de glicogênio muscular (glicogenólise) durante os estágios iniciais do exercício físico, comprometendo negativamente o desempenho, particularmente em esforços prolongados (Foster *et al.*, 1979).

Dessa forma, a ingestão rica em carboidratos, pré-exercício físico, deve ser administrada cerca de 3 horas ou 4 horas antes da prática, de modo que facilite o processo de digestão, normalize os níveis glicêmicos e insulinêmicos e garanta bons níveis energéticos (Coyle *et al.*, 1985).

Durante o exercício físico, é importante que a suplementação de carboidratos ingerida seja rapidamente absorvida para que se mantenham os níveis da glicose sanguínea, principalmente em esforços realizados por períodos de tempo prolongados, quando os depósitos endógenos de carboidratos tendem a se reduzir significativamente (Mason *et al.*, 1993).

Desse modo, a administração de carboidratos pode resultar em aumento na disponibilidade da glicose sanguínea, reduzindo a depleção de glicogênio muscular observada nas fases iniciais do desempenho físico (Ahlborg *et al.*, 1967; Coyle *et al.*, 1986). Além disso, a ingestão de glicose durante o exercício atenua a elevação do IMP (um dos produtos da quebra do ATP) e mantém os intermediários do ciclo do ácido tricarboxílico (Costill e Hargreaves, 1992).

Neste sentido, a ingestão de carboidratos a cada quinze minutos durante o esforço físico prolongado pode prevenir a hipoglicemia, sem causar alteração aparente na percepção subjetiva de esforço (Felig *et al.*, 1982).

Apesar de todas essas evidências, muitos estudos têm demonstrado que a suplementação de carboidratos melhora acentuadamente o desempenho físico apenas em esforços extremamente prolongados (superiores a duas horas) (Flynn *et al.*, 1987). A suplementação indicada nesses casos deve ser à base de glicose, sacarose ou maltodextrina, devido à rápida taxa de absorção das mesmas.

A maltodextrina aparentemente causa um esvaziamento gástrico mais rápido, além de não

possuir um paladar adocicado como a glicose, não causando desconfortos gástricos para a maioria das pessoas (Coogan e Swanson, 1992). Assim, a maltodextrina tem recebido a preferência dos usuários de suplementações de carboidratos e também dos pesquisadores da área.

A refeição à base de polímeros de glicose, como a maltodextrina, administrada durante exercícios prolongados, parece produzir energia necessária para protelar a fadiga, pelo menos em exercícios realizados sob intensidades de até 75% do $\text{Vo}_{2\text{máx}}$ (Coggan e Coyle, 1987; Coyle *et al.*, 1986). Esse efeito ergogênico pode ser atribuído à manutenção da homeostase glicêmica e/ou a uma redução na depleção das reservas de glicogênio muscular (Mitchell *et al.*, 1989; Tsintzas *et al.*, 1994).

O que deve ser evitado é a suplementação com frutose, visto que sua taxa de absorção é lenta e necessita de uma posterior conversão para a forma de glicose, pelo fígado, antes de ser utilizada pelo músculo. Além disso, sua ingestão em grandes quantidades frequentemente é acompanhada por desconfortos gástricos (Bjorkman *et al.*, 1984).

Uma estratégia nutricional que tem demonstrado valiosos resultados no protelamento da fadiga durante os exercícios prolongados é a administração de soluções contendo carboidratos e eletrólitos, tendo em vista que, nesses esforços, a redução das reservas de glicogênio muscular muitas vezes vem acompanhada de desidratação (Nicholas *et al.*, 1995).

A suplementação de carboidratos líquidos ou sólidos produz respostas glicêmicas e insulinêmicas similares, contudo, durante a prática do exercício físico prolongado, é recomendável a administração na forma líquida pela sua praticidade, além de auxiliar na reposição de fluidos (Mason *et al.*, 1993). São recomendadas dosagens entre 40 g/hora e 75 g/hora, tendo em vista que dosagens superiores a essas aparentemente não são efetivas para a melhoria do desempenho físico, podendo causar desconfortos gástricos (Mitchell *et al.*, 1989).

Após o exercício físico, a ingestão de carboidratos faz-se extremamente necessária para a reposição das reservas de glicogênio muscular depletadas durante a prática. Neste

sentido, em repouso, a taxa de glicogênio muscular pode ser aumentada por meio da utilização de uma dieta rica em carboidratos, na ordem de 7 g/kg a 10 g/kg de peso corporal/dia ou pelo menos 60% da ingestão calórica total diária (Costill, 1988). Esse procedimento tem sido também, recomendado, para facilitar a ressíntese do glicogênio muscular entre as sessões de treinamento (Liebman e Wilkinson, 1996).

Alguns estudos têm demonstrado que a gliconeogênese contribui para a ressíntese do glicogênio nos momentos que sucedem o fim do esforço intenso, tendo em vista que é estimado que 13% a 27% do lactato acumulado durante o exercício é reconvertido em glicogênio durante os períodos de recuperação (Bangsbo *et al.*, 1991).

A ressíntese acentuada do glicogênio muscular, bem como do glicogênio hepático, parece depender, além da condição de repouso, do tipo, forma física e quantidade dos carboidratos ingeridos, bem como dos intervalos de tempo em que estes são oferecidos ao organismo (Burke *et al.*, 1993; Goforth *et al.*, 1997). Desse modo, recomenda-se uma maior sobrecarga na ingestão de carboidratos nas primeiras oito horas pós-exercícios (Parkin *et al.*, 1997). Todavia, o processo de reposição do glicogênio é bifásico, apresentando uma fase rápida (primeiras 24 horas pós-esforço) seguida de uma fase mais lenta, que pode vir a perdurar por vários dias, de acordo com os níveis de estimulação aplicados durante o esforço físico (Goforth *et al.*, 1997).

Um outro fator limitante na ressíntese do glicogênio é a atividade da enzima glicogênio sintase, responsável pelo aumento da sensibilidade da célula muscular à insulina e da permeabilidade à glicose.

A glicogênio sintase encontra-se sob duas formas, ativa (I) e inativa (D). A conversão da forma inativa em ativa, via mecanismos hormonais e não-hormonais, pode ser estimulada com a prática do exercício físico, contribuindo para a elevação das reservas de glicogênio muscular. Corroborando essas informações, Jansson e Kaijser (1987) constataram que o aumento da atividade da glicogênio sintase, ao menos em indivíduos treinados em exercícios de resistência, reflete no aumento dos níveis de glicogênio muscular, em repouso.

No que diz respeito à escolha dos alimentos ricos em carboidratos a serem administrados pós-exercício, essa deve ser feita tomando-se como base o índice glicêmico dos mesmos, haja vista que, na fase de recuperação, os alimentos de alto índice glicêmico promovem uma reposição dos depósitos de glicogênio muscular de maneira muito mais eficiente (rápida) do que aqueles de baixo índice glicêmico (Burke *et al.*, 1993). No entanto, a escolha deve recair sobre os alimentos à base de glicose, visto que esses promovem uma reposição mais rápida dos depósitos de glicogênio muscular do que os alimentos à base de frutose (Blom *et al.*, 1987; Van Den Bergh *et al.*, 1996).

A combinação de suplementos contendo carboidratos/proteínas, pós-exercícios físicos de resistência (Zawadzki *et al.*, 1992) e força (Roy e Tarnopolsky, 1998), parece ser mais eficiente na ressíntese do glicogênio muscular do que a suplementação somente de carboidratos, além do que promove, um aumento mais significativo dos níveis de insulina plasmática, e isso pode atenuar a degradação e/ou aumentar a síntese protéica (Roy *et al.*, 1997).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção de concentrações elevadas de glicogênio muscular é extremamente importante, principalmente em atletas de esportes de alto rendimento, onde o desempenho máximo é exigido constantemente.

Dessa forma, o treinamento físico regular, bem como uma alimentação adequada e balanceada, pode influenciar positivamente no aumento das reservas de glicogênio muscular.

Portanto, dietas ricas em carboidratos podem propiciar o aumento nos depósitos de glicogênio muscular durante os períodos de repouso, garantindo grandes quantidades de energia para o esforço físico. Todavia, em esforços prolongados pode haver a necessidade de uma reposição energética e hidro-eletrolítica periódica devido à depleção das reservas de glicogênio muscular, aumento do consumo de glicose sanguínea e elevação da temperatura corporal, podendo resultar em hipoglicemia e/ou desidratação, acompanhada pela fadiga muscular.

Com relação a isso, o uso de suplementos líquidos à base de glicose, sacarose ou maltodextrina, combinados com eletrólitos em dosagens adequadas (cerca de 300 mosmol/l) durante o esforço, pode contribuir de forma significativa para a resolução da maioria desses problemas e, até mesmo, para o protelamento do início da fadiga.

O treinamento físico regular, por sua vez, pode desencadear alterações metabólicas importantes, causando redução da dependência das reservas de glicogênio muscular, com conseqüente aumento da participação dos triglicerídeos intramusculares e/ou AGL plasmáticos durante o exercício, particularmente, de longa duração. Já nos exercícios de força, o treinamento físico associado ao uso de dietas ricas em carboidratos pode proporcionar um aumento nas reservas de glicogênio muscular, acentuando o processo de ganho de massa muscular (hipertrofia).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABERNETHY, P. J. *et al.* Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. **Sports Medicine**. 17(1): 22-38, 1994.
- AHLBORG, B. *et al.* Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. **Acta Physiologica Scandinavica**. 70: 129-142, 1967.
- BERGSTRÖM, J. *et al.* Diet, muscle glycogen and physical performance. **Acta Physiologica Scandinavica**. 71: 140-150, 1967.
- BANGSBO, J. *et al.* Substrates for muscle glycogen synthesis in recovery from intensive exercise. **Journal of Physiology**. 434: 423-440, 1991.
- BJORKMAN, O. *et al.* Influence of glucose and fructose ingestion on the capacity for long-term exercise. **Clinical Physiology**. 4: 483-494, 1984.
- BLOM, P. C. S. *et al.* Effect of different post-exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 19(5): 491-496, 1987.
- BURKE, L. M. *et al.* Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycaemic index of carbohydrate feedings. **Journal of Applied Physiology**. 75(3): 1019-1023, 1993.
- COGGAN, A. R. Plasma glucose metabolism during exercise: effect of endurance training in humans. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 29(5): 620-627, 1997.
- COGGAN, A. R. & COYLE, E. F. Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or

- ingestion. **Journal of Applied Physiology**. 63(6): 2388-2395, 1987.
- COGGAN, A. R. & SWANSON, S. C. Nutritional manipulations before and during endurance exercise: effects on performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 24(9): S331-335, 1992.
- COSTILL, D. L. *et al.* Glycogen depletion pattern in human muscle fibers during distance running. **Acta Physiologica Scandinavica**. 89: 374-383, 1973.
- COSTILL, D. L. *et al.* Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. **Acta Physiologica Scandinavica**. 91: 475-481, 1974.
- COSTILL, D. L. Carbohydrates for optimal sports performance. **International Journal of Sports Medicine**. 9: 1-18, 1988.
- COSTILL, D. L. & HARGREAVES, M. Carbohydrate, nutrition and fatigue. **Sports Medicine**. 13(2): 86-92, 1992.
- COYLE, E. F. *et al.* Substrate usage during prolonged exercise following a pre-exercise meal. **Journal of Applied Physiology**. 59(3): 429-433, 1985.
- COYLE, E. F. *et al.* Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. **Journal of Applied Physiology**. 61(1): 165-172, 1986.
- DONOVAN, C. M. & SUMIDA, K. D. Training enhanced hepatic gluconeogenesis: the importance for glucose homeostasis during exercise. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 29(5): 628-634, 1997.
- FELIG, P. *et al.* Hypoglycemia during prolonged exercise in normal men. **New England Journal of Medicine**. 306: 895-900, 1982.
- FITTS, R. H. Cellular mechanisms of muscle fatigue. **Physiology Reviews**. 74: 49-94, 1994.
- FOSTER, C. *et al.* Effects of pre-exercise feedings on endurance performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 11(1): 1-5, 1979.
- FLYNN, M. G. *et al.* Influence of selected carbohydrate drinks on cycling performance and glycogen use. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 19(1): 37-40, 1987.
- GOFORTH, H. W. *et al.* Persistence of supercompensated muscle glycogen in trained subjects after carbohydrate loading. **Journal of Applied Physiology**. 82(1): 342-347, 1997.
- GULVE, E. A. & SPINA, R. J. Effect of 7-10 days of cycle ergometer exercise on skeletal muscle GLUT-4 protein content. **Journal of Applied Physiology**. 79(6): 1562-1566, 1995.
- HARGREAVES, M. *et al.* Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 19(1): 33-36, 1987.
- HICKNER, R. C. *et al.* Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals. **Journal of Applied Physiology**. 83(3): 897-903, 1997.
- JANSSON, E. & KAIJSER, L. Substrate utilization and enzymes in skeletal muscle of extremely endurance-trained men. **Journal of Applied Physiology**. 62(4): 999-1005, 1987.
- KARLSSON, J. & SALTIN, B. Diet, muscle glycogen and endurance performance. **Journal of Applied Physiology**. 31(1): 203-206, 1971.
- KIENS, B. *et al.* Skeletal muscle substrate utilization during submaximal exercise in men: effect of endurance training. **Journal of Physiology**. 469: 459-478, 1993.
- LIEBMAN, M. & WILKINSON, J. G. Metabolismo dos carboidratos e condicionamento físico. In: Wolinsky, I. & Hickson Júnior, J. F. **Nutrição no exercício e no esporte**, p.15-50. São Paulo: Roca, 1996.
- MASON, W. L. *et al.* Carbohydrate ingestion during exercise: liquid vs solid feedings. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 25(8): 966-969, 1993.
- MAYES, P. A. Metabolism of glycogen. In: Murray, R. K. *et al.* (Ed.) **Harper's Biochemistry**, p.171-8. Norwalk: Appleton & Lange, 1990.
- McCONNELL, G. *et al.* Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics during exercise. **Journal of Applied Physiology**. 77(4): 1537-1541, 1994.
- MITCHELL, J. B. *et al.* Influence of carbohydrate dosage on exercise performance and glycogen metabolism. **Journal of Applied Physiology**. 67(5): 1843-1849, 1989.
- NICHOLAS, C. W. *et al.* Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high-intensity shuttle running. **Journal of Sports Sciences**. 13: 283-290, 1995.
- PARKIN, J. A. M. *et al.* Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycaemic index food. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 29(2): 220-224, 1997.
- PHILLIPS, S. M. *et al.* Decrease glucose turnover following short-term training is unaccompanied by changes in muscle oxidative potential. **American Journal of Physiology**. 269: E222-230, 1995.
- PHILLIPS, S. M. *et al.* Effects of training duration on substrate turnover and oxidation during exercise. **Journal of Applied Physiology**. 81(6): 2182-2191, 1996a.
- PHILLIPS, S. M. *et al.* Increments in skeletal muscle GLUT-1 and GLUT-4 after endurance training in humans. **Journal of Applied Physiology**. 270: E456-462, 1996b.
- REN, J. M. *et al.* Exercise induces rapid increases in GLUT-4 expression, glucose transport capacity, and insulin-stimulated glycogen storage in muscle. **Journal of Biology and Chemistry**. 269: 14396-14401, 1994.
- ROY, B. D. *et al.* Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. **Journal of Applied Physiology**. 82(7): 1882-1888, 1997.

- ROY, B. D. & TARNOPOLSKY, M. A. Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise. **Journal of Applied Physiology**. 84(3): 890-896, 1998.
- SHERMAN, W. M. *et al.* Effect of 42,2 km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. **Journal of Applied Physiology**. 55(3): 1219-1224, 1983.
- TARNOPOLSKY, M. A. *et al.* Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. **Journal of Applied Physiology**. 73(5): 1986-1995, 1992.
- TESH, P. A. *et al.* Muscle metabolism during intensive heavy-resistance exercise. **European Journal of Applied Physiology**. 55: 362-366, 1986.
- TSINTZAS, O. K. *et al.* Carbohydrate supplementation and muscle glycogen utilization in type I and type II fibers. **Medicine & Science in Sports and Exercise**. 26: S196, 1994.
- TSINTZAS, O. K. *et al.* Carbohydrate ingestion and single muscle fiber glycogen metabolism during prolonged running in men. **Journal of Applied Physiology**. 81(2): 801-809, 1996.
- VAN DEN BERGH, A. J. *et al.* Muscle glycogen recovery after exercise during glucose and fructose intake monitored by ¹³C-NMR. **Journal of Applied Physiology**. 81(4): 1495-1500, 1996.
- ZAWADZKI, K. M. *et al.* Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. **Journal of Applied Physiology**. 72(7): 1854-1859, 1992.
-