

REVISÃO SISTEMÁTICA: DIETA CETOGÊNICA E SUAS IMPLICAÇÕES NA PERFORMANCE

SYSTEMATIC REVIEW: KETOGENIC DIET AND ITS PERFORMANCE IMPLICATIONS

REVISIÓN SISTEMÁTICA: DIETA KETOGENICA Y SUS IMPLICACIONES DE RENDIMIENTO

Ana Paula Dahlke

anapauladahke@hotmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Kelly Ribeiro de Freitas Viana

kelly.ufrgs@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

RESUMO

O glicogênio é fonte energética para ações musculares. Dietas ricas em carboidratos permitem o armazenamento e disponibilização desse glicogênio. As dietas cetogênicas, apesar de reduzir os estoques de glicogênio, permitem que o organismo utilize como substrato a gordura corporal. Objetivamos identificar se a mudança alimentar pode influenciar na performance. Metodologia: Trata-se de uma revisão sistemática na base de dados do PubMed. Resultados: Foram encontrados 100 estudos. Cinco foram selecionados para compor este artigo. Conclusão: Esse tipo de intervenção dietética permite a perda de gordura corporal, mantendo a estrutura muscular construída pelo treinamento, sem prejudicar a performance.

Palavras-Chave: Dieta Cetogênica. Desempenho Atlético. Exercício. Educação Física e Treinamento.

ABSTRACT

Glycogen is energy source for human muscle activities. Rich carbohydrate diets allow the storage and release of glycogens to the body. Ketogenic diets reduce the glycogen stocks but allow the organism to use body fat as substract. The objective of this work is to identify if feeding changes can influence the performance. Metodology: Systematic review of PubMed database. Results: It was found 100 studies about this subject. Five were selected as base for this article. Conclusion: This type of dietetic intervention allows the lose of body fat keeping the muscle structure built with training without affecting the performance.

Keywords: Ketogenic Diet. Athletic Performance. Exercise. Physical Education and Training.

RESUMEN

El glucógeno es una fuente de energía para las acciones musculares. Las dietas ricas en hidratos de carbono permiten el almacenamiento y la disponibilidad de este glucógeno. Las dietas cetogénicas, a pesar de la reducción de las reservas de glucógeno, permiten que el cuerpo utilice la grasa corporal como sustrato. El objetivo fue identificar el cambio en la dieta puede influir en el rendimiento. Metodología: Se trata de una revisión sistemática en la base de datos PubMed. Resultados: Se encontraron 100 estudios. Cinco fueron seleccionados para componer este artículo. Conclusión: Este tipo de intervención dietética permite la pérdida de grasa corporal, mientras que el mantenimiento de la estructura muscular construido por la formación, sin sacrificar el rendimiento.

Palabras clave: Dieta Cetogénica. Rendimiento Atlético. Ejercicio. Educación y Entrenamiento Físico.

Introdução

A ciência moderna tem buscado determinar qual a dieta humana que permita manter um peso saudável, indicadores fisiológicos dentro dos parâmetros considerados normais, que proporcione bem-estar e, ainda, para os praticantes de exercícios físicos, uma dieta que consiga aprimorar o desempenho. Para atingir tais objetivos, as estratégias nutricionais devem fornecer estoques adequados de substratos visando atender às demandas do treinamento e também preservar as funções do Sistema Nervoso Central (THOMAS; ERDMAN; BURKE, 2016).

O consumo elevado de carboidratos pode, conforme documentado na literatura acadêmica, auxiliar na melhora da performance nos exercícios, especialmente nos exercícios de resistência (MAUGHAN et al., 2000; MATSUDO, 2001; IVY, 2004; BURKE et al., 2011; CERMAK; VAN LOON, 2013). Indivíduos que ingerem poucos carboidratos podem apresentar menor resistência à prática de exercícios físicos prolongados (COYLE, 2005; BARTLETT; HAWLEY; MORTON, 2015), pois o armazenamento do glicogênio muscular é limitado e sua depleção ocorre após treinamentos intensos e sem reposição adequada desse macronutriente (CARVALHO, 2003; BURKE et al., 2011). Quando os estoques de glicogênio esgotam, ocorre fadiga muscular e interrupção do exercício (COGGAN; COYLE, 1987; COSTILL; HARGREAVES, 1992; BURKE, 2010; BARTLETT; HAWLEY; MORTON, 2015).

Paradoxalmente, apesar da fadiga causada pela depleção de glicogênio, os indivíduos possuem um estoque de combustível armazenado na forma de gordura corporal (lipídios) que, aparentemente, parecem ser incapazes de utilizá-lo (VOLEK; NOAKES; PHINNEY, 2014). Tendo em vista a limitação no desempenho em exercícios prolongados ligada ao armazenamento de glicogênio, alguns pesquisadores têm se dedicado a buscar estratégias dietéticas que possibilitem a utilização dessas reservas lipídicas durante o exercício (YEO et al., 2011). Para Volek, Noakes e Phinney (2014), a abordagem com uma dieta cetogênica, ou seja, restrita em carboidratos e alto consumo de gordura, possibilita utilizar a gordura corporal como energia para a realização de exercícios físicos, havendo, no entanto, a necessidade de um período mínimo de 3 a 4 semanas de adaptação.

Um dos primeiros estudos sobre a relação dieta-exercício é de 1939 (CHRISTENSEN; HANSEN, 1939) e relata melhora no desempenho de atletas que consumiram mais carboidratos do que de atletas que

havia consumido mais gordura considerando um período de sete dias. Já na década de 1960, Bergström e colaboradores (BERGSTRÖM; HULTMAN, 1966; BERGSTRÖM et al., 1967; BERGSTRÖM; HULTMAN, 1967) demonstraram haver uma associação positiva entre as concentrações de glicogênio muscular antes e depois do treinamento com a capacidade de execução e permanência em exercícios submáximos. Verificaram também que o consumo de carboidratos influencia a reposição desse combustível muscular. Em outras palavras, os autores constataram que a duração de determinado exercício depende diretamente dos estoques de glicogênio muscular, não havendo possibilidade de manutenção do esforço físico quando esses estoques são depletados. Esses estudos são pioneiros na análise da relação glicogênio muscular, duração do exercício, fadiga e consumo de carboidratos e serviram de base as pesquisas que vieram nos anos seguintes.

Apesar das implicações trazidas por esses e outros pesquisadores ao longo do tempo, uma metanálise de 2005 (ERLENBUSH et al., 2005) concluiu ser difícil endossar com confiança uma dieta rica em carboidratos com base na literatura encontrada até aquele momento, tendo em vista os diferentes resultados em pessoas treinadas e destreinadas e os diferentes modelos experimentais.

Portanto, a dieta cetogênica não pode ser descartada na abordagem sobre a temática intervenção nutricional e performance. Essa dieta é severamente restrita em carboidratos e tem como principal macronutriente a gordura. Busca produzir um estado de cetose constante no organismo, que passa a utilizar os corpos cetônicos como fonte de energia.

Um dos primeiros relatos sobre cetose nutricional foi narrado pelo tenente Frederick Schwatka, em 1878, quando liderou uma expedição pelo Ártico e conviveu com famílias Inuit (povo que tradicionalmente habita o Ártico). Os integrantes da expedição foram obrigados a se alimentar com uma dieta proveniente exclusivamente da carne de rena. Schwatka relata que, num primeiro momento, a dieta não pareceu adequada para nutrir adequadamente o organismo humano, pois sentiu fraqueza e incapacidade de realizar tarefas extenuantes. Porém, o tenente relata que esses sintomas desapareceram depois de duas ou três semanas, descrevendo o que seria conhecido posteriormente como cetoadaptação (SCHWATKA; STACKPOLE, 1965; DAVIS, 1984; VOLEK; NOAKES; PHINNEY, 2014; PAOLI; BIANCO; GRIMALDI, 2015).

Anos mais tarde, Vilhjalmur Stefansson, antropólogo que se dedicou a estudar a língua e a cultura Inuit, relatou não encontrar problemas com a dieta daquele grupo, composta por 80-85% de gordura e 15-20% de proteínas. A dieta descrita por ele foi recriada pelo médico Eugene DuBois, que confirmou não

haver sinais de deficiências nutricionais na dieta Inuit (VOLEK; NOAKES; PHINNEY, 2014; PAOLI; BIANCO; GRIMALDI, 2015).

Após esses relatos, a dieta cetogênica parece ter caído no esquecimento. E somente a partir da década de 1920 ressurgiu como tratamento para epilepsia. Foi observado nesse período que pacientes em cetose induzida pelo jejum respondiam melhor ao tratamento e apresentavam menos crises convulsivas. Assim, Wilder (1921) propôs uma dieta que simulasse as mesmas condições bioquímicas do jejum e utilizou a dieta cetogênica para produzir esse efeito. Com o desenvolvimento da indústria farmacêutica e a descoberta de medicamentos mais modernos para controle das crises, a dieta caiu em desuso.

Nos últimos anos, novas discussões sobre a dieta cetogênica surgem juntamente com a crescente divulgação das dietas com pouco carboidrato para perda de peso e tratamento das doenças crônicas não transmissíveis (CROSS et al., 2010; PAOLI et al., 2013; BARTLETT; HAWLEY; MORTON, 2015).

Tendo em vista os estudos e relatos apresentados e refletindo sobre a hipótese de que o exercício intenso e prolongado leva a uma diminuição intramuscular do conteúdo de glicogênio e que essa depleção das reservas pode acarretar fadiga, propomos o seguinte questionamento: como as dietas cetogênicas influenciam a performance nos exercícios físicos?

Desse modo, objetivou-se avaliar se a mudança de hábito alimentar – tratando-se da diminuição da ingestão de carboidratos e aumento na ingestão de gorduras – influenciam na capacidade de execução de tarefas musculares.

Materiais E Métodos

Para responder à questão proposta a metodologia utilizada foi a revisão sistemática. O uso desse tipo de metodologia possibilita identificar as evidências e sintetizá-las, buscando fundamentar mudanças ou reafirmar posturas já adotadas pelos profissionais. O método de revisão sistemática da literatura consiste em um movimento que tem base em critérios pré-determinados e evidências científicas consistentes, tendo como fim colaborar com a escolha de estudos e/ou ferramentas para o desenvolvimento de artigos com informações originais (SCHÜTZ; SANT'ANA; SANTOS, 2011).

Foram incluídos neste estudo artigos originais, sem restrição de data (tendo em vista a escassez de pesquisas sobre a temática proposta), do tipo experimental, com intervenção dietética e análise da performance em exercícios físicos e/ou esportivos. Outros critérios de inclusão foram: artigos disponíveis

integralmente on-line e com acesso gratuito; intervenção realizada em humanos (jovens e/ou adultos), publicados nos idiomas inglês, português e/ou espanhol.

Os critérios de exclusão foram: estudos realizados com crianças ou animais; artigos que não estivessem integralmente disponíveis on-line; artigos de revisão e metanálises; estudos que utilizaram conjuntamente com a dieta outras intervenções (medicamentosa, por exemplo).

Consultamos o banco de dados PubMed, com os seguintes descritores: “ketogenic diet” and “exercise”; “ketogenic diet” and “performance” e “ketogenic diet” and “physical activity”.

Para inclusão dos artigos, no primeiro momento, foram observados os títulos e os resumos, sendo rejeitados aqueles que não se enquadraram nos critérios de inclusão. Aqueles trabalhos que não puderam ser classificados no primeiro momento, prosseguiu-se a leitura completa do texto para poder incluí-lo ou excluí-lo.

Resultados

Para os termos “ketogenic diet” and “exercise” foram encontrados 54 resultados, dos quais foram selecionados 12 trabalhos pela leitura inicial do título e do resumo. Posteriormente, pela leitura mais atenta dos trabalhos foram selecionados quatro artigos.

Para os termos “ketogenic diet” and “physical activity” foram encontrados quatro resultados, dos quais nenhum preencheu os critérios de inclusão.

Para os termos “ketogenic diet” and “performance” foram encontrados 41 resultados, dos quais foram selecionados nove pela leitura inicial do título e do resumo. Após a leitura atenta dos trabalhos foram selecionados três artigos.

Por fim, considerando os critérios estabelecidos para inclusão e exclusão e excluindo os artigos que apareceram duplicados na busca pelos diferentes descritores, foram analisados neste trabalho cinco artigos.

	AUTORES	TÍTULO DO ARTIGO	REVISTA	ANO	METODOLOGIA
01	PHINNEY, S.D. et al.	Capacity for moderate exercise in obese subjects after adaptation to a hypocaloric, ketogenic diet	The Journal of Clinical Investigation	1980	Grupo (n=6) destreinados e com sobrepeso. Os sujeitos permaneceram 2 semanas com uma dieta com 45% de carboidratos, 40% de gorduras e 15% de proteínas, seguidas de 6 semanas de uma dieta cetogênica, com 1,2g de proteína/kg/dia. Análise: consumo máximo de oxigênio, parâmetros bioquímicos do sangue, biópsia muscular,
02	PHINNEY, S.D. et al.	The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation.	Metabolism	1983	Grupo (n=6) ciclistas treinados Os atletas foram submetidos a uma dieta balanceada normocalórica por uma semana, seguida por quatro semanas de dieta cetogênica normocalórica. Análise: consumo máximo de oxigênio; teste de resistência submáximo, parâmetros bioquímicos sanguíneos e biópsia muscular.
03	PAOLI, A. et al.	Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts	Journal of the International Society of Sports Nutrition	2012	Grupo (n=8) ginastas Análises aconteceram antes e após 30 dias de dieta cetogênica Análises: testes físicos de potência e de composição corporal.
04	ZAJAC, A. et al.	The Effects of a Ketogenic Diet on Exercise Metabolism and Physical Performance in Off-Road Cyclists	Nutrition	2014	Grupo (n=8) ciclistas off-road 4 semanas em dieta mista (MD) e 4 semanas em dieta cetogênica (KD) Análises: consumo máximo de oxigênio, limiar de lactato, parâmetros bioquímicos sanguíneos.
05	RHYU, Hyun-Seung; CHO, Su-Youn	The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes	Journal of Exercise Rehabilitation	2014	Grupo dieta cetogênica: n=10 (KD) e Grupo dieta não-cetogênica: n=10 (NKD) Período de permanência na dieta: 3 semanas Análises: composição corporal, aptidão física (Sprint 2000m, teste de Wingate, teste de força, sentar e levantar, Sprint 100m, salto em distância, permanência em um pé e citocinas.

Tabela I: artigos selecionados
Fonte: Autores

Discussão

Entre os estudos apresentados, observamos que Phinney et al. publicaram dois trabalhos nos anos de 1980 e 1983. Os artigos comparam uma dieta rica em gordura e uma rica em carboidratos e introduzem o entendimento sobre ceto-adaptação, que para os autores representa um período de 3 a 4 semanas para adaptação à dieta cetogênica, que permite que o organismo seja capaz de oxidar gordura de forma

eficiente, preservando as reservas de glicogênio, sem diminuir o desempenho. No estudo de Christensen e Hansen (1939), por exemplo, o período para adaptação a uma dieta restritiva em carboidratos foi curto (sete dias), justificando o desempenho inferior após a implementação da dieta rica em gordura.

No estudo de 1980 de Phinney et al., os sujeitos participantes foram submetidos ao teste de resistência em esteira a 75% do VO_2max_1 em três momentos distintos: após duas semanas consumindo uma dieta de base; na primeira semana de intervenção com a dieta cetogênica e ao final da sexta semana com a mesma dieta. Neste último momento de teste, os indivíduos usaram uma mochila para compensar o peso perdido durante o estudo (média de 10kg/participante). Comparando os resultados, observamos que na primeira semana da dieta cetogênica houve uma queda 20,5% no tempo do teste quando comparado ao teste inicial e um aumento de 155% no teste final quando comparado ao teste inicial e de 192% quando comparado ao teste realizado na primeira semana. Os autores demonstraram que existe uma correlação entre o tempo de adaptação à dieta e o desempenho nos testes aplicados.

Nesse mesmo estudo, os autores analisaram a concentração do glicogênio muscular dos participantes. Na primeira semana da dieta cetogênica, a concentração de glicogênio muscular caiu em 57% quando comparado à biópsia anterior a intervenção dietética. Na sexta semana caiu ainda mais – 68% da quantidade inicial e permaneceu quase sem alteração no momento pré e pós-exercício após as seis semanas de dieta cetogênica. Tal resultado confirma a correlação entre a utilização de ácidos graxos como substrato para fornecer energia e a conservação do glicogênio intramuscular, promovendo uma melhora no teste de resistência submáximo em esteira. Os autores ainda relataram uma queda no VO_2max (de 76% para 60%), justificando que não foi possível medir todas as variáveis para explicar a queda. Entretanto argumentam que pode ter relação com a diminuição da taxa do metabolismo basal devido à perda média de 10kg durante o estudo e a compensação com o uso de mochilas nos testes.

	Baseline	Week 1	Week 6
VO_2max (LPM)	2.49	...	2.49
Exercise VO_2 (LPM)	1.88*	1.71	1.50*
Endurance time (min)	168 ⁺	130	249 ⁺

LPM, liter per minute *week 6 < baseline, $P < 0,05$ ⁺week 6 >baseline, $P < 0,01$.

Tabela II: Resultados do artigo de Phinney et al., 1980.

Fonte: Phinney et al., 1980.

Em 1983, Phinney et al. descreveram a participação de cinco atletas de elite do ciclismo. Nesse estudo, os atletas seguiram uma dieta convencional por uma semana e uma dieta cetogênica nas quatro semanas subsequentes. No teste de cicloergômetro para determinar a resistência, os atletas pedalarão até a exaustão a 60-65% do $VO_2\text{max}$. O resultado mais significativo foi a mudança na utilização de substrato, que pôde ser observado pelo coeficiente respiratório (QR) antes e depois da dieta – de $0,83 \pm 0,01$ para $0,72 \pm 0,02$, o que demonstra maior oxidação de ácidos graxos na produção de energia após a intervenção com a dieta cetogênica. Com relação ao glicogênio muscular, nos testes anteriores à dieta com pouco carboidrato, os atletas tiveram suas reservas de glicogênio severamente depletadas. Após serem submetidos à dieta cetogênica, apesar de as reservas de glicogênio muscular ser bem inferiores no momento pré-exercício, a depleção pós-exercício também foi menor. Portanto, após quatro semanas de intervenção com uma dieta cetogênica não houve diferença significativa na performance dos atletas. Contudo houve maior utilização de ácidos graxos para obtenção de energia e o menor uso do glicogênio muscular.

	$VO_2\text{max}$ (LPM)	Exercise VO_2 (LPM)	Exercise RQ	Endurance time (min)
Baseline	5.1	3.18	0.83*	147
EKD-4	5.0	3.21	0.72*	151

EKD, Eucaloric Ketogenic Diet. LPM, liter per minute. RQ, Respiratory Quotient * $P < 0,01$

Tabela III: Resultados do artigo Phinney *et al.*, 1983.

Fonte: Phinney *et al.*, 1983.

Nos dois estudos citados acima, houve intensa oxidação de gordura durante o exercício submáximo. O QR relatado nos dois trabalhos foi na média de 0,7, o que representa uma alta proporção de utilização de lipídios e também de cetogênese, ou seja, mais de 90% do combustível utilizado durante o exercício contínuo submáximo foi obtido pela oxidação de lipídios, preservando o glicogênio muscular, o que aprimorou o desempenho dos indivíduos destreinados e não interferiu no desempenho dos atletas de ciclismo.

Paoli et al. (2012) investigaram a influência da dieta cetogênica no desempenho de força explosiva em atletas de ginástica. Participaram do estudo oito atletas da ginástica artística de elite. A performance foi avaliada nos seguintes exercícios: elevação das pernas estendidas com suspensão na barra; flexão dos

cotovelos em posição de apoio; flexão de cotovelo na barra paralela; elevação na barra; agachamento com salto; salto com contra movimento; saltos contínuos em 30 segundos e testes de composição corporal. Os testes foram realizados antes e após 30 dias de intervenção com a dieta cetogênica e reavaliados antes e depois de 30 dias com uma dieta convencional, com intervalo de três meses entre as duas intervenções dietéticas.

Não houve diferença significativa nos testes de força explosiva nos dois momentos de intervenção dietética, conforme tabela abaixo. Na composição corporal houve perda significativa de gordura na intervenção com a dieta cetogênica. Desse modo, os autores concluíram que a dieta restrita em carboidratos pode ser utilizada pelos atletas que necessitam reduzir a porcentagem de gordura corporal, sem reduzir a massa muscular, sem perdas na performance e no desempenho atlético e esportivo.

	VLCKD start	VLCKD end	WD start	WD end
Performance results				
SJ	0.42 ± 0.04	0.42 ± 0.05	0.41 ± 0.04	0.40 ± 0.04
CMJ	0.45 ± 0.04	0.43 ± 0.05	0.43 ± 0.06	0.43 ± 0.05
Reverse Grip Chins	17 ± 4.2	16.6 ± 4.6	15.2 ± 3.4	15.2 ± 5.8
Push-ups	36 ± 6.3	38.8 ± 4.7	37 ± 11.8	43.5 ± 18.1
Legs closed barrier	19.2 ± 4.96	21.7 ± 6.35	17.2 ± 5.0	16 ± 4.77
Parallel bar dips	25.8 ± 8.35	28.2 ± 9.31	23 ± 12.19	27 ± 10.61
Anthropometric and body composition results				
Muscle Kg	37.6 ± 3.9	37.9 ± 4.5	38.4 ± 4.1	38.6 ± 4.5
Fat Kg	5.3 ± 1.3	3.4 ± 0.8**	5.1 ± 1.3	4.9 ± 1.1
Fat %	7.6 ± 1.4	5.0 ± 0.9**	8.0 ± 1.3	7.7 ± 1.2
Lean body mass Kg	64.2 ± 6.5	63.1 ± 7.1	61.5 ± 4.3	61.8 ± 4.6
Lean body mass %	92.4 ± 1.4	95.0 ± 1.0**	92.0 ± 1.3	92.3 ± 1.2
Weight	69.6 ± 7.3	68.0 ± 7.5**	70.1 ± 6.2	70.0 ± 6.3

Data are expressed as mean and SD. VLCKD, Very Low Carbohydrate Ketogenic Diets. WD, a typically western diet. SJ, squat jump. CMJ, countermovement jump. Symbols ** = $p < 0.001$ significant difference from

Zajac et al. (2012) propuseram uma intervenção com dieta cetogênica em atletas de ciclismo off-road para determinar possíveis alterações no desempenho aeróbio e metabólico após quatro semanas consumindo mais gorduras e menos carboidratos (composição da dieta: 70% gorduras, 15% proteínas e 15% carboidratos). Os atletas passaram quatro semanas consumindo uma dieta convencional, composta por 50% carboidratos, 30% gorduras e 20% proteínas, havendo um teste ao final da quarta semana, seguidas por quatro semanas consumindo uma dieta cetogênica, conforme descrita acima, e depois foram submetidos novamente aos testes.

Um teste progressivo no cicloergômetro foi aplicado para determinar o VO_{2max} e o limiar de lactato e um protocolo de exercício de alta intensidade, além de testes para determinar a composição corporal e análise bioquímica do sangue.

Nos parâmetros bioquímicos do sangue, o estudo constatou uma menor taxa de enzimas CK (creatina quinase) e LDH (lactato desidrogenase), o que pode indicar menores índices de inflamação e melhor recuperação pós-exercício após a intervenção com a dieta cetogênica. Tal constatação foi observada principalmente no momento do esforço máximo.

Foram observados ainda um incremento no VO_{2max} e no limiar de lactato, que pode ser explicado pela redução da massa corporal e/ou maior consumo de oxigênio necessário para obter o mesmo rendimento energético como de uma dieta mista devido ao aumento da oxidação de gordura ou pela ativação simpática aumentada. Porém, foi observado um comprometimento na potência nos testes de intensidade máxima, o que pode ser justificado pela diminuição nas reservas de glicogênio. Ainda, foi observada uma diminuição no QR, o que indica maior consumo de lipídios para execução das tarefas, conforme relatado em outros estudos citados (PHINNEY et al. 1980; PHINNEY et al., 1983 e PAOLI et al., 2012).

Conforme observado em outras pesquisas (PHINNEY et al. 1980; PHINNEY et al., 1983 e PAOLI et al., 2012), houve uma diminuição significativa da gordura corporal dos indivíduos participantes após se submeterem à dieta com restrição de carboidratos (FAT% $14,88 \pm 3,78$ para $11,02 \pm 3,66$).

Apesar desses achados relacionados à composição corporal, Rhyu e Cho (2014) não encontraram diferença significativa quando avaliaram dois grupos de atletas juvenis de Taekwondo que seguiram por três semanas uma dieta não-cetogênica (NKD) e uma dieta cetogênica (KD). Este resultado pode ser justificado pela grande quantidade de proteínas na dieta cetogênica (40,7%), sabendo que esse macronutriente pode participar do processo de gliconeogênese no fígado, ou seja, o aumento da

produção de glicose pelo fígado, interferindo no estado de cetose nutricional desejado. Como o estudo não mediu a quantidade de corpos cetônicos presentes no sangue, não há como confirmar a hipótese.

Nos testes de aptidão física, o grupo KD obteve melhores resultados antes e depois da dieta, no Sprint de 2000 metros e quando comparado ao grupo NKD. No teste de potência de Wingate, os dois grupos apresentaram resultados inferiores aos testes iniciais, porém o grupo KD apresentou menor fadiga do que o grupo NKD. O grupo KD ainda obteve vantagem no teste sit-up. Nos demais testes não houve diferença significativa entre os dois grupos antes e após a intervenção com os dois tipos de dieta.

Por fim, no estudo de Rhyu e Cho (2014) foi constatada uma resposta inflamatória menor no grupo KD, indicada pelo marcador TNF- α (fator de necrose tumoral alfa), mostrando um efeito anti-inflamatório da dieta.

		KD (n=10)		NKD (n=10)	
		Pre	Post	Pre	Post
2000m sprint (min)		516.0 \pm 37.7	484.0 \pm 35.6	513.8 \pm 59.0	512.4 \pm 50.8
Wingate test	Peak power (w/kg)	9.61 \pm 0.53	8.56 \pm 1.10	9.06 \pm 0.76	8.45 \pm 1.38
	Mean power (w/kg)	7.94 \pm 0.28	7.31 \pm 0.73	7.60 \pm 0.61	6.94 \pm 0.92
	Anaerobic fatigue	55.37 \pm 6.16	52.31 \pm 7.26	54.48 \pm 3.84	59.16 \pm 7.66
Grip force	Left	33.70 \pm 4.46	33.74 \pm 4.03	32.71 \pm 7.18	33.32 \pm 6.39
	Right	35.76 \pm 11.21	35.10 \pm 6.04	36.45 \pm 7.23	34.76 \pm 6.00
Back muscle strenght		103.85 \pm 12.34	107.20 \pm 14.92	104.15 \pm 21.60	109.30 \pm 20.22
Sit-up (times/60 min)		59.20 \pm 10.39	64.50 \pm 9.77	55.30 \pm 9.32	56.80 \pm 7.97
100m sprint (sec)		13.67 \pm 0.56	13.85 \pm 0.71	13.90 \pm 1.05	14.12 \pm 1.33
Stranding broad jump (cm)		229.96 \pm 9.97	227.55 \pm 10.15	228.98 \pm 18.65	226.95 \pm 18.97
Single leg standing with eyes closed (sec)	Left	13.69 \pm 8.35	15.34 \pm 9.41	19.37 \pm 10.27	17.30 \pm 5.24
	Right	10.74 \pm 6.83	14.62 \pm 5.95	14.65 \pm 11.98	14.06 \pm 11.98

Values are means \pm SD. KD, ketogenic diet; NKD, non-ketogenic diet. *P < 0.05.

Tabela V: Resultados do estudo de Rhyu e Cho (2014).

Fonte: Rhyu e Cho (2014).

Conclusão

Muitos estudos têm demonstrado a importância do consumo de carboidratos para o desempenho atlético por meio de um aumento da reserva de glicogênio permitindo as mais diversas atividades musculares.

Entretanto, com novas pesquisas mostrando os benefícios das dietas com pouco carboidrato no manejo de doenças crônicas não transmissíveis, alguns poucos pesquisadores têm proposto a discutir e esclarecer se as dietas restritivas em carboidratos poderiam influenciar no desempenho de atletas ou de praticantes de atividades físicas em geral, tendo em vista, principalmente, a utilização e os estoques de glicogênio muscular.

O glicogênio muscular fornece a energia necessária para a execução dos mais diversos movimentos corporais, porém por um período limitado de tempo. Assim, o tempo de permanência em uma atividade muscular está relacionado com a quantidade de glicogênio disponível.

As reservas lipídicas, que podem fornecer uma grande quantidade de energia para o organismo, parecem não ser mobilizadas no momento que ocorre a depleção quase total do glicogênio, ocasionando fadiga e a interrupção da atividade. Um dos motivos para não utilização imediata da gordura corporal armazenada é que para ser oxidada demanda uma grande quantidade de oxigênio, manobra que prejudica a manutenção da intensidade do exercício.

Tendo em vista os estudos revisados no presente artigo, o período de ceto-adaptação parece ser essencial para que o organismo possa acessar as reservas lipídicas de forma rápida e eficiente. O desempenho nos exercícios de resistência aeróbia e também nos exercícios que exigem força e potência não foram prejudicados por conta da dieta, tendo em vista que os resultados foram semelhantes com as diferentes intervenções dietéticas.

Faz-se necessário destacar que os indivíduos sedentários e os atletas avaliados apresentaram rendimento inferior no teste realizado no início da dieta cetogênica e uma posterior melhora no período final de intervenção, indicando a necessidade de um período para adaptação.

A dieta cetogênica pode ser utilizada por atletas ou outros praticantes de atividades físicas que precisam manter uma baixa porcentagem de tecido adiposo corporal, pois permite a perda da gordura e a manutenção da estrutura muscular construída pelo treinamento. Além de não interferir na

performance, os estudos demonstraram que a dieta pode produzir efeitos anti-inflamatórios e contribuir para a recuperação muscular.

A aplicação da dieta em praticantes de exercícios de resistência parece ter maior embasamento, pois o esforço muscular por tempo prolongado reduz drasticamente as reservas de glicogênio e há a necessidade de reposição de carboidratos durante a execução do esforço, o que pode ser um inconveniente. Um atleta ceto-adaptado poderia, em tese, percorrer longas distâncias em intensidade submáxima utilizando como substrato suas reservas lipídicas, sem prejuízo no desempenho e sem a necessidade de reposição energética.

Em que se pesem os resultados favoráveis para utilização da dieta cetogênica em pessoas praticantes de exercícios físicos ou atletas, ainda existem poucos estudos que relacionam esse tipo de dieta com o desempenho nos exercícios. Há, portanto, a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre esse tema com mais pesquisas experimentais, visando produzir mais evidências sobre as intervenções dietéticas e suas aplicabilidades. Recomenda-se que as pesquisas possam inserir um maior número de indivíduos distribuídos de forma randomizada em grupo de intervenção e grupo de controle, além de um maior tempo de intervenção dietética e treinamento físico.

Refrências

BARTLETT, Jonathan D.; HAWLEY, John A.; MORTON, James P.. Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing?. **European Journal Of Sport Science**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.3-12, 19 jun. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2014.920926>.

BAZZANO, Lydia A. et al. Effects of Low-Carbohydrate and Low-Fat Diets. **Annals Of Internal Medicine**, [s.l.], v. 161, n. 5, p.309-324, 2 set. 2014. American College of Physicians. <http://dx.doi.org/10.7326/m14-0180>.

BERGSTRÖM, J. et al. Diet, Muscle Glycogen and Physical Performance. **Acta Physiologica Scandinavica**, [s.l.], v. 71, n. 2-3, p.140-150, out. 1967. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-1716.1967.tb03720.x>.

BERGSTRÖM, Jonas; HULTMAN, Eric. Muscle Glycogen Synthesis after Exercise: an Enhancing Factor

localized to the Muscle Cells in Man. **Nature**, [s.l.], v. 210, n. 5033, p.309-310, 16 abr. 1966. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/210309a0>.

BERGSTRÖM, J.; HULTMAN, E.. A Study of the Glycogen Metabolism during Exercise in Man. **Scandinavian Journal Of Clinical And Laboratory Investigation**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.218-228, jan. 1967. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.3109/00365516709090629>.

BURKE, L. M.. Fueling strategies to optimize performance: training high or training low?. **Scandinavian Journal Of Medicine & Science In Sports**, [s.l.], v. 20, p.48-58, 14 set. 2010. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01185.x>.

BURKE, L. M. et al. Carbohydrates for training and competition. **Journal Of Sports Sciences**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.S17-S27, jan. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02640414.2011.585473>.

CERMAK, Naomi M.; VAN LOON, Luc J. C.. The Use of Carbohydrates During Exercise as an Ergogenic Aid. **Sports Medicine**, [s.l.], v. 43, n. 11, p.1139-1155, 12 jul. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-013-0079-0>.

CHRISTENSEN, E. Hohwü; HANSEN, Ove. III. Arbeitsfähigkeit und Ernährung¹. **Skandinavisches Archiv Für Physiologie**, [s.l.], v. 81, n. 1, p.160-171, jan. 1939. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1748-1716.1939.tb01320.x>.

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.

COSTILL, D. L. & HARGREAVES, M. Carbohydrate, nutrition and fatigue. **Sports Medicine**. 13(2): 86-92, 1992.

CROSS, J. H. et al. The ketogenic diet in childhood epilepsy: where are we now?. **Archives of Disease in Childhood**, [s.l.], v. 95, n. 7, p.550-553, 23 abr. 2010. BMJ. <http://dx.doi.org/10.1136/adc.2009.159848>.

DAVIS, RC. **Frederick Schwatka** (1849–1892). *Arctic*. 1984; 37 (3): 302–3.

Erlenbusch M, Haub M, Munoz K, MacConnie S, Stillwell B. Effect of high-fat or high-carbohydrate diets on endurance exercise: a meta-analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. 2005; 15 (1): 1-14.

FEINMAN, Richard D. et al.. Dietary carbohydrate restriction as the first approach in diabetes management: Critical review and evidence base. *Nutrition*, [s.l.], v. 31, n. 1, p.1-13, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2014.06.011>.

HESSION, M. et al. Systematic review of randomized controlled trials of low-carbohydrate vs. low-fat/low-calorie diets in the management of obesity and its comorbidities. *Obesity Reviews*, [s.l.], v. 10, n. 1, p.36-50, jan. 2009. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789x.2008.00518.x>.

MATSUDO, S. M. Nutrição, atividade física e desempenho. *Revista Nutrição em Pauta*. v. 2. p. 31-37. 2001.

MAUGHAN, R. e colaboradores. **Bioquímica do exercício e do treinamento**. Tradução de Elisabeth de Oliveira. São Paulo: Manole, 2000. 241p.

McARDLE, W.D.; KATCH, F.L.; KATCH, V. **Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano**. 3ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. p.80-93.

PAOLI, Antonio et al. Ketogenic diet does not affect strength performance in elite artistic gymnasts. *J Int Soc Sports Nutr*, [s.l.], v. 9, n. 1, p.34-43, 2012. **Springer Nature**. <http://dx.doi.org/10.1186/1550-2783-9-34>.

PAOLI, A. et al. Beyond weight loss: a review of the therapeutic uses of very-low-carbohydrate (ketogenic) diets. *European Journal of Clinical Nutrition*, [s.l.], v. 67, n. 8, p.789-796, 26 jun. 2013. Nature Publishing Group. <http://dx.doi.org/10.1038/ejcn.2013.116>.

PAOLI, A.; BIANCO, A.; GRIMALDI, K.A. The Ketogenic Diet and Sport: A Possible Marriage? **Exercise and Sport Sciences Reviews**. Volume 43(3), July 2015, p 153–162.

PHINNEY, Stephen D. et al. Capacity for Moderate Exercise in Obese Subjects after Adaptation to a Hypocaloric, Ketogenic Diet. **Journal Of Clinical Investigation**, [s.l.], v. 66, n. 5, p.1152-1161, 1 nov. 1980. American Society for Clinical Investigation. <http://dx.doi.org/10.1172/jci109945>.

PHINNEY, S.d. et al. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: Preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. **Metabolism**, [s.l.], v. 32, n. 8, p.769-776, ago. 1983. Elsevier BV.

RHYU, Hyun-seung; CHO, Su-youn. The effect of weight loss by ketogenic diet on the body composition, performance-related physical fitness factors and cytokines of Taekwondo athletes. **Journal Of Exercise Rehabilitation**, [s.l.], v. 10, n. 5, p.326-331, 31 out. 2014. Korean Society of Exercise Rehabilitation. <http://dx.doi.org/10.12965/jer.140160>.

SANTOS, F. L. et al. Systematic review and meta-analysis of clinical trials of the effects of low carbohydrate diets on cardiovascular risk factors. **Obesity Reviews**, [s.l.], v. 13, n. 11, p.1048-1066, 21 ago. 2012. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789x.2012.01021.x>.

SCHWATKA, F.; STACKPOLE, E.A. The Long Arctic Search: **The Narrative of Lieutenant Frederick Schwatka, USA, 1878–1880, Seeking the Records of the Lost Franklin Expedition**. Mystic (CT): Marine Historical Association; 1965.

SCHÜTZ, G. R.; SANT'ANA, A. S. S.; SANTOS, S. G. Política de periódicos nacionais em Educação Física para estudos de revisão sistemática. **Revista Brasileira de Cineantropometria do Desempenho Humano**, Santa Catarina, v. 13, n. 4, p. 313-319, 2011. doi: 10.5007/1980-0037.2011v13n4p313. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcdh/v13n4/11.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2013.

THOMAS, D. Travis; ERDMAN, Kelly Anne; BURKE, Louise M.. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. **Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics**, [s.l.], v. 116, n. 3, p.501-528, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jand.2015.12.006>.

VOLEK, Jeff S.; NOAKES, Timothy; PHINNEY, Stephen D. Rethinking fat as a fuel for endurance exercise. **European Journal of Sport Science**. Vol. 15, Iss. 1, 2014.

WILDER, RM. The effects of ketonemia on the course of epilepsy. **Mayo Clin Proc**, 1921; 2:307-8.

YEO, Wee Kian et al. Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, [s.l.], v. 36, n. 1, p.12-22, jan. 2011. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/h10-089>.

ZAJAC, Adam et al. The Effects of a Ketogenic Diet on Exercise Metabolism and Physical Performance in Off-Road Cyclists. *Nutrients*, [s.l.], v. 6, n. 7, p.2493-2508, 27 jun. 2014. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu6072493>.