

A suplementação de triglicerídeos de cadeia média promove efeito ergogênico sobre o desempenho no exercício de *endurance*?

Rodrigo Vitasovic Gomes¹ e Marcelo Saldanha Aoki^{1,2}

RESUMO

Os triglicerídeos de cadeia média (TCM), por apresentar características físico-químicas específicas, têm sido administrados em dietas enterais e parenterais por mais de 40 anos. A partir da observação dos resultados positivos na prática clínica, na década de 80 alguns pesquisadores iniciaram estudos com o objetivo de aumentar o desempenho físico a partir do uso de TCM. A hipótese levantada foi de que a maior oxidação lipídica levaria à economia dos estoques endógenos de carboidrato, postergando a instalação da fadiga. O objetivo do presente trabalho é realizar uma extensa e criteriosa revisão da literatura sobre o efeito do TCM sobre o desempenho no exercício de *endurance*. Os primeiros estudos utilizaram a administração aguda de TCM. A grande maioria dessas pesquisas falhou em verificar o efeito sobre a economia do glicogênio e o atraso da fadiga. Os poucos estudos que verificaram o efeito ergogênico da suplementação de TCM utilizaram modelos alternativos, como infusão venosa e quantidade acima do limite estabelecido como seguro pela literatura. A administração crônica de TCM em atletas ainda é muito recente e pouco explorada, com o agravante de os escassos estudos apresentarem resultados controversos. Atualmente, existe forte tendência na literatura a não associar a suplementação de TCM ao aumento do desempenho durante o exercício de *endurance*. O objetivo desta revisão é discutir os efeitos da suple-

mentação de TCM sobre o desempenho em exercício de *endurance*.

Palavras-chave: Triglicerídeos de cadeia média. *Endurance*. Efeito ergogênico.

RESUMEN

¿El suplemento de Triglicéridos de cadena media provoca efecto ergogénico sobre el desempeño en los ejercicios de resistencia (endurance)?

Los triglicéridos de cadena media (TCM), por presentar características físico-químicas específicas, han sido administrados en dietas enterales y parenterales por más de 40 años. A partir de la observación de los resultados positivos de la práctica clínica, en la década de los 80 algunos investigadores iniciaron estudios con el objetivo de aumentar el desempeño físico a partir del uso de TCM. La hipótesis levantada fue que una mayor oxidación lipídica llevaría a economizar reservas endógenas de carbohidratos, postergando la aparición de la fadiga. El objetivo del presente trabajo fue realizar una extensa y exhaustiva revisión de literatura acerca del efecto de TCM sobre el desempeño en los ejercicios de resistencia (endurance). Los primeros estudios utilizaron la administración aguda de TCM. Gran parte de esas investigaciones falló en no verificar el efecto sobre la economía de glucógeno y el retraso de la fadiga. Los pocos estudios que verificaron el efecto ergogénico del suplemento de TCM utilizaron modelos alternativos, como infusión venosa y cantidad de TCM por encima del límite establecido como seguro por la literatura. La administración crónica de TCM en atletas aún es muy reciente y poco explorada, y aun más, los escasos estudios existentes presentan resultados controversiales. Actualmente, existe una fuerte tendencia en la literatura a no asociar el suplemento de TCM al aumento en el desempeño durante los ejercicios de resistencia (endurance). El objetivo de esta revisión es discutir los efectos del suplemento de TCM sobre el desempeño en los ejercicios de endurance.

Palabras clave: Triglicéridos de cadena media. *Endurance*. Efecto ergogénico.

1. Laboratório de Fisiologia do Exercício – UniFMU, São Paulo, Brasil.

2. Instituto de Ciências Biomédicas – USP, São Paulo, Brasil.

Recebido em 10/10/02

2ª versão recebida em 11/2/03

Aceito em 10/3/03

Endereço para correspondência:

Marcelo Saldanha Aoki
Instituto de Ciências Biomédicas – USP
Av. Lineu Prestes, 1.524, sala 410
05508-900 – São Paulo, SP
E-mail: msaoki@usp.br

INTRODUÇÃO

A evolução experimentada nas últimas décadas nas áreas de pesquisas relacionadas ao esporte tem trazido contribuições significativas para o aumento do desempenho de atletas. No que se refere ao aspecto nutricional, as pesquisas têm sido direcionadas, de maneira geral, a buscar as relações entre a manipulação de nutrientes básicos encontrados na dieta e o aumento da *performance*¹.

Partindo desse pressuposto, surgiu o conceito de submeter o atleta a uma sobrecarga de carboidrato antes da competição, no intuito de retardar a fadiga. A dieta de supercompensação aumentou, com sucesso, tanto o estoque de glicogênio muscular como também o desempenho físico^{2,3}. Estabeleceu-se, então, uma relação diretamente proporcional entre o conteúdo de glicogênio muscular e a capacidade de realização do exercício.

Com base nesses resultados obtidos na década de 60, foram desenvolvidas outras estratégias nutricionais a fim de aumentar a disponibilidade de ácido graxo livre (AGL) ou otimizar a capacidade de oxidar ácidos graxos, ambas visando a promover o efeito poupador de glicogênio e, conseqüentemente, atrasar a instalação da fadiga⁴.

Inicialmente, os estudos de Rennie *et al.*⁵ e de Hickson *et al.*⁶ foram conduzidos em roedores. Nesses estudos foram observados a redução da taxa de degradação de glicogênio e o aumento do tempo para exaustão após a administração de óleo de milho. Esses resultados incentivaram a realização de testes com a suplementação lipídica em seres humanos. Costill *et al.*⁷, Coyle *et al.*⁸, Dick *et al.*⁹ e Vukovich *et al.*¹⁰ demonstraram que, por meio do aumento da concentração de AGL, foi possível reduzir a utilização do glicogênio muscular em seres humanos durante o exercício de *endurance*. Também foi observado aumento na capacidade de realização-manutenção do exercício.

É importante ressaltar que as técnicas empregadas nesses estudos para elevar a concentração de AGL envolvem a ingestão do triglicerídeo seguida pela infusão intravenosa de heparina, porém, esses procedimentos são demasiadamente invasivos para o benefício prático do atleta. Além do fato de que a heparina é um potente anticoagulante, o que poderia potencializar sangramentos em caso de lesões.

Triglicerídeo de cadeia média – TCM

Os TCM, por apresentarem características físico-químicas específicas, têm sido administrados em dietas enterais e paraenterais por mais de 40 anos^{11,12}. Eles são constituídos por ácidos graxos que possuem de 6 a 12 átomos de carbono na sua cadeia¹¹⁻¹⁴.

O TCM encontra-se na forma líquida à temperatura ambiente; sua digestão ocorre rapidamente, quebrando-se em

glicerol e três moléculas de ácido graxo de cadeia média (AGCM) no intestino delgado^{13,14}. Esses compostos sofrem ação das lipases no estômago e no duodeno¹⁵.

A taxa de esvaziamento gástrico de uma solução de TCM é semelhante à taxa de uma bebida isotônica de carboidrato no repouso¹⁶. A velocidade de absorção dos AGCM é similar à da glicose¹⁷. Os AGCM são mais polares e hidrofílicos que os de cadeia longa (AGCL), logo, sua absorção pelas células epiteliais do intestino é mais rápida¹⁶.

Ao contrário do AGCL, o AGCM não é significativamente incorporado em lipoproteínas. O AGCM possui solubilidade em água¹³, sendo transportado via porta-hepática ligado à albumina, tendo como destino o fígado¹⁴.

O TCM apresenta oxidação acelerada durante o repouso e o exercício, em contraste com o triglicerídeo de cadeia longa (TCL)¹⁸. O transporte intramitocondrial do AGCL é dependente de carnitina¹⁹. Já o AGCM é transportado através da membrana mitocondrial de maneira independente do sistema carnitina palmitoil-transferase (CPT)²⁰. Por suas características descritas anteriormente, o TCM constitui rápida fonte de energia. No entanto, devido ao grande número de átomos de carbono que já estão ligados ao oxigênio, conseqüentemente não podendo ser oxidados, o TCM fornece aproximadamente 8kcal por grama¹¹.

Pela observação dos resultados apresentados pelo TCM, principalmente na prática clínica, preconizou-se a ingestão do TCM antes do exercício, objetivando aumentar a oxidação lipídica total. De acordo com essa hipótese, ao fornecer um substrato energético alternativo para o exercício prolongado de resistência aeróbia, a participação do estoque endógeno de carboidrato seria reduzida²¹⁻²³.

APLICAÇÃO CLÍNICA DO TCM

O TCM tem sido amplamente empregado na nutrição clínica, em situações nas quais a digestão e a absorção de lipídios estão comprometidas. Sua utilização representa uma possível alternativa para garantir o fornecimento adequado de lipídios e energia.

Dentre os quadros patológicos para o emprego do TCM, destacam-se: os distúrbios na digestão de lipídios ocasionados por ineficiência em produzir lipases pancreáticas, ou pela atresia biliar, ou pela obstrução do ducto biliar, pancreatemia ou fibrose cística^{14,24,25} e os distúrbios absorptivos, tais como a doença de Whipple, a doença de Crohn e a absorção prejudicada em neonatos^{14,26,27}. A aplicação clínica ainda pode estender-se aos defeitos no transporte de lipídios, como a deficiência na síntese de quilomícrons e os distúrbios no sistema linfático^{13,14}.

Alguns quadros clínicos, como grandes queimaduras e infecção generalizada, são marcados pelo intenso catabolismo. Pacientes em recuperação do período pós-operatório

rio também apresentam catabolismo protéico aumentado. As emulsões lipídicas com TCM são utilizadas nessas situações com o intuito de melhorar o balanço nitrogenado e atenuar a perda de massa magra. Jiang *et al.*²⁸ testaram a suplementação de TCM e de TCL em indivíduos em recuperação do período pós-operatório. Nesse estudo foi constatada maior retenção de nitrogênio no grupo suplementado com TCM em relação ao suplementado com TCL. Essa melhoria no metabolismo protéico foi atribuída ao aumento na concentração circulante de corpos cetônicos e insulina.

Alguns estudos também relacionam a ingestão de TCM à melhoria da captação de glicose mediada pela insulina. Eckel *et al.*²⁹ submeteram indivíduos diabéticos (não-insulino-dependentes) a uma dieta rica em TCM a fim de observar o efeito sobre o metabolismo da glicose. Nesse estudo, a quantidade de glicose necessária para a manutenção da glicemia durante a infusão constante de insulina foi aumentada em 30% nesses indivíduos. É importante ressaltar que Eckel *et al.*²⁹ também não verificaram alteração na concentração de triglicérido circulante. Esses autores acreditam que a administração de TCM pode ser uma estratégia dietética promissora para o tratamento do diabetes do tipo II em conjunto com outras manipulações nutricionais convencionais e a administração de sulfoniluréias.

Outra possível aplicação do TCM é o tratamento de indivíduos que apresentam deficiência na síntese da enzima que participa do transporte intramitocondrial dos AGCL. Segundo Parini *et al.*³⁰, a utilização de TCM é uma estratégia paliativa, atenuando a deficiência da carnitina-acilcarnitina translocase. Entretanto, o TCM não pode ser considerado uma fonte ideal de energia para pacientes com deficiência grave desse tipo de enzima. Parini *et al.*³⁰ ainda sugerem que o ajuste cuidadoso do tratamento dietético pode ajudar a melhorar o prognóstico dessa patologia.

A dieta apropriada durante a regeneração do fígado ainda permanece um enigma. Entretanto, alguns estudos, como o de Blaha *et al.*³¹, analisaram o efeito do TCM sobre a regeneração hepática. Após a suplementação de TCL e de TCM durante o processo de regeneração, esses autores³¹ concluíram que o suplemento equilibrado de TCM e TCL (40% e 60%) é o mais adequado, uma vez que preserva a regeneração do fígado, fato não observado com a suplementação de somente TCM ou TCL.

Diversas pesquisas relacionam a utilização da dieta cetogênica com a supressão de convulsões em indivíduos que apresentam epilepsia³². O TCM também tem sido estudado no tratamento de convulsões, uma vez que a oxidação parcial do AGCM no fígado favorece a formação de corpos cetônicos (acetoacetato e beta-hidroxibutirato)^{33,34}. Os resultados das pesquisas ainda são controversos, principalmente em modelos animais³². Thavendiranathan *et al.*³⁵ verifica-

ram que ratos alimentados com uma dieta cetogênica (rica em TCM) e que posteriormente foram submetidos a modelos experimentais que estimulam convulsão não apresentaram efeito anticonvulsante. Apesar de os animais suplementados com TCM apresentarem concentração plasmática elevada de corpos cetônicos (acetoacetato e beta-hidroxibutirato), Thavendiranathan *et al.*³⁵ sugerem que essa elevação não necessariamente suprime a convulsão.

A suplementação de TCM, em algumas situações específicas, tem-se mostrado extremamente eficiente. Esses achados incentivaram diversos estudos na década de 80 a utilizá-lo no exercício²¹⁻²³. Entretanto, não é possível presumir que o sucesso na prática clínica seja garantia de eficiência no exercício.

SUPLEMENTAÇÃO DE TCM NO EXERCÍCIO DE ENDURANCE

Administração aguda de TCM

Estudos pioneiros utilizando TCM a fim de promover aumento de desempenho físico surgiram durante a década de 80²¹⁻²³. Nesses três estudos iniciais, não foi comprovada nenhuma vantagem na utilização de TCM em relação ao carboidrato.

Um único estudo realizado por Sabatin *et al.*³⁶ demonstrou efeito positivo da suplementação de TCM. Após a ingestão de 45 gramas de TCM, foi comprovada a redução da taxa de oxidação de glicogênio³⁶.

Posteriormente, Massicotte *et al.*³⁷ compararam a ingestão de uma solução de TCM (aproximadamente 30 gramas) com uma de glicose, em seres humanos, antes de uma sessão de exercício prolongado (120 minutos), realizado em cicloergômetro a 65% do $\dot{V}O_2$ max. Após a determinação da taxa de oxidação dos diferentes substratos, foi comprovado que ambos contribuíram de forma semelhante para a geração de energia durante o exercício. Tanto a ingestão de carboidrato como a de TCM aboliram a queda da glicemia que normalmente é observada em atividades de longa duração. A manutenção da glicemia atenuou a redução da insulina bem como o aumento de seus contra-reguladores (adrenalina e glucagon). Segundo esses autores³⁷, o ajuste hormonal teria dificultado a participação do ácido graxo endógeno na geração de energia, impedindo, dessa forma, a promoção do efeito poupador de glicogênio.

No estudo de Borghouts *et al.*³⁸, foi utilizado um modelo de suplementação duplo-cego cruzado a fim de determinar o efeito do TCM sobre a utilização do glicogênio muscular. Verificou-se que a suplementação de TCM em comparação com a de carboidrato não apresentou diferença no conteúdo de glicogênio ao final de 180 minutos de exercício em cicloergômetro a 61% do $\dot{V}O_2$ max.

Ainda em 1995, um estudo realizado por Sidossis *et al.*³⁹ obteve resultados que reacenderam o interesse sobre a utilização do TCM no exercício. Esses autores compararam o efeito da infusão de AGCM com a de AGCL em um exercício com intensidade progressiva. Nesse estudo, evidenciou-se que o aumento da intensidade reduziu a oxidação do AGCL, enquanto que a oxidação de AGCM foi aumentada. Ainda com relação ao metabolismo dos AGCM, Jong-Yeon *et al.*⁴⁰ verificaram que o treinamento de *endurance* amplifica sua oxidação.

Após os estudos acima citados, a comparação entre a ingestão de TCM, TCM em associação com carboidratos e somente carboidrato tornou-se o principal foco de interesse das pesquisas. Jeukendrup *et al.*⁴¹ suplementaram atletas com TCM na intenção de elevar a concentração plasmática de ácido graxo e, conseqüentemente, aumentar sua oxidação. Os resultados obtidos demonstraram que, durante o exercício realizado em cicloergômetro a 57% do $\dot{V}O_2$ max por 180 minutos, a taxa de oxidação do TCM, quando associado à glicose, atingiu 72% da quantidade administrada. Portanto, ficou comprovada a hipótese de que o TCM é uma fonte alternativa de energia para o exercício. Entretanto, devido à baixa tolerância gastrointestinal, a contribuição energética proveniente da oxidação do TCM foi insignificante (3% a 7% do total de energia despendida). Estudos anteriores, como o de Ivy *et al.*²¹, também confirmam que a tolerância máxima ao TCM é da ordem de 30 gramas. Em 1996, Jeukendrup *et al.*⁴² induziram a depleção de glicogênio em indivíduos e, em seqüência, administraram TCM, TCM associado a carboidrato ou apenas carboidrato antes de uma sessão de exercício de 90 minutos a 57% do $\dot{V}O_2$ max em cicloergômetro. Observou-se que a redução dos estoques de glicogênio exacerbou a oxidação total de gorduras⁴². No entanto, a oxidação do TCM administrado não foi aumentada significativamente. Mais uma vez, a energia proveniente da oxidação do TCM foi insignificante.

Em outro estudo realizado por Jeukendrup *et al.*¹², a suplementação de 29 gramas de TCM com carboidrato, durante um exercício a 57% do $\dot{V}O_2$ max por 180 minutos em cicloergômetro, não promoveu elevação na concentração de ácidos graxos plasmáticos e também não influenciou a utilização de carboidrato endógeno.

Em 1996, um estudo realizado por Van Zyl *et al.*⁴³ relatou melhora do desempenho decorrente da ingestão de TCM. Os indivíduos treinados foram submetidos a um exercício submáximo (60% do $\dot{V}O_2$ max por 120 minutos em cicloergômetro) seguido por um teste em cicloergômetro, no qual a distância de 40 quilômetros deveria ser percorrida no menor tempo possível. Durante o exercício, os atletas receberam inicialmente 400ml, seguidos de 100ml a cada 10 minutos, dos seguintes tipos de solução: TCM a 4,3% (TCM),

TCM a 4,3% associado a carboidrato a 10% (TCM + CHO) e apenas carboidrato a 10% (CHO). Os atletas que receberam a solução de TCM em conjunto com carboidrato obtiveram melhora significativa no tempo despendido para percorrer os 40 quilômetros. Não foi verificada diferença entre a concentração de glicose circulante, glicerol e ácido graxo endógeno entre o grupo suplementado com TCM e CHO e o grupo suplementado somente com CHO⁴³.

Durante as duas primeiras horas, a concentração total de ácido graxo permaneceu inalterada. Somente a partir da terceira hora de duração do teste o grupo que recebeu TCM com CHO apresentou aumento nas concentrações de AGCM e corpos cetônicos. Concomitantemente, foi verificada redução na produção de lactato em relação ao grupo CHO. Por meio desses resultados, foi proposto que a redução da oxidação de carboidrato endógeno observada no grupo suplementado com TCM deveu-se ao aumento da cetogênese⁴³.

A quantidade de TCM utilizada por Van Zyl *et al.*⁴³, 86 gramas, foi significativamente maior que a administrada em estudos anteriores. Esses autores argumentam que a quantidade reduzida, de aproximadamente 30 gramas (4ml/kg no início e 2ml/kg a cada 20 minutos de uma solução a 5%), de TCM utilizada em estudos anteriores^{12,41,42} não foi eficiente em promover o aumento do ácido graxo plasmático e, conseqüentemente, o efeito poupador de glicogênio.

Os resultados demonstrados por Van Zyl *et al.*⁴³ geraram bastante polêmica entre os pesquisadores da área, uma vez que, até o presente momento, os estudos tinham sido conduzidos respeitando o limite de ingestão de 30 gramas de TCM. Portanto, a fim de comprovar esses achados, Jeukendrup *et al.*⁴⁴ realizaram um estudo semelhante ao de Van Zyl *et al.*⁴³ no qual os indivíduos treinados foram suplementados com 85 gramas de TCM. Os mesmos se exercitaram por 120 minutos a 60% do $\dot{V}O_2$ max e, logo após, foram submetidos a um teste em cicloergômetro. A administração das soluções foi realizada da seguinte maneira: 8ml/kg no início do exercício e 2ml/kg a cada 15 minutos durante o exercício. A ingestão da solução de carboidrato a 10% e da solução de TCM a 5% e carboidrato a 10% não promoveu diferença significativa sobre o tempo de realização do trabalho. A solução de TCM a 5% não somente causou desconforto gastrointestinal, como também prejudicou o desempenho em comparação com os grupos placebo (água) e o que recebeu carboidrato a 10%.

Essa polêmica gerada sobre o efeito da quantidade de TCM sobre o desempenho motivou a realização de um novo estudo. Goedecke *et al.*⁴⁵ suplementaram nove ciclistas treinados com uma solução de 10% de glicose, 10% de glicose mais 1,72% de TCM ou 10% glicose mais 3,44% de TCM.

Também foi de interesse desses pesquisadores examinar os efeitos da ingestão de concentrações crescentes de TCM sobre o trato gastrointestinal e sobre a oxidação de carboidrato durante um exercício em cicloergômetro com duração de 120 minutos a 63% $\dot{V}O_{2max}$.

As concentrações de AGL e de corpos cetônicos apresentaram elevação, porém, isso não afetou a oxidação desse substrato e o desempenho dos ciclistas. O consumo elevado de carboidrato antes do exercício (aproximadamente 140 gramas) realizado nesse estudo elevou o nível de insulina plasmática. Segundo Goedecke *et al.*⁴⁵, isso acabou facilitando a oxidação de carboidrato em detrimento do ácido graxo, apesar da concentração elevada do mesmo após a ingestão de TCM.

No estudo de Van Zyl *et al.*⁴³, a refeição que precedeu o teste continha 85 gramas de carboidrato. Essa quantidade de carboidrato ingerida resultou em concentração de insulina circulante próxima a 6-7mU/L, enquanto que, no estudo de Goedecke *et al.*⁴⁵, variou entre 13 e 24mU/L. Para Goedecke *et al.*⁴⁵, o benefício ergogênico do TCM pode ser limitado pela elevação da insulina circulante e seu efeito inibitório sobre a lipólise e a oxidação de ácido graxo.

Com relação ao desconforto gastrointestinal, Goedecke *et al.*⁴⁵ observaram que apenas dois atletas apresentaram intolerância ao TCM. Em contraste, Jeukendrup *et al.*⁴⁴ sugeriram que a não ocorrência da melhoria do desempenho em sua experimentação pode ter sido parcialmente devida ao desconforto gastrointestinal, relatado também por Ivy *et al.*²¹ e Decombaz *et al.*²². Para Goedecke *et al.*⁴⁵, a tolerância ao TCM é individual e não pode ser considerada como único fator limitante do desempenho. Esses resultados sugerem que os atletas devem testar sua tolerância ao TCM em sessões de treinamento antes de o usar para uma competição.

O estudo de Horowitz *et al.*⁴⁶ teve por finalidade principal investigar se uma quantidade tolerável de ingestão de triglicerídeo de cadeia média (25 gramas) de fato reduz a glicogenólise do músculo e a oxidação de glicogênio muscular durante o exercício intenso (84% do $\dot{V}O_{2max}$). Para isso, foram utilizados sete ciclistas bem treinados, os quais deveriam realizar um exercício de alta intensidade de 30 minutos, em bicicleta ergométrica, sendo que os dois primeiros minutos a 60% do $\dot{V}O_{2max}$ e, então, os 28 minutos restantes, a 84% do $\dot{V}O_{2max}$, 60 minutos após a ingestão de carboidrato (0,72 grama de sacarose/kg) sozinho ou em combinação com TCM (0,36 grama de TCM/kg + 0,72 grama de sacarose/kg).

Horowitz *et al.*⁴⁶ relataram a ausência de aumento da concentração de AGL plasmático, porém, isso não indica que o TCM ingerido não foi disponibilizado para a circulação sistêmica. Como previamente demonstrado por Mas-

sicotte *et al.*³⁷, cerca de 60% de uma refeição de TCM foram oxidados durante o exercício sem elevação na concentração de AGL plasmático acima do grupo controle. Nesse estudo, a suplementação de TCM não afetou a oxidação do substrato durante o exercício de alta intensidade.

Segundo Angus *et al.*⁴⁷, a grande maioria dos estudos avalia o efeito da suplementação de TCM em exercícios de intensidade moderada e constante. Entretanto, para esses pesquisadores, esses modelos experimentais não refletem a realidade da situação competitiva. A fim de simular o ambiente de competição, foi realizado um teste em cicloergômetro, no qual 100 quilômetros deveriam ser percorridos no menor tempo possível. Foram administradas três soluções diferentes – carboidrato (6%), carboidrato (6%) mais TCM (4,3%) e placebo doce – da seguinte forma: 250ml de solução antes do início do teste e 250ml durante o exercício num intervalo de 15 minutos, até seu término. Angus *et al.*⁴⁷ observaram que os atletas mantiveram nível semelhante de geração de trabalho (watts) para os primeiros 135 minutos, independente da bebida consumida, diminuindo apenas com a solução de placebo próximo ao término do exercício.

Angus *et al.*⁴⁷ também demonstraram que a ingestão de CHO durante 100 quilômetros, em atletas bem treinados, realçou o desempenho. Já a adição de TCM à bebida ingerida de CHO não alterou a concentração de AGL no plasma nem promoveu redução adicional nos estoques de CHO em comparação com o carboidrato. A explicação sugerida foi de que o exercício de intensidade elevada reduz o fluxo sanguíneo para o trato gastrointestinal, afetando a disponibilidade plasmática de AGCM e, conseqüentemente, limitando sua contribuição energética.

Com relação ao consumo agudo de TCM com intuito de preservar o glicogênio muscular, a grande maioria dos estudos falhou em demonstrar resultados positivos. Dentre os poucos estudos^{36,39,43} que demonstraram efeito ergogênico do TCM, é importante destacar alguns pontos. No estudo de Sidossis *et al.*³⁹, a administração de TCM foi realizada por infusão venosa. Após sua absorção, os AGCM seguem através da via porta hepática direto para o fígado, onde são rapidamente metabolizados. Portanto, a infusão é uma estratégia para burlar a barreira fisiológica que o fígado representa para esses ácidos graxos, e isso aumentaria sua disponibilidade para o músculo.

Tanto no estudo de Sabatin *et al.*³⁶ como no de Van Zyl *et al.*⁴³, a quantidade de TCM administrada é superior ao limite de tolerância gastrointestinal que a literatura propõe como seguro. Ainda no estudo de Van Zyl *et al.*⁴³, a ingestão de carboidrato antes do exercício foi inferior à de outros estudos. Isso influenciou a concentração de insulina de maneira diferente, o que contribuiria para a melhor

mobilização e oxidação de AGL. A quantidade de carboidrato ingerida também pode ter contribuído para a discrepância de resultados. Essas diferenças nos modelos experimentais inviabilizam a comparação direta dos resultados obtidos.

Com relação à suplementação aguda de TCM, os desafios que permanecem são a determinação da tolerância máxima ao TCM e a confirmação da existência de uma relação dose-dependente entre TCM e o efeito poupador de glicogênio.

Administração crônica de TCM

Um dos estudos pioneiros que avaliou o consumo crônico de TCM foi o conduzido por Fushiki *et al.*⁴⁸. Este teve por finalidade investigar o efeito do TCM administrado cronicamente (seis semanas) na capacidade da resistência na natação em ratos sedentários e treinados. Para isso, foram elaboradas duas dietas, uma contendo 80 gramas de TCM + 20 gramas de TCL e outra, 100 gramas de TCL.

A capacidade de nadar em grupos suplementados cronicamente com TCM foi inicialmente a mesma que a observada no grupo com TCL. Entretanto, após duas semanas do início do período de treinamento em associação com a suplementação, o grupo TCM apresentou resistência à fadiga significativamente maior do que o grupo suplementado com TCL⁴⁸. Porém, a resistência à fadiga dos ratos que receberam uma única dose (suplementação aguda) de TCM não foi afetada⁴⁸. Esses dados confirmam a maioria dos resultados obtidos por meio do consumo agudo de TCM.

Fushiki *et al.*⁴⁸ ainda observaram que os ratos sedentários e treinados alimentados com TCM por seis semanas também levaram maior tempo para a exaustão. Para esses autores, o aumento das concentrações de corpos cetônicos e de ácido graxo provocado pelo consumo crônico de TCM pode ter parcialmente contribuído para a melhoria do desempenho.

Em um estudo⁴⁹ que realizamos, a suplementação crônica (oito semanas) com óleo de palmiste (rico em ácidos graxos de cadeia média – C₁₂:0) evidenciou o efeito poupador de glicogênio no músculo em relação ao grupo que recebeu a dieta controle. Entretanto, ao final do exercício realizado em esteira por 60 minutos a 65% do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_2\text{max}$) o conteúdo de glicogênio hepático foi reduzido em relação ao grupo controle⁴⁹. Vale ressaltar que, em roedores, a hipoglicemia relacionada à depleção do glicogênio hepático precede a redução do glicogênio muscular⁵⁰. Portanto, em ratos, o glicogênio hepático é o fator limitante da realização do exercício. Apesar de não ter sido avaliado o tempo para a exaustão, acreditamos que essa redução do estoque hepático de glicogênio

será deletéria para a capacidade de manutenção do exercício⁴⁹.

Estudos em seres humanos, como o de Goedecke *et al.*⁵¹ e Misell *et al.*⁵², assim como os realizados em roedores, também trazem resultados conflitantes. Goedecke *et al.*⁵¹ examinaram o efeito de uma dieta isocalórica rica em TCM por 15 dias. Cada experimento foi constituído de 150 minutos em cicloergômetro a 70% $\dot{V}O_{2\text{pico}}$, seguido imediatamente por um teste no qual a distância de 40 quilômetros deveria ser percorrida no menor tempo possível. Antes do experimento, os atletas consumiram uma emulsão com 10% de carboidrato e 3,44% de TCM, aromatizado com sabor laranja. Nesse estudo, foi avaliado o efeito do consumo crônico associado à ingestão aguda de TCM.

Goedecke *et al.*⁵¹ relataram que a exposição a uma dieta hiperlipídica em um curto período de tempo, como cinco a 10 dias, resulta em aumento na oxidação de gordura e, concomitantemente, poupa o glicogênio muscular durante o exercício em relação à dieta controle. Essa mudança no metabolismo do substrato pode ocorrer devido ao aumento na atividade do complexo enzimático CPT no músculo e ao baixo estoque de glicogênio muscular. No entanto, não foi verificada redução no tempo para a realização dos 40 quilômetros.

No estudo de Misell *et al.*⁵², o objetivo foi determinar o efeito do consumo crônico de TCM sobre o desempenho no exercício de *endurance* em corredores. Os participantes ingeriram 56 gramas de TCL e 60 gramas de TCM por solução diariamente durante duas semanas. Essa recomendação foi seguida até o último dia que antecedeu o teste, com a preocupação de manter a ingestão total de gordura em aproximadamente 30% da energia total. O teste foi realizado em esteira a 85% do $\dot{V}O_2\text{max}$ por 30 minutos, sendo posteriormente reduzida a intensidade para 75% $\dot{V}O_2\text{max}$ até a exaustão voluntária. A suplementação de TCM não apresentou aumento no tempo para a exaustão em relação à de TCL. Inicialmente, o consumo da solução de TCM provocou desconforto em todos os participantes; entretanto, ao final das duas semanas, a maioria dos participantes relatou que os sintomas diminuíram. Misell *et al.*⁵² acreditam que o consumo crônico de TCM aumenta sua tolerância à ingestão aguda e que o limite de segurança para ingestão proposto anteriormente de 30 gramas pode ser alterado.

Apesar de alguns resultados promissores obtidos por meio do consumo crônico de TCM, é importante ressaltar que ainda existem poucos estudos que avaliaram os efeitos colaterais dessa prática. Verificamos que o consumo crônico e elevado de óleo de palmiste (rico em ácido láurico C12:0) em ratos sedentários desencadeou adaptações deletérias, como o redução do índice GI (índice determinado

pela razão entre a concentração de glicose e insulina, indicativo amplamente utilizado para verificar a ocorrência de resistência periférica à insulina), a elevação da concentração de triglicérido circulante e do percentual de gordura⁵³⁻⁵⁵. Todavia, em ratos treinados, esses efeitos deletérios do consumo crônico de TCM foram atenuados⁵⁵.

A administração crônica de TCM a seres humanos com o intuito de promover aumento do desempenho físico é recente e pouco explorada. Algumas questões ainda permanecem sem resposta, tais como a duração ideal do período de suplementação e o percentual de lipídios em relação ao total de calorias ingeridas. Somente após a resolução desses questionamentos será possível verificar se o TCM exerce algum benefício ergogênico sem prejudicar a saúde.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos 20 anos, a utilização do TCM no exercício de *endurance* foi objeto de estudo de diversas pesquisas. Entretanto, alguns pontos precisam ser elucidados com relação à suplementação de TCM, como: verificar se a ocor-

rência do efeito poupador de glicogênio estabelece uma relação dose-dependente com a administração de TCM e determinar se o limite gastrointestinal é individual. Quanto ao limite seguro de ingestão, ainda são necessárias mais evidências para a confirmação de que o mesmo pode ser alterado pelo consumo crônico de TCM.

Com relação ao questionamento levantado no título desta revisão, pode-se concluir que ainda existe certa controvérsia quanto ao aumento do desempenho induzido pelo consumo de TCM. Entretanto, atualmente há forte tendência na literatura em não se associar a suplementação de TCM à ocorrência do efeito poupador de glicogênio e à melhoria do desempenho. Com exceção de alguns poucos estudos que sugeriram o benefício ergogênico da ingestão de TCM, a maioria dos resultados demonstra que essa estratégia dietética tem baixa eficiência, não sendo superior à suplementação de carboidrato.

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

REFERÊNCIAS

1. Sá CA, Portela LOC. Manipulação de carboidratos na dieta e o diagnóstico da performance. *Rev Bras Cien Mov* 2001;9:13-24.
2. Alhborg B, Bergstrom J, Ekelund LG, Hultman E. Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol Scand* 1967;70:129-42.
3. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 1967;71:140-50.
4. Aoki MS, Seelaender MCL. Suplementação lipídica para atividades de endurance. *Rev Paul Educ Fis* 1999;13:230-6.
5. Rennie MJ, Winder WW, Holloszy JO. A sparing effect of increased plasma fatty acids on muscle and liver glycogen content in the exercising rat. *Biochem J* 1976;156:647-55.
6. Hickson RD, Rennie MJ, Conlee RK, Winder WW, Holloszy JO. Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J Appl Physiol* 1977;43:829-33.
7. Costill DL, Coyle E, Dalsky G, Evans W, Fink W, Hoopes D. Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J Appl Physiol* 1977;43:695-9.
8. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Fink W, Hoopes D. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:164-72.
9. Dick DJ, Putman GJF, Heigenhauser E, Hultman E, Spriet LL. Regulation of fat-carbohydrate interaction in skeletal muscle during intense aerobic cycling. *Am J Physiol* 1983;265:E852-9.
10. Vukovich MD, Costill MS, Hickey SW, Trappe KJ, Fink WJ. Effect of fat emulsion infusion and fat feeding on muscle glycogen utilization during cycling exercise. *J Appl Physiol* 1993;75:1513-8.
11. Berning JR. The role of medium-chain triglycerides in exercise. *Int J Sport Nutr* 1996;6:121-33.
12. Jeukendrup AE, Saris WHM, Diesen RV, Brouns F, Wagenmakers AJM. Effect of endogenous carbohydrate availability on oral medium-chain triglyceride oxidation during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1996;80:949-54.
13. Babayan VK. Medium-chain triglycerides – Their composition, preparation and application. *J Am Oil Chem* 1968;45:23-5.
14. Bach AC, Babayan VK. Medium-chain triglycerides: an update. *Am J Clin Nutr* 1982;36:950-62.
15. Galobert C, Filliat M, Chazalotte JP, Mendy F, Delhaye M. Intestinal absorption of medium-chain triglycerides in a case of pancreatic cystic fibrosis. *Ann Pediatric* 1975;22:745-53.
16. Beckers EJ, Jeukendrup AE, Brouns F, Wagenmakers AJM, Saris WHM. Gastric emptying of carbohydrate-medium chain triglycerides suspensions at rest. *Int J Sports Med* 1992;13:581-4.
17. Ashbrook JD, Spector AA, Fletcher JE. Medium-chain fatty acid binding to human plasma albumin. *J Biol Chem* 1972;247:703-8.
18. Metges CC, Wolfram G. Medium and long-chain triglycerides labeled with C: comparison of oxidation after oral or parenteral administration in humans. *J Nutr* 1991;121:31-6.
19. Fritz IB, Yue KTN. Long chain carnitine acyl transferase and the role of acylcarnitine derivatives in the catalytic increase of fatty acid oxidation induced by carnitine. *J Lipid Res* 1963;4:279-88.
20. Bremer J. Carnitine and its role in fatty acid metabolism. *Trends Biochem Sci* 1980;2:207-9.
21. Ivy JL, Costill DL, Fink WJ, Maglisho E. Contribution of medium and long triglycerides intake to energy metabolism during prolonged exercise. *Int J Sports Med* 1980;1:15-20.
22. Decombaz J, Arnaud MJ, Milon H, Moesh G, Philopossian AL, Thelin H, et al. Energy metabolism of medium-chain triglycerides versus carbohydrates during exercise. *Eur J Appl Physiol* 1983;52:9-14.
23. Auclair E, Satabin P, Servan E, Guezennec CV. Metabolic effects of glucose medium chain triglycerides and long chain triglycerides feedings before prolonged exercise in rats. *J Appl Physiol* 1998;75:126-31.

24. Gottschlich MM. Selection of optimal lipid sources in enteral and parenteral nutrition. *Nutr Clin Pract* 1992;7:152-65.
25. Valdivieso V. Absorption of medium-chain triglycerides in animals with pancreatic atrophy. *Am J Digest Dis* 1972;17:129-36.
26. Hofmann AF, Poley JR. Role of bile acid mal absorption in pathogenesis of diarrhea and steatorrhea in patients with ileal resection. *Gastroenterology* 1972;62:918-34.
27. Tantibhedhyangkul P, Hashim SA. MCT feedings in premature infants: effects of calcium and magnesium absorption. *Pediatrics* 1978;61:537-45.
28. Jiang Z, Zhang S, Wang X. Metabolic effects of medium-chain triglycerides in parenteral nutrition after surgery. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi* 2001;39:694-7.
29. Eckel RH, Hanson AS, Chen AY, Berman JN, Yost TJ, Brass EP. Dietary substitution of medium chain triglycerides improves insulin-mediated glucose metabolism in NIDDM subjects. *Diabetes* 1992;41:641-7.
30. Parini R, Invernizzi F, Menni F, Garaveglia B, Melotti D, Rimoldi M, et al. Medium-chain triglycerides loading test in carnitine-acylcarnitine translocase deficiency: insights on treatment. *J Inher Metab Dis* 1999; 22:733-9.
31. Blaha V, Cervinkova Z, Simek J, Cotkova H, Zaoak Z. Long and medium-chain triacylglycerols in nutritional support of liver regeneration of partially hepatectomized rats. *J Physiol Res* 1999;48:457-63.
32. Colleone VV. Aplicações clínicas dos ácidos graxos de cadeia média. In: Curi R, Pompéia C, Miyasaka CK, Procopio J, editores. Entendendo a gordura: ácidos graxos. 1ª ed. Barueri: Manole, 2002;199-214.
33. Bach A. Oxaloacetate deficiency in MCT-induced ketogenesis. *Arch Int Physiol Biochem* 1978; 86:1133-42.
34. Bach A, Debry G, Metais P. Hepatic metabolism of medium-chain triglycerides. *Bibl Nutr Dieta* 1977;25:24-35.
35. Thavendiranathan P, Mendonca A, Dell C, Likhodii SS, Musa K, Iracleous C, et al. The MCT ketogenic diet: effects on animal seizure models. *Exp Neurol* 2000;161:696-703.
36. Sabatin P, Portero GD, Bricout J, Guezennec CY. Metabolic and hormonal responses to lipid and carbohydrate diets during exercise in man. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:218-23.
37. Massicotte D, Peronnet F, Brisson GR, Hillaire-Marcel C. Oxidation of exogenous medium-chain free fatty acids during prolonged exercise: comparison with glucose. *J Appl Physiol* 1992;73:1334-9.
38. Borghouts AE, Jeukendrup AE, Saris WHM, Brouns F, Wagenmakers AJM. No effect of medium chain triglycerides (MCT) ingestion during prolonged exercise on muscle glycogen utilization. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:S101-5.
39. Sidossis LS, Gastaldelli A, Wolfe RR. Fatty acid uptake by the mitochondria limits fat oxidation in strenuous exercise. *Med Sports Sci Exerc* 1995;27:S102.
40. Jong-Yeon K, Hickner RC, Dohm GL, Houmard JA. Long and medium chain fatty acid oxidation is increased in exercise trained human skeletal muscle. *Metabolism* 2002;51:460-4.
41. Jeukendrup AE, Saris WHM, Schrauwen P, Brouns F, Wagenmakers AJM. Metabolic availability of medium-chain triglycerides coingested with carbohydrates during prolonged exercise. *J Appl Physiol* 1995;79:756-62.
42. Jeukendrup AE, Saris WHM, Brouns F, Halliday D, Wagenmakers AJM. Effects of carbohydrate and fat supplementation on carbohydrate metabolism during prolonged exercise. *Metabolism* 1996;45:915-21.
43. Van Zyl CG, Lambert EV, Hawley JA, Noakes TD, Dennis SC. Effects of medium-chain triglyceride ingestion on fuel metabolism and cycling performance. *J Appl Physiol* 1996;80:2217-25.
44. Jeukendrup AE, Thielen JJHC, Wagenmakers AJM, Brouns F, Saris WHM. Effect of medium-chain triacylglycerol and carbohydrate ingestion during exercise on substrate utilization and subsequent cycling performance. *Am J Clin Nutr* 1998;67:397-404.
45. Goedecke JH, Elmer-English R, Dennis SC, Schoss I, Noakes TD, Lambert EV. Effects of medium-chain triacylglycerol ingested with carbohydrate on metabolism and exercise performance. *Int J Sport Nutr* 1999;9: 35-47.
46. Horowitz JF, Mora-Rodriguez R, Byerley LO, Coyle, EF. Pre-exercise medium-chain triglyceride ingestion does not alter muscle glycogen use during exercise. *J Appl Physiol* 2000;88:219-25.
47. Angus JD, Hargreaves M, Dancy J, Febbraio MA. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *J Appl Physiol* 2000;88:113-9.
48. Fushiki T, Matsumoto K, Inoue K, Kawada T, Sugimoto E. Swimming endurance capacity of mice is increased by chronic consumption of medium-chain triglycerides. *J Appl Physiol* 1995;77:126-31.
49. Aoki MS, Belmonte MA, Seelaender MCL. Effect of high fat diets and training upon muscle carnitine palmitoyltransferase activity and glycogen content. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:S213.
50. Terjung RL, Baldwin KM, Winder WW, Holloszy JO. Glycogen repletion in different types of muscle and liver after exhausting exercise. *Am J Physiol* 1973;226:1387-91.
51. Goedecke JH, Christie C, Wilson G, Denis SC, Noakes TD, Hopkins WG, et al. Metabolic adaptations to a high-fat diet in endurance cyclists. *Metabolism* 1999;48:1509-17.
52. Misell LM, Lagomarcino ND, Schuster V, Kern M. Chronic medium-chain triacylglycerol consumption and endurance performance in trained runners. *J Sports Med Phys Fitness* 2001;41:210-5.
53. Aoki MS, Belmonte MA, Seelaender MCL. Efeito da suplementação lipídica sobre o percentual de gordura da carcaça e de diversos tecidos de ratos Wistar. *Anais da XIV Reunião da Fesbe* 1999;383-4.
54. Aoki MS, Belmonte MA, Seelaender MCL. The partitioning of liver triacylglycerol pool is altered by high fat diets. *Anais da XV Reunião da Fesbe* 2000;73.
55. Aoki MS. Efeito da suplementação lipídica sobre parâmetros metabólicos de ratos submetidos ao treinamento de *endurance* [Dissertação apresentada para obtenção do título de mestre em ciências]. São Paulo: Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo; 2000.