

Fatores determinantes da reposição máxima de glicogênio no pós exercício: aspectos nutricionais

Determinant factors of glycogen resynthesis following exercise: nutritional issues

ABSTRACT

RIBEIRO, B.G.; BURINI, R.C. Determinant factors of glycogen resynthesis following exercise: nutritional issues. *Nutrire: rev. Soc. Bras. Alim. Nutr.* = J. Brazilian Soc. Food Nutr., São Paulo, SP., v.23, p. 79-91, jun., 2002.

Recovery after exercise poses an important challenge to the modern athlete. Important issues include restoration of liver and muscle glycogen stores. The synthesis of muscle glycogen following its depletion by exercise occurs in a biphasic manner. Three primary stimulus regulate the glucose uptake for the skeletal muscular cell, the own muscular contraction, the insulin concentration and the carbohydrate bioavailability. Factors that seem to influence the rate of glycogen synthesis in the hours immediately following exercise include the time following exercise, the amount and frequency of carbohydrate consumption, the type and form of carbohydrate consumed and the presence of other macronutrients ingested at a meal following exercise. Rapid resynthesis of muscle glycogen stores is aided by the immediate intake of carbohydrate, 1 g.kg⁻¹ of body mass, particularly of high glycemic index carbohydrate foods, leading to a total intake over 24 hours of 7– 10 g.kg⁻¹ of body mass. Provided adequate carbohydrate is consumed it appears that the presence of others macronutrientes does not affect the rate of glycogen storage.

Keywords: carbohydrate; glucose; glycogen; diet; exercise

**BEATRIZ GONÇALVES RIBEIRO¹;
ROBERTO CARLOS BURINI²**

¹Programa de Pós-graduação Interunidades em Nutrição Humana Aplicada. Universidade de São Paulo.

Departamento de Nutrição e Dietética do Instituto de Nutrição da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

²Faculdade de Medicina de Botucatu. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita.

Endereço para correspondência:

Beatriz Gonçalves Ribeiro
Rua Domingos Sávio
Nogueira Saad n.120
apt.405

Boa Viagem – Niterói - RJ
CEP: 24210-390

Tel./ Fax (021) 2717-3263/ 99412039

E- mail:

beatriz@cruiser.com.br

RESUMEN

La recuperación posterior al ejercicio es un desafío para el atleta moderno. Entre los aspectos importantes están la reposición del glucógeno muscular y hepático. El aumento del glucógeno muscular después del ejercicio prolongado ocurre de modo bifásico. La captación de glucosa por la célula del músculo esquelético es regulada por 3 estímulos primarios: la propia contracción muscular, la concentración de insulina y la disponibilidad de carbohidratos. El tiempo transcurrido desde el fin del ejercicio, la cantidad, la frecuencia el tipo y la forma de los carbohidratos ingeridos y también otros macronutrientes que componen la colación pos-ejercicio, son factores que influyen al proceso de reposición. Una rápida síntesis de glucógeno muscular es accionada por un consumo inmediato de carbohidratos (1g/Kg de peso), de elevado índice glicémico, que lleva a un consumo de 7 a 10 g/kg de peso corporal en 24 horas. Cuando la cantidad de carbohidratos es adecuada, la presencia de proteínas y lípidos de la colación posterior al ejercicio aparentemente no influyen en la reposición del glucógeno muscular.

Palabras clave: Carbohidratos; glucosa; glucógeno; dieta; ejercicio

RESUMO

A recuperação após o exercício é um desafio para o atleta moderno. Aspectos importantes incluem a restauração dos estoques de glicógeno muscular e hepático. A reposição do glicógeno muscular, após o exercício prolongado, ocorre de modo bifásico. Três estímulos primários regulam a captação de glicose pela célula muscular esquelética, a própria contração muscular, a concentração de insulina e a disponibilidade de carboidratos. O tempo transcorrido após o término do exercício, a quantidade, a frequência, o tipo e forma do carboidrato, bem como a presença de outros macronutrientes na refeição, pós exercício, são aspectos que irão modular o processo de reposição. Uma rápida síntese dos estoques de glicógeno muscular é acionada por um imediato consumo de carboidratos (1g.kg⁻¹) de peso, particularmente de alimentos ricos em carboidratos de alto índice glicêmico, conduzindo a um consumo total nas 24 horas, de 7-10g. kg⁻¹ de peso corporal. Quando a quantidade de carboidrato é adequada a presença de proteínas e lipídios na dieta no pós exercício não parece exercer efeito positivo sobre o processo de reposição de glicógeno muscular.

Palavras-chave: carboidratos; glicose; glicógeno; dieta; exercício

INTRODUÇÃO

A importância dos carboidratos como substrato energético para a contração da musculatura esquelética foi inicialmente reconhecida por pesquisadores escandinavos (AHLBORG et al. 1967; BERGSTROM et al. 1967; HERMANSEN et al. 1967; HULTMAN, 1967). Em geral, demonstrou-se que, ao aumentar a intensidade do exercício crescia, a utilização do glicogênio muscular, e que a percepção da fadiga, durante o exercício, é paralela ao declínio do glicogênio muscular. Além disso, observou-se que a resistência aeróbia está relacionada aos estoques de glicogênio muscular pré-exercício, e que exercícios prolongados não podem ser mantidos quando esses estoques estão depletados. Assim, um componente essencial de recuperação do exercício de longa duração é a reposição de glicogênio muscular.

No que diz respeito à recuperação dos estoques de glicogênio hepático e muscular, muitos fatores vêm sendo investigados como a influência do tempo transcorrido entre o término do exercício e o consumo de carboidratos (IVY et al. 1988; BURKE et al. 1995; PARKIN et al. 1997; IVY, 1998; KUO et al. 1999), a ingestão de carboidratos após o exercício influenciando os receptores de glicose (Glut 4) na célula muscular (HOST et al., 1998a; HOST et al., 1998b; IVY e KUO, 1998), e a biodisponibilidade de glicose para a célula muscular de refeições pós-competição (HARGREAVES et al. 1987; THOMAS et al. 1991; BURKE et al. 1993; BURKE e COLLIER, 1998; SERPELONI e ZUCAS, 1999).

Sendo assim, o objetivo desta revisão é abordar os aspectos relacionados a ingestão de carboidratos e os fatores moduladores do processo de reposição do glicogênio muscular após atividades de longa duração.

SÍNTESE DE GLICOGÊNIO MUSCULAR

A síntese de glicogênio muscular após o exercício ocorre de maneira bifásica (MAEHLUM et al., 1977a,b; PRICE et al., 1994). A primeira fase caracteriza-se por uma síntese rápida, que não requer a presença do hormônio insulina. A segunda fase, denominada lenta, é dependente de insulina e ocorre a uma velocidade 10 a 30% menor do que a da fase rápida de recuperação, na ausência do consumo de carboidratos (PRICE et al., 1994).

Modelos experimentais vêm sendo usados para demonstrar as fases independente e dependente de insulina na síntese de glicogênio muscular. MAEHLUM et al. (1977) compararam a velocidade de síntese de glicogênio muscular em indivíduos diabéticos insulino-dependentes e controles não diabéticos, após a realização de exercício prolongado em cicloergômetro. Nos indivíduos controle, durante as primeiras quatro horas de recuperação, a velocidade de síntese de glicogênio foi três vezes maior do que nas oito horas subsequentes. No entanto, os indivíduos diabéticos ao receberem um tratamento normal com insulina, apresentaram velocidade de síntese de glicogênio similar aos controles não diabéticos. Em um estudo posterior, os autores avaliaram a resposta dos indivíduos diabéticos na ausência do tratamento com insulina. Neste caso, a concentração de glicogênio foi de 35-40 mmol.kg peso⁻¹.h⁻¹, aproximadamente 50% abaixo dos valores pré-exercício (MAEHLUM et al., 1977).

Avaliações mais precisas das duas fases de síntese de glicogênio muscular foram observadas por PRICE et al. (1994) usando ressonância magnética ^{13}C nuclear. Os indivíduos exercitaram uma única perna para depletar o glicogênio muscular até 25, 50 e 75% das concentrações de repouso. A dependência de insulina foi avaliada após 25% de depleção, com e sem infusão de somatostatina, inibidor da secreção de insulina. Os autores descreveram uma fase rápida de síntese de glicogênio durante 30-60 minutos após o exercício. A fase subsequente foi 10 vezes mais lenta e somente ocorreu a concentrações de glicogênio abaixo de $40\text{mmol.kg peso}^{-1}.\text{h}^{-1}$. A infusão de somatostatina não alterou a velocidade inicial de síntese e não eliminou por completo a ocorrência da fase lenta de síntese do glicogênio. Em um outro estudo, PRICE et al. (1996) compararam a velocidade de síntese de glicogênio muscular em indivíduos resistentes à insulina e controles. Após o exercício a velocidade de reposição, durante a fase independente da insulina, foi similar nos dois grupos. No entanto, durante a fase dependente de insulina a velocidade de síntese de glicogênio dos indivíduos controle foi considerada mais rápida do que a do grupo resistente à insulina.

FASE RÁPIDA DE RECUPERAÇÃO

Quando cessa o exercício, a demanda de energia dos músculos declina rapidamente e o fluxo de glicose através da via glicolítica está substancialmente reduzido. O transporte de glicose muscular porém mantém-se elevado. Este fenômeno deve-se a um número aumentado de transportadores Glut4 funcionalmente ativos na membrana plasmática. A migração desses transportadores do compartimento intracelular, do sarcolema e tubos t do músculo, é parcialmente mediada pela fosfatidilinositol- 3- quinase (CARTEE e HOLLOSZY, 1990).

A combinação entre o baixo fluxo e o rápido transporte de glicose resulta na elevação da glicose-6-fosfato– um metabólito intermediário da via glicolítica. O aumento da glicose-6-fosfato estimula a síntese de glicogênio pela ativação alostérica da glicogênio- sintetase e por torná-la mais suscetível ao ataque da proteína fosfatase-1. A disponibilidade da proteína fosfatase-1 aumenta devido a sua liberação simultânea com a glicogênio- sintetase das partículas de glicogênio muscular durante a glicogenólise (IVY e KUO,1998).

O aumento na captação de glicose induzido pela atividade contrátil reverte-se na ausência de insulina e parece estar inversamente relacionado à concentração do glicogênio muscular. Em humanos, a velocidade de síntese de glicogênio muscular durante a fase independente da insulina é de $12 - 30 \text{ mmol.kg peso}^{-1}.\text{h}^{-1}$ podendo durar entre 30-60 minutos (CARTEE e HOLLOSZY, 1990; IVY e KUO,1998).

FASE LENTA DE RECUPERAÇÃO

Os mecanismos reguladores da fase lenta de síntese do glicogênio muscular após o exercício não são tão bem compreendidos quanto os da fase rápida. Uma das proposições seria o aumento da sensibilidade da célula muscular ao transporte de glicose dado pela

insulina. A magnitude deste aumento pode ser bastante grande resultando em captação de glicose e síntese de glicogênio (PRICE et al., 1994).

Outro mecanismo possível que poderia contribuir na fase lenta de recuperação do glicogênio muscular é o aumento na expressão gênica da proteína GLUT4- receptora de glicose. Para analisar essa questão IVY e KUO (1998), conduziram um estudo em que ratos nadaram por dois períodos consecutivos de 3 horas, separados por 45 minutos de descanso. A proteína GLUT4 muscular e a concentração de glicogênio foram determinados imediatamente e 5 horas após o exercício. Os animais receberam 0,5 gramas de glicose intragástrica após o término da natação. Os resultados indicaram que exercícios prolongados podem resultar numa expressão de GLUT4 excepcionalmente rápida no músculo esquelético de ratos. Dedicaram ainda que o transporte de glicose estimulado, pela insulina é proporcional à concentração da proteína GLUT4. Os resultados sugerem que o aumento na expressão da GLUT4 contribui para a reposição de glicogênio muscular após o exercício, por melhorar a velocidade de transporte de glicose.

A partir de estudos em humanos, observou-se que o aumento na permeabilidade do músculo à glicose e na sensibilidade do músculo à insulina induzida pelo exercício não são suficientes para resultar em uma supercompensação de glicogênio muscular, uma vez que somente uma pequena síntese de glicogênio muscular (via glicose-6-fosfato) ocorre após o exercício, na ausência de carboidratos (CARTEE et al, 1989).

Caso a ingestão de carboidrato ocorra imediatamente após o exercício, a velocidade de reposição de glicogênio na fase lenta pode ser aumentada, e, se a ingestão continuar, os níveis de glicogênio podem ser supercompensados (IVY, 1991). É interessante observar que a velocidade de recuperação do glicogênio muscular durante a fase lenta está diretamente relacionada à resposta da insulina plasmática, dada pela oferta de carboidrato.

A velocidade de reposição de glicogênio imediatamente após o exercício prolongado portanto é modulada por três estímulos primários que aumentam a captação de glicose pela célula muscular esquelética: a própria contração muscular, a concentração de insulina e a disponibilidade de carboidratos (CARTEE et al., 1989; WILLIANS,1995; TSAO et al., 1996; HANSEN et al., 1998).

BIODISPONIBILIDADE DE GLICOSE

Após exercícios prolongados que causam a depleção dos estoques de glicogênio a ingestão alimentar, especialmente de carboidratos, é um fator determinante no processo de reposição do glicogênio – hepático e muscular. O tempo transcorrido entre o término do exercício, a quantidade, a frequência, o tipo e forma do carboidrato bem como a presença de outros macronutrientes na refeição pós exercício, são aspectos que irão modular o processo de reposição (COSTILL et al., 1981; IVY et al., 1988; BLOM et al., 1987; FALLOWFIELD et al., 1995; IVY, 1998).

TEMPO TRANSCORRIDO APÓS O TÉRMINO DO EXERCÍCIO

Pesquisas recentes demonstram uma associação entre as variáveis tempo transcorrido após a realização do exercício e a velocidade de reposição do glicogênio. Influenciando criticamente este processo destaca-se o consumo de carboidratos (SHERMAN e WIMER; 1991; SHERMAN, 1995; IVY, 1998).

A quantidade de glicogênio muscular reposto no período de recuperação do exercício de longa duração é pequena, em torno de 1 a 2 mmol/g de peso/hora. No entanto, quando o carboidrato é consumido imediatamente após o exercício, a reposição pode triplicar, alcançando valores de 6-7 mmol/g de peso/hora. Esta velocidade persiste por duas horas declinando 50% nas horas seguintes. É interessante observar que, adiando-se o consumo de carboidratos por duas horas, a velocidade de reposição de glicogênio é menor: 3 a 4 mmol/g de peso/hora. Esse fenômeno ocorre apesar do aumento normal dos níveis de glicose e insulina (IVY e KUO, 1998; BLOMET al., 1987). O mecanismo responsável por este evento parece relacionar-se com o efeito combinado entre a insulina e o transporte de glicose, estimulado pela contração muscular, via transportadores GLUT4 (IVY, 1998; BLOMET al., 1987).

Para demonstrar este fenômeno, IVY et al. (1988) realizaram uma pesquisa onde ciclistas exercitaram-se durante 70 min em ciclo ergômetro. Imediatamente, e 2 horas após o término do exercício, os atletas consumiram um suplemento de carboidratos (2g.kg de massa corporal), sob a forma de polímero de glicose. Os resultados demonstraram que a administração de carboidratos, 2 horas após, resultou em uma menor velocidade de reposição de glicogênio muscular, quando comparada com a ingestão imediatamente após o término do exercício. Segundo os autores, isto ocorreu pelo aumento na disponibilidade de substrato, evidenciado pelo aumento da glicose plasmática.

Por outro lado, PARKIN et al. (1997) não observaram os mesmos resultados em um grupo de ciclistas treinados. Neste estudo, os atletas consumiram refeições a intervalos de 2 horas: 0 – 4 horas e 2-6 horas. As refeições eram constituídas de alimentos de alto índice glicêmico (flocos de milho, pão, mel, biscoitos, batata, arroz) e forneciam 2,5g de carboidratos.kg de massa corporal. Quando comparadas as duas situações, os autores não encontraram diferença na curva glicêmica e insulínica após as refeições. O conteúdo de glicogênio muscular também não foi diferente entre os grupos.

Aspectos metodológicos podem justificar as diferenças observadas nestas duas pesquisas. PARKIN et al. (1997) avaliaram o conteúdo de glicogênio muscular após 8 e 24 horas de recuperação. Neste período de tempo, os efeitos sinérgicos observados entre a contração muscular, a concentração de insulina e a disponibilidade de carboidratos não são tão evidentes.

As implicações práticas destes achados consistem em verificar a possibilidade de otimizar a reposição de glicogênio muscular resultante de ingestão de carboidratos tão logo cesse o exercício.

QUANTIDADE DE CARBOIDRATO

Estudos têm demonstrado diferenças na velocidade de síntese de glicogênio muscular em função da quantidade de carboidrato consumida após o término do exercício. Entretanto, independente da quantidade consumida, parece existir um limiar acima do qual nenhum estoque de glicogênio muscular é estimulado (IVY et al., 1988; BLOM et al., 1987; FALLOWFIELD., 1995; IVY, 1998)

Em termos de recuperação aguda pós exercício (0-6 horas), BLOM et al. (1987) observaram que um consumo de glicose igual a 0.7g.kg^{-1} de peso corporal a cada duas horas, após uma sessão de depleção do glicogênio muscular, produziu uma síntese de glicogênio mais rápida do que aquela resultante de um consumo de 0.35g.kg^{-1} de peso corporal em a cada 2 horas; contudo esta velocidade não aumentou com um consumo de 1.4g.kg^{-1} de peso corporal em 2 horas. Em média, a velocidade de reposição do glicogênio muscular foi de $5,7\text{mmol.kg}^{-1}$ de peso.h⁻¹.

IVY et al. (1988) também descreveram tais limiares: eles demonstraram que um consumo, a intervalos de 2 horas de $1,5\text{g}$ de glicose. kg^{-1} peso corporal quando comparado a um consumo de 3g.kg^{-1} de peso corporal resultava em um conteúdo de glicogênio similar ao de músculos depletados após 4 horas de recuperação.

Por outro lado, a oferta de 0.5g de glicose/kg de peso corporal a cada 2 horas resultou em pequena reposição de glicogênio muscular (0.6mmol.kg de peso.h⁻¹). Entretanto, quando a quantidade de CHO aumentou, $1-1,5\text{g.kg}^{-1}$ de peso corporal. a cada 2 horas, a velocidade de reposição de glicogênio elevou-se em um padrão curvilíneo e estabilizou-se nos níveis de 5.5mmol.kg de peso.h⁻¹. Estes resultados implicam, segundo os autores, que quando CHO são consumidos a intervalos de duas horas em quantidades abaixo de 1g.kg^{-1} de peso. a cada duas horas a velocidade de reposição de glicogênio muscular é submáxima. Esta reposição reduzida estaria provavelmente ligada à inabilidade de pequenas quantidades de CHO promoverem aumento adequado e manutenção dos níveis de glicose e insulina plasmática, por intervalos de 2 horas.

De um modo geral parece que uma ótima velocidade de reposição de glicogênio muscular é ativada quando $0.7-1.0\text{g}$ de CHO. kg^{-1} de peso. a cada 2 horas é consumida nos primeiros estágios de recuperação, conduzindo a um consumo total de carboidratos entre $7-10\text{g.kg}^{-1}$ de peso durante 24 horas (IVY et al., 1988; BLOM et al., 1987; FALLOWFIELD., 1995; IVY, 1998).

TIPO DE CARBOIDRATO

Estudos conduzidos por BERGSTROM e HULTMAN (1967), demonstraram que uma infusão de glicose, 4g/kg de massa corporal, produziu uma velocidade 50% maior de reposição de glicogênio do que uma infusão correspondente de frutose. A partir destas referências, pesquisas realizadas em humanos e ratos comparando a ingestão desses dois monossacarídeos confirmam que a frutose é menos efetiva em promover uma rápida

reposição de glicogênio muscular pós exercício (NILSSON e HULTMAN, 1974; BERGSTROM e HULTMAN, 1967, BLOM et al., 1987).

Em contrapartida, NILSSON e HULTMAN (1974), descreveram um aumento três vezes maior no glicogênio hepático com uma infusão de frutose comparada com a infusão de glicose. Esse achado é justificado pelo fato do metabolismo da frutose ser predominantemente hepático, enquanto a maior parte da glicose passa pelo fígado sendo estocada ou oxidada pelo músculo. Uma atividade aumentada da enzima fosfofrutoquinase no fígado pode ser o responsável pelo menor metabolismo da frutose no músculo (NEWSHOLME e START, 1973).

O efeito de um suplemento composto predominantemente por glicose, frutose e sacarose foi investigado por BLOM et al. (1987). No organismo humano, glicose e frutose são metabolizadas de formas diferentes. Esses açúcares têm diferentes velocidades de esvaziamento gástrico e são liberados para o sangue em diferentes velocidades. Além disso, um suplemento de glicose produz uma resposta insulínica geralmente maior do que um suplemento de frutose. BLOM et al. (1987) demonstraram que a ingestão de glicose ou sacarose foi duas vezes mais efetiva que a frutose na restauração do glicogênio muscular. Eles sugeriram que as diferenças observadas entre a suplementação de glicose e frutose foi resultante do metabolismo corporal desses açúcares. Velocidades similares de síntese de glicogênio muscular provenientes de suplementos de glicose e sacarose não foram observados por BLOM et al. (1987). Sacarose contém quantidades equimolares de glicose e frutose. Se a reposição de glicogênio muscular é primariamente dependente do fluxo de glicose presente no dissacarídeo, deve-se esperar uma velocidade menor de glicogênio oriundo da sacarose que de quantidades iguais de glicose. Uma possível explicação proposta por esses autores é que a frutose, em virtude do seu rápido metabolismo hepático, comparado com a glicose, inibe a absorção de glicose pelas células hepáticas e, conseqüentemente uma maior proporção de glicose estaria disponível para a reposição de glicogênio muscular.

Tendo como parâmetro o índice glicêmico dos alimentos, BURKE et al. (1993) investigaram o efeito do consumo de carboidratos na reposição de glicogênio muscular em atletas de elite. As dietas oferecidas após a realização de 2 horas de exercício a 75% do VO_2 max em ciclo ergômetro foram compostas de alimentos de alto índice glicêmico (flocos de milho, pão, polímero de glicose comercial (policose), purê de batatas) e moderado índice glicêmico (lentilhas, feijão, macarrão, pão de aveia). Essas forneciam um total de 10g de carboidratos.kg de massa corporal. 24 horas. Quando os efeitos da refeição imediatamente após ao exercício foram excluídos a área total observada abaixo da curva de glicose e insulina após cada refeição foi maior para a dieta com alto índice glicêmico. A quantidade de glicogênio muscular, avaliado através de biópsia, após 24 horas de recuperação foi maior para as refeições de alto índice glicêmico (106 ± 11.7 mmol/kg de peso seco) do que para as de moderado índice glicêmico (71.5 ± 6.5 mmol/kg de peso seco).

A partir dessas investigações sugere-se que após a realização de exercícios de longa duração a reposição de glicogênio será mais efetiva quando carboidratos de alto índice

glicêmico forem consumidos. Além disso, uma pequena quantidade de frutose deve também estar presente afim de otimizar a reposição do glicogênio hepático.

EFEITO DE OUTROS MACRONUTRIENTES NA REPOSIÇÃO DE GLICOGÊNIO MUSCULAR

Baseado no fato de que a coingestão de macronutrientes alteraria a resposta metabólica de uma alimentação composta por carboidratos e portanto afetaria os estoques de glicogênio muscular pesquisadores vem conduzindo estudos adicionando além dos carboidratos, proteínas e lipídios na dieta de recuperação dos exercícios de longa duração. Estas alterações estariam associadas à resposta insulínica promovida pelas proteínas e ao esvaziamento gástrico mais lento associado a ingestão de lipídios.

Desta forma, BURKE et al. (1995), realizaram um estudo com ciclistas e triatletas que completaram 2 horas de ciclismo a 75% VO₂ max. afim de depletar o glicogênio muscular. Após o exercício três dietas diferentes foram oferecidas: 1) controle (C), dieta composta exclusivamente por alimentos de alto índice glicêmico– 7g carboidratos.kg.dia. subdivididas em quatro refeições; 2) adicionada de proteínas e lipídios (FP), composta por dieta C + 1,6g.kg.dia lipídios + 1,2g.kg.dia de proteínas; 3) mistura (M), composta por dieta C + 4,8g.kg.dia de polímeros de glicose. A quantidade de glicogênio muscular foi analisada imediatamente e 24 horas após a realização do exercício. Quando da coingestão de lipídio e proteína a área abaixo da curva de glicose mostrou-se significativamente menor comparada às outras dietas. Todas as dietas produziram um significativo aumento na quantidade de glicogênio muscular armazenado nas 24 horas de recuperação. Os autores concluíram que, se quantidades adequadas de carboidratos são ofertadas, nas 24 horas após a realização do exercício, a coingestão de proteínas e lipídios não afetaria a quantidade de glicogênio muscular ressintetizada no mesmo período de tempo.

ZAWADZKI et al. (1992), com objetivo de avaliar o efeito da ingestão de carboidratos e proteínas na reposição de glicogênio muscular durante a recuperação após um exercício prolongado, compararam a resposta de insulina e glicose plasmática após a ingestão de três suplementos: a) carboidrato (112 g), b) proteína (40,7 g) e c) um complexo de carboidrato e proteína (112 g de carboidratos + 40,7 g de proteína). A resposta plasmática de glicose mostrou-se mais elevada ($p < 0.05$) após a ingestão do suplemento de carboidratos, do que após a ingestão dos outros dois suplementos, mantendo-se entre 6,15mM e 7,06mM durante as três horas de recuperação. No entanto, a resposta de insulina nos 15, 90, 150 e 180 min mostrou-se significativamente maior após a ingestão do complexo de carboidratos e proteína quando comparado ao suplemento de carboidratos. A quantidade de glicogênio muscular armazenada após 4 horas de recuperação não foi diferente entre o suplemento de carboidrato e o complexo de carboidrato e proteína. No entanto, a velocidade de reposição de glicogênio foi maior no grupo que consumiu o complexo de carboidrato e proteína. O fator interferente neste estudo foi a oferta de 43% a mais de energia no suplemento de carboidrato e proteína comparado com o de carboidrato, tendo portanto duas variáveis alteradas simultaneamente.

Num estudo feito por TARNOPOLSKY et al. (1997), homens e mulheres treinados foram submetidos a um exercício para depleção de glicogênio muscular recebendo após duas dietas isoenergéticas compostas por: 1) Carboidrato (0,75g/kg) + Proteína (0,1g/kg) + Lipídeos (0,02g/kg), 2) Carboidrato (1g/kg), e uma controle 1) Placebo (adoçante artificial). Os resultados demonstraram um aumento na reposição de glicogênio muscular após o exercício ($p < 0.01$) para os suplementos carboidratos e para a mistura de carboidrato, proteína e gordura (37,2 vs. 24,6 mmol.kg músculo seco⁻¹.h respectivamente). Sob o ponto de vista dos autores, apesar das duas intervenções promoverem uma resposta metabólica similar, a vantagem de um suplemento composto seria uma alimentação balanceada, ofertando outros macronutrientes aos atletas.

Desse modo, adicionar proteínas e lipídios à dieta no pós exercício não parece exercer efeito positivo sobre o processo de reposição de glicogênio muscular quando comparado a ingestão de carboidratos apenas. Neste caso, considerar a tolerância do atleta à refeição parece ser um dos fatores determinantes na escolha alimentar.

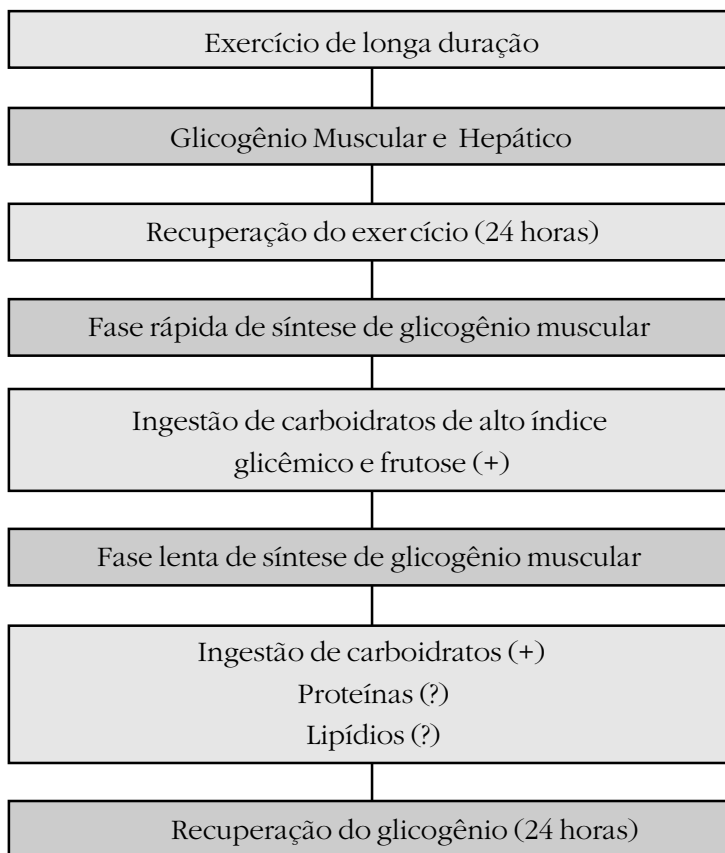


Figura 1 Sequência de eventos pelos quais a dieta influencia a reposição de glicogênio após o exercício de longa duração

CONCLUSÃO

Após o término do exercício que depleta o glicogênio muscular, a sua reposição obedece a um modelo bifásico, vinculado à atividade contrátil, à participação da insulina e à ingestão de carboidratos.

Fatores como o tempo, a quantidade, frequência, tipo e forma do carboidrato ingerido influenciam diretamente a biodisponibilidade de glicose para a célula muscular. O tempo mais efetivo para consumir o carboidrato é o imediatamente após o exercício e se quantidades adequadas de carboidratos (0,7g de glicose.kg de massa corporal a cada 2 horas durante 4 a 6 horas, conduzindo a um consumo total de 7-10g.kg de peso/24 horas) não foram ingeridas, o glicogênio muscular não irá retornar aos níveis de repouso em 24 horas. Por outro lado, as pesquisas não são concludentes com relação ao tipo de carboidrato e a co-ingestão de outros macronutrientes na dieta de recuperação do exercício. Estes aspectos devem ser investigados afim de possibilitar uma escolha alimentar eficiente assegurando uma máxima reposição de glicogênio muscular após o exercício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS/REFERENCE

- AHLBORG G., BERGSTROM, J., EKELUND L.G. HULTMAN, E. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol. Scand.* v.70, p.129-135, 1967.
- BERGSTROM, J.; HERMANSEN, L.; HULTMAN, E.; SALTIN, B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* v.7, p.140-150, 1967.
- BERGSTROM, J.; HULTMAN, E. Synthesis of muscle glycogen in man after glucose and fructose infusion. *Acta Med. Scand.* v.182, p.93-107, 1967.
- BLOM, P.S.C.; HOSTMARK, A.T.; VAAGE, O.; KARDEL K.R.; MAEHLUM, S. Effect of different postexercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Med. Sci. Sports Exercise*, v.19, p.491-496, 1987.
- BURKE, L.M.; COLLIER, G.R.; BEASLEY, S.K.; DAVIS, P.G.; FRICKER P.A.; HEELEY, P.; WALTER, K.; HARGREAVES, M. Effect of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *J. Appl. Physiol.* v.78, p. 2187-2192, 1995.
- BURKE, L.M.; COLLIER, G.R.; HARGREAVES, M. Glycemic index—a new tool in sport nutrition. *Int. J. Sport Nutr.* v.8, p.401-415, 1998.
- BURKE, L.M.; GREG R. C.; HARGREAVES, M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. *J. Appl. Physiol.* v.75, p. 1019-1023, 1993.
- CARTEE, G.D.I.; HOLLOSZY, J.O. Exercise increases susceptibility of muscle glucose transport to activation by various stimuli. *Am. J. Physiol.* v.258, E390-393, 1990.
- CARTEE, G.D.; YOUNG, D.A.; SLEEPER, M.D.; ZIERATH, J.; WALLBERG-HENRIKSSON, H.; HOLLOSZY, J.O. Prolonged increase in insulin-stimulated glucose transport in muscle after exercise. *Am. J. Physiol.* v.235, p.R145-R150, 1989.
- COSTILL, D.L.; SHERMAN, W.M.; FINK, W.J.; MARESH, C.; WITTEN, M.; MILLER, J. M. The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am. J. Clin. Nutr.* v.34, p.1831-6, 1981.
- FALLOWFIELD, J.L.; WILLIAMS, C.; SINGH, R. The influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage during 4 hours of recovery on subsequent endurance capacity. *Int. J. Sport Nutr.* v.5, p.285-99, 1995.

- HANSEN, P.A.; NOLTE, L.A.; CHEN, M.M.; HOLLOSZY, J.O. Increased GLUT-4 translocation mediates enhanced insulin sensitivity of muscle glucose transport after exercise. *J. Appl Physiol.* v.85, p.1218-1222, 1998.
- HARGREAVES M.; COSTILL D.L.; FINK W J.; KING D.S.; FIELDING R.A. Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* v.19, p.33-6, 1987.
- HERMANSEN L; HULTMAN E; SALTIN B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.* v.71, p.334-346, 1967.
- HOST, H.H.; HANSEN, P.A.; NOLTE, L.A.; CHEN, M.M.; HOLLOSZY, J.O. Rapid reversal of adaptive increases in muscle GLUT-4 and glucose transport capacity after training cessation. *J. Appl. Physiol.* v.84, p.798-802, 1998a.
- HOST, H.H.; HANSEN, P.A.; NOLTE, L.A.; CHEN, M.M.; HOLLOSZY, J.O. Glycogen supercompensation masks the effect of a training induced increase in GLUT-4 on muscle glucose transport. *J. Appl Physiol.* v.85, p.133-138, 1998b.
- HULTMAN E. Muscle glycogen in man determined in needle biopsy specimens: method and normal values. *Scand.J. Clin. Lab. Invest.* v.19, p. 209-214, 1967.
- IVY, J.L. Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *Int.J. Sports Med.* v.19, p.142-145, 1988.
- IVY, J.L. Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med.* v.11, p.6-19, 1991.
- IVY, J.L.; KATZ, A.L.; CUTLER, C.L.; SHERMAN, W.M.; COYLE, E.F. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol.* v.64, p.1480-5, 1988.
- IVY, J.L.; KUO, C.H. Regulation of Glut 4 protein and glycogen synthase during muscle glycogen synthesis after exercise. *Acta Physiol Scand.* v.162, p.295-304, 1998.
- KUO, C.H.; BROWNING, K.S.; IVY, J.L. Regulation of GLUT 4 protein expression and glycogen storage after prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* v.165, p.193-201, 1999.
- MAEHLUM, S.; HOSTMARK, A.T.; HERMANSEN, L. Synthesis of muscle glycogen during recovery after prolonged severe exercise in diabetic and nondiabetic subjects. *Scand.J. Clin. Lab. Invest.* v.37, p.309-316, 1977a.
- MAEHLUM, S.; HOSTMARK, A.T.; HERMANSEN, L. Synthesis of muscle glycogen during recovery after prolonged severe exercise in diabetic subjects: Effect of insulin resistance. *Scand.J. Clin. Lab. Invest.* v.38, p. 35-39, 1977b.
- NEWSHOLME, E.A.; START C. Regulation of metabolism. London: John Wiley and Sons, London, 1973. p.100-105.
- NILSSON, L.H.; HULTMAN, E. Liver and muscle glycogen in man after glucose and fructose infusion. *Scand.J. Clin. Lab. Invest.* v.33, p.5-10, 1974.
- PARKIN, J.A.; CAREY, M.F.; MARTIN, I.K.; STOJANOVSKA L.; FEBBRAIO, M.A. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci. Sports Exerc.* v.29, p.220-4, 1997.
- PRICE, T.B.; PERSEGHIN, G.; DULEBA, A. NMR studies of muscle glycogen synthesis in insulin-resistant offspring of parents with non-insulin-dependent *diabetes mellitus* immediately after glycogen-depleting exercise. *Proc. Natl. Acad Sci.* v.93, p.3529-3534, 1996.
- PRICE, T.B.; ROTHMAN, D.L.; TAYLOR, R.; AVISON, M.J.; SHULMAN, G.I.; SHULMAN, R.G. Human muscle glycogen resynthesis after exercise: Insulin-dependent and independent phases. *J. Appl Physiol.* v.76, p.104-111, 1994.
- SERPELONID.; ZUCAS, S.M. Influência da ingestão de carboidratos sobre o desempenho físico. *Cad. Nutr.*, São Paulo, v.17, p.31-38, 1999.

- SHERMAN W.M.; WIMER G.S. Insuf ficient dietary carbohydrate during training: does it impair athletic pefor mance? *Int. J. Sports Nutr.* v.1, p.28-44, 1991.
- SHERMAN, W.V. Metabolism of sugars and physical of performance. *Am.J.Clin. Nutr.* v.62, p.228-241, 1995.
- TARNOPOLSKY M.A.; BOSMAN M.; MACDONALD J.R.; VANDEPUTTE D.; MARTINS, J.; ROYD. Post exer cise protein-carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J. Appl Physiol.* v.83, n.6, p.1877-1883, 1997.
- THOMAS D.E.; BROTHERHOOD J.R.; BRAND J.C. Carbohydrate feeding before exercise: effect of glicemic index. *Int. J. Sports Med.* v.12, p.180-186, 1991.
- TSAO, T.S.; BURCELIN, R.; KATZ, E.B.; HUANG, L; CHARRON, M.J. Enhanced insulin action due targeted GLUT 4 overexpression exclusively in muscle. *Diabets.* v.45, p.28-36, 1996.
- WILLIAMS, C. Macr onutrients and per formance. *J. Sports Sci.* v.13, p.501-510, 1995.
- ZAWADZKI, K.M.; YASPELKIS B.B.; IVY I.L. Carbohydrate-protein complex increase the rate of muscle glycogen storage after exer cise. *J. Appl Physiol.* v.72, p.1854-1859, 1992.

Recebido para publicação em 28/11/01.