

Efeito da baixa disponibilidade de carboidrato na dieta sobre o primeiro limiar de variabilidade da frequência cardíaca em teste progressivo em cicloergômetro

Effect of low carbohydrates availability on the diet over the first threshold of heart rate variability in progressive test in cycloergometer

FERREIRA GA, PEREIRA MCA, OLIVEIRA FR. Efeito da baixa disponibilidade de carboidrato na dieta sobre o primeiro limiar de variabilidade da frequência cardíaca em teste progressivo em cicloergômetro. **R. bras. Ci. e Mov** 2011;19(3):14-22.

Guilherme A. Ferreira¹
Michel C. A. Pereira¹
Fernando R. Oliveira¹

¹Universidade Federal de Lavras

RESUMO: O Objetivo do presente estudo foi analisar o efeito de uma dieta pobre em CHO sobre o primeiro limiar de transição fisiológica (LT₁) identificado a partir da análise do comportamento da Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) em teste progressivo em ciclo ergômetro. Para tanto nove sujeitos de 18 a 32 anos foram submetidos a dois testes em cicloergômetro com carga inicial de 25 W e incrementos de 25 W a cada dois minutos. O teste foi encerrado quando o indivíduo não acompanhava a rotação determinada (60 a 70 rpm) ou por exaustão voluntária. Os sujeitos realizaram os testes separados por um período de uma semana em duas diferentes situações de dietas (isocalóricas) por um período de 72 horas prévias aos testes de Dieta Normal (DN) e de Dieta Hipoglicídica (DH). As seguintes variáveis foram mensuradas: VFC a cada estágio para identificação do limiar de VFC (LiVFC) e as concentrações de lactato [La] sanguíneo para identificação do primeiro limiar de lactato (LL₁). As variáveis analisadas foram a carga e a Frequência Cardíaca no LiVFC e LL₁. Foram encontrados maiores valores para o LL₁ e LiVFC quando expressos em cargas relativas para DH. Esses resultados sugerem que o LiVFC e o LL₁ podem ser alterados com a manipulação dos teores de carboidratos na dieta.

Palavras-Chaves: Baixa disponibilidade de Carboidratos; Dietas; Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca.

ABSTRACT: The aim of the present study was to analyze the effect of a low carbohydrate (CHO) diet on the first physiological transition threshold (TT₁) identified by using analysis of the behavior of Heart Rate Variability (HRV) in progressive test on cycle ergometer. Nine subjects of 18 to 32 years underwent two cycle ergometer tests with initial load of 25W and increments of 25W every two minutes. The test was over when the individual could not follow the determined rotation (60 to 70 rpm) or for voluntary exhaustion. The subjects underwent the tests with an interval of one week in two different dietetic situations (isocaloric diets) consumed in a period of 72 hours prior to testing Normal Diet (ND) and Hypoglycidic Diet (HD). The following variables were measured: HRV at each stage to identify HRV threshold (HRVT) and blood lactate [La] concentrations to identify the first lactate threshold (LT₁). The analyzed variables were load and Heart Rate in HRVT and LT₁. Higher values were found for LT₁ and HRVT when expressed by relative loads in HD. These results suggest that LT₁ and HRVT can be modified by manipulating CHO levels in a diet.

Key Words: Low availability of Carbohydrates; Diets; Threshold Heart Rate Variability.

Enviado em: 15/07/2011
Aceito em: 11/04/2012

Introdução

Para avaliação do componente aeróbio os limiares de transição fisiológica (LT) têm sido comumente utilizados devido à maior sensibilidade ao treinamento¹

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é uma variável de fácil acesso, baixo custo e fácil aplicação frequentemente empregada como indicadora de regulação autonômica cardíaca², com fortes associações com os índices de aptidão aeróbia³

Durante exercícios de cargas triangulares a VFC reduz gradativamente até atingir um platô, com tendência a estabilização possibilitando a identificação de um ponto de transição onde haveria redução da participação parasimpática e aumento da participação simpática na modulação autonômica cardíaca, sendo que este ponto foi denominado de limiar de VFC (LiVFC)⁴. Diversos estudos têm apresentado a validade da utilização do LiVFC com indicador de primeiro LT (LT₁), onde o LiVFC seria encontrado em cargas similares ao primeiro limiar de lactato (LL₁)^{4,5,6}.

Desta forma, a VFC é uma atraente opção para prescrição do treinamento devido a sua acessibilidade em comparação a outras metodologias que demandam de pessoal treinado e apresentam alto custo de aplicação.

Na literatura, é aceito que a manipulação dos teores de carboidrato (CHO) na dieta está relacionada à dissociação dos LT^{7,8,9} com forte influência sobre a regulação autonômica cardíaca, devido ao aumento nos níveis de catecolaminas circulantes para mobilização dos ácidos graxos (AG)¹⁰.

Recentemente, foi demonstrado que a baixa disponibilidade de CHO na dieta poderia alterar o limiar de nora-adrenalina (LN) deslocando o para cargas inferiores em protocolos de testes progressivos⁸. Entretanto, não se tem conhecimento de estudos que investigaram a sensibilidade do LiVFC à manipulação dos teores de CHO na dieta.

Deste modo, como a VFC é uma variável diretamente influenciada pelos níveis de nora-adrenalina é esperado que a mesma tenha comportamento similar ao encontrados para o LN em teste progressivo.

Outro fator importante observado com a manipulação dos teores de CHO na dieta, diz respeito à capacidade de sustentação de esforço, sendo observado que em protocolos de cargas retangulares ocorre um efeito negativo na *performance* em protocolos de teste realizados acima de 80% do VO_{2máx}¹¹.

Desta forma, é esperado que em protocolos de teste de cargas triangulares quando o indivíduo atingisse valores iguais ou superiores a 80% do VO_{2máx} houvesse uma redução da capacidade de sustentação de esforço. Assim, seria observado uma redução da carga máxima alcançada.

De acordo com o exposto, o objetivo do presente estudo foi verificar a influência de uma dieta pobre em CHO sobre o LiVFC e a carga máxima atingida em protocolo de teste de carga triangulares.

Materiais e métodos

A amostra foi do tipo não probabilística intencional, Para tanto, participaram do estudo nove indivíduos (22,6 ± 4,1 anos; 175,9 ± 8,5cm; 76,2 ± 15,1Kg; 12,9 ± 4,1 por cento de gordura corporal (%G); 1792,9 ± 218,15 Kcal Taxa de metabolismo basal (TMB), todos estudantes universitários fisicamente ativos a pelos menos um ano.

Todos os indivíduos foram informados e esclarecidos a respeito dos objetivos e da metodologia experimental a que foram submetidos e em concordância, assinaram um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais Puc – minas sob nº de protocolo 0084/2011.

Os sujeitos foram submetidos a um exercício em ciclo ergometro com carga inicial de 25W e incrementos de carga de 25W a cada dois minutos. O indivíduo deveria manter a rotação indicada entre 60 a 70 rotações por minuto (RPM).

Foram mensurados a frequência cardíaca (FC) em cada estágio, os intervalos R – R para cálculo da variabilidade da FC (VFC) através do índice SD1 da plotagem de Poincaré e determinação do limiar de VFC

(LiVFC) e as concentrações de lactato sanguíneo [La].

Precedendo o primeiro teste, foi realizada uma avaliação antropométrica para caracterização e prescrição da dieta.

Os indivíduos foram orientados a consumir apenas refeições leves 2 horas antes do esforço e não ingerir cafeína nem praticar atividades físicas no dia anterior.

As dietas foram distribuídas aleatoriamente entre os indivíduos, de modo que na realização do primeiro teste 50% seguiram uma dieta pobre em carboidratos (DH) e 50% seguiram uma dieta normal (DN). Na realização do segundo teste, houve inversão da dieta.

O registro da FC foi realizado batimento-a-batimento, através de um cardiofrequencímetro da marca Polar® RS800G3.

Para análise das [La] sanguíneo foi utilizado um analisador automático Accutrend Plus (Roche Diagnostic GmbH Alemanha).

Para as medidas antropométricas foram utilizados balança Britanea®, estadiômetro e compasso SANNY® e um analisador bioelétrico da composição corporal Quantum II® (RJL sistem, Michigam Estados Unidos). O cálculo do %G foi realizado através do protocolo proposto por Carvalho¹².

O teste encerrou quando o indivíduo não conseguiu manter o ritmo indicado ou por exaustão voluntária. A carga máxima ($W_{\text{máx}}$) quando o teste foi encerrado antes do término do estágio, foi determinado pelo proposto por Kuipers *et al.*¹³ sendo considerado então, a carga correspondente ao tempo de permanência no estágio. Os testes foram considerados máximos quando a FC atingisse valores iguais ou superiores à 90% FC máxima predita (FCpred.) pela equação $FC_{\text{pred.}} = 220 - \text{idade (anos)}$

O controle da dieta dos indivíduos foi realizado a partir de 72 horas antes do teste. As dietas consistiram em uma dieta hipoglicídica com (30% carboidratos, 35% proteínas, 35% lipídeos) e uma dieta normal (60% carboidratos, 20% proteínas, 20% lipídeos). As dietas aplicadas conteram o mesmo valor calórico e índice glicêmico. Sendo que foram alteradas as quantidades dos alimentos para ajuste da dieta.

Os cardápios foram elaborados de acordo com o gasto energético diário (GED) de cada indivíduo, estimado a partir da fórmula $TMB = (370 + (21,6 * \text{massa livre de gordura (MLG)}))^{14}$. As dietas foram elaboradas por um profissional de Nutrição.

Para o primeiro e segundo dia de dieta foi utilizado o fator de correção 1,7¹⁵. Para tanto foi considerado que os indivíduos realizaram atividades moderadas.

No dia que antecedeu o teste foi utilizado o fator de correção 1,3¹⁵, neste dia os indivíduos não realizaram atividades físicas, limitando se apenas às atividades cotidianas.

A análise da VFC foi realizada através do método da plotagem de Poincaré que consiste na plotagem do intervalo R-R atual em função do intervalo anterior⁴. Este método permite calcular os índices: 1) SD1 que corresponde ao desvio padrão dos intervalos R-R instantâneos e que caracteriza o marcador da atividade parassimpática.

O LiVFC foi identificado considerando o seguinte critério:

LiVFC – primeira intensidade de exercício na qual o SD1 alcança um valor inferior a 3 ms⁴.

Foram determinadas as cargas absolutas no primeiro LiVFC (LiVFC (W) e FC no primeiro LiVFC (FCLiVFC₁), as cargas relativas (%WLiVFC) e FC relativas (%FCLiVFC) ao máximo obtidas no teste progressivo máximo.

As amostras de [La] foram analisadas a partir de 25 µL de sangue arterializado do dedo indicador direito imediatamente inserida na tira para análise através de um analisador automático Accutrend Plus (Roche Diagnostic GmbH Alemanha). Essas amostras foram obtidas a cada 15 segundos finais dos estagios. Para coleta do sangue foi realizada assepsia local com álcool a 98%.

O primeiro limiar de lactato (LL₁) foi determinado segundo o seguinte critério:

LL₁ – carga referente ao estágio que precede um aumento de 0,5 mmol.l⁻¹ na [La] ao estágio sucessor¹⁶.

Inicialmente foi aplicado o teste de normalidade Shapiro Wilk para verificar a distribuição dos dados, sendo observada distribuição normal para os dados.

Para caracterização dos sujeitos foi utilizada a estatística descritiva e os dados expressos em média e desvio padrão.

Para comparar as variáveis identificadas foi utilizado o Teste T de Student para amostras independentes.

Foi aplicada a correlação de Pearson e para análise do grau de associação das variáveis, considerando $p \leq 0,05$.

Foi aplicado o teste de poder do teste, sendo observado um poder de 16% para os valores das cargas absolutas e 50% quando a carga expressa em termos relativos. Ao estimar uma amostra adequada para um poder de 80% o valor de n seria igual à 70 indivíduos o que tornaria o estudo inaplicável do ponto de vista operacional, para estudos experimentais que envolvam metodologias invasivas, inúmeros testes e diversas visitas ao laboratório.

Os dados foram tratados no programa ORIGIN 8®.

Resultados

Os valores médios e os desvios padrão encontrados para carga máxima ($W_{\max}$), Frequência Cardíaca Máxima ($FC_{\max}$), porcentagem da Frequência Cardíaca máxima predita (FC_{pred}) e concentração final de Lactato $[La]$ mmol.L^{-1} sanguíneo mensuradas nos diferentes protocolos de dieta (dieta normal (DN) e dieta Hipoglicídica (DH)) estão apresentados na tabela 1. Na tabela 2 estão apresentados os valores absolutos e relativos encontrados para a carga e frequência cardíaca no primeiro limiar de variabilidade da frequência cardíaca (LiVFC) e primeiro limiar de lactato (LL_1), LiVFC (W), LL_1 (W), % WLiVFC, %WLL₁, FCLiVFC(Bpm), FCLL₁ (Bpm), % FCLiVFC, %FCLL₁ respectivamente.

No protocolo de DN foram encontrados maiores valores para $W_{\max}$, $FC_{\max}$, $FC_{\text{pred}}(\%)$ e $[La]$ (Tabela 1). Não foram encontradas diferenças significativas para o LiVFC (W), FCLiVFC (Bpm), FCLL₁ (Bpm), % FCLiVFC, com leve tendência a maiores valores na DH e diferenças significativas para o LL_1 (W), sendo o último

encontrado em cargas superiores na DH. Quando os valores expressos em % da carga máxima foram encontradas diferenças significativas para %WLiVFC e %WLL₁ ($*p \leq 0,05$) com maiores valores no protocolo de DH (Tabela 2).

Na tabela 3 podem ser observadas as associações encontradas para LiVFC (W), LL_1 (W), % WLiVFC, %WLL₁, FCLiVFC(Bpm), FCLL₁ (Bpm), % FCLiVFC, %FCLL₁.

Os valores observados para o LL_1 (W), % WLiVFC, FCLiVFC(Bpm), % FCLiVFC deslocaram em mesmo sentido e amplitude sendo encontradas associações significativas intra-crítérios entre protocolos de dietas ($*p \leq 0,05$) não sendo observadas associações para LiVFC (W), %WLL₁, FCLL₁ (Bpm), %FCLL₁ intra-crítérios entre protocolos de dietas (Tabela 3).

A concordância para a variável carga entre critérios de determinação dos LiVFC(W), LL_1 (W), entre protocolos de dieta, também foi avaliada através do método de Bland-Altman, que representa a magnitude da concordância entre os diferentes critérios (figura 1 e 2).

Os pontos dispersos mostram, para cada sujeito, a diferença entre a intensidade de esforço referente ao LT_1 intra critérios entre protocolos de dieta (LiVFC(W) DN – LiVFC(W) DH) e (LL_1 (W) DN – LL_1 (W) DH) em função da média ($[(LiVFC(W) DN - LiVFC(W) DH) / 2]$ e $[(LL_1(W) DN - LL_1(W) DH)/2]$). Nas figuras abaixo, não se observam nove pontos distintos em cada gráfico, pois, em alguns casos os pontos estão sobrepostos. A análise de Bland-Altman mostrou que, com raras exceções, grande parte dos pontos está entre os limites de concordância (média $\pm 1,96$ DP).

Entretanto, observa-se que apesar da maioria dos pontos dispersos estar entre os limites de concordância (média $\pm 1,96$ DP), a amplitude desses limites é demasiada para se afirmar que existe equivalência intra critérios entre protocolos de dietas LiVFC(W) DN – LiVFC(W) DH e LL_1 (W) DN – LL_1 (W) DH.

Discussão

Pesquisas com a manipulação dos teores de

Tabela 1. Média e desvio padrão (DP) das variáveis obtidas para a carga máxima (W_{máx}), Frequência Cardíaca máxima (FC_{máx}), porcentagem da Frequência Cardíaca máxima predita (FC_{pred.} (%)) e concentração sanguínea final de lactato em mmol.L⁻¹ ([La] final (mmol.L⁻¹)) nas diferentes situações de dieta

Variáveis	Dietas	
	DN	DH
W _{máx} (W)	270,3 ± 68,1*	251,0 ± 53,4*
FC _{máx} . (Bpm)	186,0 ± 9,9*	181 ± 11,2*
FC _{pred.} (%)	95,9 ± 4,5*	93,2 ± 5,2*
[La]final (mmol.l ⁻¹)	9,2 ± 2,9*	6,4 ± 1,9*

*p ≤ 0,05.

Tabela 2. Comparação entre os valores relativos e absolutos encontrados para o Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca (LiVFC) e Limiar de Lactato (LL₁) para as variáveis carga (W) e Frequência Cardíaca (FC) entre protocolos de dieta

Variáveis	Dietas	
	DN	DH
LiVFC (W)	141,7 ± 37,5	159,4 ± 29,7
LL ₁ (W)	125,0 ± 48,4	150,0 ± 45,8*
% WLiVFC	54,5 ± 56,7	62,8 ± 15,8*
%WLL ₁	45,8 ± 11,1	58,9 ± 7,0*
FCLiVFC(Bpm)	134,0 ± 19,8	139,0 ± 17,8
FCLL ₁ (Bpm)	140,0 ± 21,1	140,0 ± 16,1
% FCLiVFC	72,1 ± 10,1	75,6 ± 10,7
%FCLL ₁	66,0 ± 9,7	72,4 ± 8,5*

*p ≤ 0,05.

Tabela 3. Correlação intra critérios para os valores absolutos e relativos para as variáveis carga (W) e Frequência Cardíaca (FC) identificadas para o Limiar de Variabilidade da Frequência Cardíaca (LiVFC) e Limiar de Lactato (LL₁) dos valores absolutos e relativos para as variáveis carga (W) e Frequência Cardíaca (FC) entre protocolos de dieta

Variáveis	DN – DH
LiVFC (W)	0,53
LL ₁ (W)	0,76*
% WLiVFC	0,84*
%WLL ₁	0,03
FCLiVFC(Bpm)	0,82*
FCLL ₁ (Bpm)	0,34
% FCLiVFC	0,85*
%FCLL ₁	0,19

*p ≤ 0,05

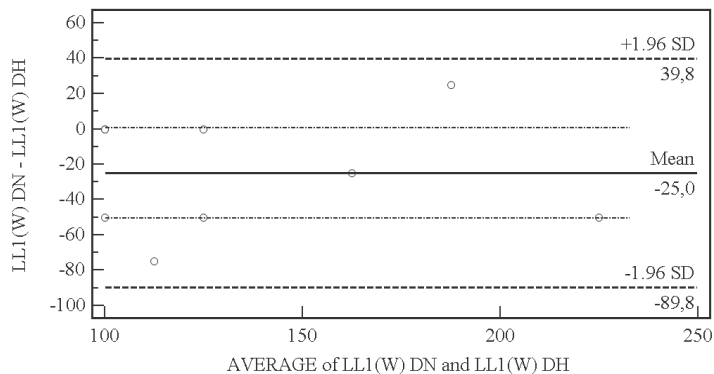


Figura 1. Plotagem de Bland-Altman para comparação intra critério para os valores absolutos para a variável carga (W) encontrada no LL₁

A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença ± 1,96*desvio padrão da diferença

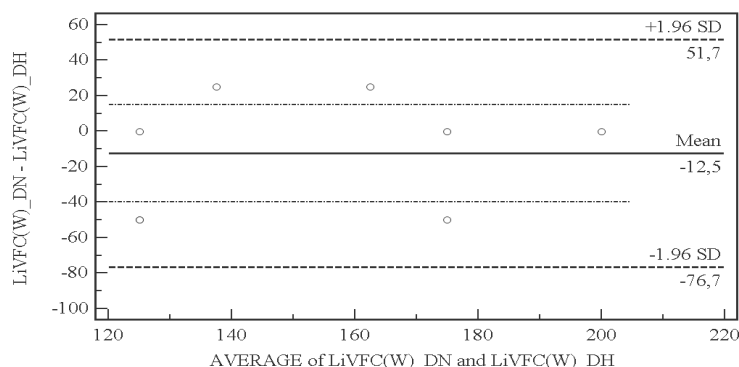


Figura 2. Plotagem de Bland-Altman para comparação intra critério para os valores absolutos para a variável carga (W) encontrada no LiVFC

A linha contínua refere-se à média da diferença entre os critérios, e as linhas descontínuas, superior e inferior, representam a média da diferença $\pm 1,96$ desvio padrão da diferença

LT^{7,8,17}. Recentemente surgiram novas metodologias que utilizam variáveis alternativas na identificação dos LT como a variabilidade da frequência cardíaca (VFC)^{3,5,6,7}. Na literatura são encontrados poucos estudos que se propuseram a investigar o efeito da baixa disponibilidade de CHO na dieta sobre a VFC, sendo de nosso conhecimento apenas o estudo de Lima Silva *et al.*¹⁸. Entretanto, o estudo de Lima Silva *et al.*¹⁸ foi realizado em protocolo de teste submáximo.

Assim, uma das principais contribuições do presente estudo foi fornecer informações referentes ao comportamento da VFC em teste progressivo máximo com manipulação dietética sendo observados maiores valores para a carga quando expressa em porcentagem da carga máxima alcançada

No presente estudo, não foi possível realizar a biópsia muscular para posterior análise da concentração de glicogênio muscular (GM). Assim como, a análise da concentração das catecolaminas circulantes. Entretanto, esperado alterações nas concentrações de GM pré e pós-exercício^{4,7,8,18,19,20} reduzindo a capacidade de sustentação de esforço máximo devido à depleção do GM e alterações nos LT.

Deste modo, um efeito esperado era alterações na VFC devido ao aumento nas catecolaminas circulantes durante o exercício em decorrência da manipulação dos teores de CHO⁸.

Apesar das limitações do presente estudo, na literatura é aceito que 3 a 4 dias de manipulação de CHO na dieta seriam necessários para depleção dos níveis de glicogênio muscular²⁰ e aumentar os níveis plasmáticos

dos hormônios simpato adrenais^{7,8,21}.

A baixa disponibilidade de CHO alterou os valores encontrados para a carga máxima (W_{máx}), os mesmos resultados foram encontrados para a frequência cardíaca máxima (Fcmáx) e concentrações de lactato [La] final, sendo significativamente inferiores no protocolo de dieta hipoglicídica (DH).

Os resultados encontrados na literatura são conflitantes sobre o desempenho em testes progressivos com manipulação dietética. Apesar de diferenças nas metodologias empregadas, algumas inferências podem ser feitas a partir do modelo seguido no presente estudo. Alguns estudos como os de Yoshida⁹ não encontraram diferenças entre W_{máx} e [La] entre dietas com baixos teores CHO e altos teores de CHO. Entretanto, na literatura é aceito que a baixa disponibilidade de CHO na dieta altera a *performance* em exercícios realizados acima do LT₂, sendo encontrados menores valores de [La] e tempo de sustentação do esforço em protocolos de testes de cargas retangulares²², assim como exercício de potência máxima²³. Pelos resultados do presente estudo, o mesmo parece ocorrer em teste progressivo máximo, sendo que, em conjunto, estes achados sustentam a nossa hipótese inicial, onde haveria redução da *performance* devido a incapacidade de sustentação de cargas acima de 80% do VO₂máx, assim tendo um efeito negativo na carga máxima atingida.

Para Maughan *et al.*²⁰ o aparecimento da fadiga em protocolos de baixa disponibilidade de CHO estaria relacionada ao aumento da acidose sanguínea decorrente da elevação das concentrações dos ácidos orgânicos fortes

resultantes do metabolismo de Lípidios e Proteínas.

As baixas [La] plasmáticas associam à redução da piruvato desidrogenase²³ e baixa atividade da fosfofrutocinase (PFK)²³, em dietas hipoglicídicas. Para Cook e Haub²⁴ a manutenção de exercícios acima do LT₂ estariam estreitamente relacionados a captação da glicose endógena. Assim, a supressão das enzimas glicolíticas e baixa disponibilidade de glicogênio muscular alterariam a capacidade de fracionamento de substratos reduzindo a ressíntese da ATP pelo metabolismo anaeróbio.

Quanto aos valores descritos para FC_{máx} e %FC_{pred.} não era esperado que fossem encontrados menores valores na situação de DH. Balson *et al.*²⁵ realizaram um estudo com jogadores de futebol com manipulação dos teores de CHO na dieta, onde os autores não observaram diferenças para os valores encontrados entre os diferentes protocolos de dieta, no entanto os autores observaram que no protocolo de DH a capacidade de realização esforços de alta intensidade foi prejudicada. Lima Silva¹⁸ observou menores valores de FC em exercício no domínio severo em situação de baixa disponibilidade de CHO. Este acontecimento pode estar relacionado a um efeito mecânico exercido pelo provável aumento da frequência respiratória (FR) na situação de DH. Para Cottin *et al.*¹³ um aumento da FR está relacionado a sinusia rítmico respiratória, onde a FR induzida pelo exercício intenso altera o ritmo cardíaco. Cabe ressaltar que o desenho experimental dos estudos que avaliam a influência da ingestão de CHO no desempenho geralmente se difere levando a conclusões conflitivas. No entanto, nos achados do presente estudo fica clara a redução na capacidade de sustentação de cargas de alta intensidade, redução nos valores de FC_{máx.} e menores [La] final.

A despeito do limiar de variabilidade da FC (LiVFC), este surgiu diante da possibilidade da identificação de um limiar de transição vagal para predominância simpática. Alguns estudos associaram o LiVFC ao primeiro limiar de lactato (LL₁) sendo que estes são encontrados em cargas similares^{4,26}. O aumento das catecolaminas circulantes durante o exercício, está associado à mobilização do glicogênio e dos AGLs¹⁴. No

do presente estudo não foram encontradas diferenças significativas intra critérios de identificação do LiVFC entre protocolos de dieta quando os valores são expressos em cargas absolutas, entretanto, com uma leve tendência a maiores valores na dieta hipoglicídica (DH) com diferenças significativas quando os valores expressos em cargas relativas, sendo observados maiores valores na situação de DH. Estes eventos acompanham as alterações ocorridas no LL₁ decorrentes da manipulação de CHO.

A literatura reporta que existe uma relação de causa efeito entre níveis de catecolaminas e concentrações sanguíneas de Lactato no LL, onde o aumento da norepinefrina e epinefrina estimula a produção de lactato muscular elevando as concentrações sanguíneas²⁷. Por outro lado, existe uma associação inversa entre o aumento nos níveis plasmáticos de catecolaminas e a disponibilidade de CHO endógeno⁸.

Em dietas cetogênicas, durante o exercício moderado é observado aumento nas catecolaminas para liberação dos ácidos graxos e uma redução nos níveis de insulina plasmática necessários para preservação da capacidade de trabalho⁷.

Está muito bem documentado sobre a ação dos hormônios hiperglicemiantes atuando tanto na glicogenólise quanto gliconeogênese. Entretanto, a explicação para as alterações na definição da opção de utilização de substratos durante o esforço continua obscura, um dos prováveis eventos seria a redução nos níveis de insulina⁷, PFK²³, piruvato desidrogenase²⁰.

No presente estudo dois possíveis mecanismos podem ter ocorrido: 1º houve um retardamento na transição vagal para predominância simpática. 2º a variabilidade da frequência cardíaca (VFC) e pode ter sido alterada pela ação mecânica da ventilação. A segunda hipótese é difícil de ser mantida, visto que não foram encontradas diferenças para os valores de FC no LiVFC 134,0 ± 19,8 (Bpm) DN e 139,0 ± 17,8 (Bpm) DH e que em exercícios moderados FR não é alterada¹⁹. Apesar de contradizer com a hipótese inicial do estudo, a primeira hipótese parece ser mais aceitável, uma vez que o LiVFC demarca uma zona transitória de atividade vagal para predominância simpática^{4,26} e está fortemente

relacionada ao aumento nas [La] sanguíneo²⁷.

O LT₁ demarca uma zona transitória na utilização do substrato energético utilizado para manutenção da capacidade de realização de esforço²⁸. Como observando pode haver um atraso na alternância do substrato utilizado para manter a característica contrátil do músculo, podendo estar associada à baixa disponibilidade de glicose endógena na situação de DH. Esta hipótese pode ser mantida através dos valores encontrados para o LL₁, onde foram observadas alterações no início do acúmulo de lactato sanguíneo.

Era esperado que o LiVFC fosse encontrado em cargas inferiores na situação de DH devido à maior estimulação simpática para liberação dos AGLs. Para Langfort *et al.*^{7,8} haveria um aumento na liberação das catecolaminas em cargas inferiores e deslocamento do LT₂ para a direita em protocolos de testes seguidos de uma DH. No entanto, na intensidade em que é identificado o LiVFC entre 50 – 60% do VO₂máx²⁹ não são observados efeitos da disponibilidade de CHO sobre a VFC¹⁹. Assim sendo, é possível que o evento observado para o LN não é aplicável ao LiVFC devido a diferença de intensidades que estes são observados.

Entretanto, na intensidade de exercício em que foram encontrados os LT₁ em ambos os protocolos de dieta dependem principalmente do metabolismo oxidativo. Como discutido anteriormente o que pode ter ocorrido foi um atraso na utilização das vias anaeróbicas como fonte energética. Sendo que este acontecimento pode ter ocorrido independente da estimulação simpato adrenérgica. O fenômeno que melhor justifica o ocorrido está associado à inibição da PFK e piruvato desidrogenase^{23,20}.

Lima Silva *et al.*¹⁹ verificaram que em exercício em cargas a 70% do VO₂máx a VFC não era alterada devido a baixa disponibilidade de CHO, mas quando o

exercício era executado a 78% do VO₂máx eram observada alterações significativas dos índices descritores da VFC. Para os autores, a VFC seria alterada em exercício severo devido a sinusia rítmico respiratória exercida sobre o nodo sino atrial devido a ação mecânica da respiração. Contudo, pelo fato das diferenças entre a carga de identificação do LiVFC e da intensidade em que foram realizados os estudos de LIMA SILVA *et al.*¹⁹ pode não ter havido influência da FR sobre os valores da VFC até a carga de identificação do LiVFC.

Apesar das poucas evidências de modificações do LiVFC em cargas absolutas os valores encontrados em termos relativos para o LiVFC na situação de DH foram superiores aos descritos na literatura entre 45 a 60% da carga máxima^{3,26,29}. Assim, sendo demonstrado uma sensibilidade do LiVFC quando expresso em cargas relativas em protocolos de dietas com baixo teores de CHO. Diante do observado os autores se propuseram a estudar o segundo Limiar de Transição Fisiológica e o comportamento da VFC na intensidade encontrada no LL₂ em teste progressivo. Além disto, uma investigação utilizando análise de trocas gasosas faz se necessário para melhor entendimento do fenômeno.

Conclusões

Assim, nos concluímos que protocolos de dietas cetogênicas possuem efeito negativo sobre o desempenho em testes de cargas triangulares com efeito sobre a FCmáx, assim como, deslocamento do LL e LiVFC para maiores cargas quando expresso em % da carga máxima.

Agradecimentos

Ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica; Ao acadêmico Gilberto Silva pela ajuda na coleta dos dados; Ao professor de inglês Leandro Lima pela tradução do título e resumo para o inglês.

Referências

1. Caputo F, Oliveira MFM, Greco CC, Denadai BS. Exercício aeróbio: Aspectos bioenergéticos, ajustes fisiológicos, fadiga e índices de desempenho. **Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum** 2009;11(1):94-102.
2. Vanderlei LCM, Pastre CM, Hoshira, Carvalho TD, Godoy MF. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. **Rev Bras Cir Cardiovasc** 2009;24(2):205-17.
3. Cottin F, Médigue C, Lopes P, Leprêtre PM, Heubert R, Billate V. Ventilatory Thresholds Assessment from Heart Rate Variability during an Incremental Exhaustive

- Running Test. **Int J Sports Med** 2007;28(4):287-92.
4. Lima JRP, Kiss MAPD. Limiar de Variabilidade da frequência cardíaca. **Rev Bras Atividade Física e Saúde** 1999;1:29-38.
 5. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV. Vagal modulation of heart rate during exercise: effects of age and physical fitness. **Am J Physiol** 1998;274(2 Pt 2):H424-9.
 6. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Huikuri HV. Differences in autonomic modulation of heart rate during arm and leg exercise. **Clinical Physiology** 1998;19(4):294-9.
 7. Langfort J, Zarzeczny R, Pilis W, Nazar K, Kaciuba-Uscitko H. Effect of low-carbohydrate-ketogenic diet on metabolic and hormonal responses to graded exercise in men. **J Physiol Pharmacol** 1996;47(2):361-71.
 8. Langfort J, Zarzeczny R, Pilis W, Nazar K, Kaciuba-Uscitko H. Effect of low-carbohydrate-ketogenic diet on metabolic and hormonal responses to graded exercise in men. **J Physiol Pharmacol** 1996;47(2):361-71.
 9. Yoshida T. Effect of dietary modifications on lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise. **Eur J Appl Physiol Occup Physiol** 1984;53(3):200-20.
 10. Sasaki H, Hotta N, Ishiko T. Comparison of sympatho-adrenal activity during endurance exercise performed under high- and low-carbohydrate diet conditions. **J Sports Med Phys Fitness** 1991;31(3):407-12.
 11. Coggan, A. R.; Swanson, S. C. Nutritional manipulations before and during endurance exercise effects on performance. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 1992; 24(9):S331-S335.
 12. Carvalho ABR, Pires Neto CS. Desenvolvimento e validação de equações para a estimativa da massa corporal magra através da impedância bioelétrica. **Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde** 1998;3(1):5-12.
 13. Kuipers H, Verstappen FTJ, Keizer HA, Geurten P, Vankranenbur GG. Variability of aerobic performance in the laboratory and its physiological correlates. **Int J Sports Med.**, v.6, n.4, p. 197-201, 1985.
 14. McArdle, WD., Katch FI. Katch, VL. Fisiologia do exercício: energia, nutrição e desempenho humano. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
 15. Katch FI, McArdle WD. Nutrição, Exercício e Saúde. 4ª ed. Rio de Janeiro: Médica, 1996.
 16. Chicharro JL, Laín AS, Vaquero AF, Mojares LML, Mulas AL, Ruiz MP. Transición Aeróbica – Anaeróbica: Concepto, metodología de determinación y aplicaciones. Edición: Master Line & Prodigio. Enero 2004.
 17. Green HJ, Ball-Burnett M, Jones S, Farrance B. Mechanical and Metabolic Responses with Exercise and Dietary Carbohydrate Manipulation. **Med Sci Sports Exerc** 2007;39(1):139-48.
 18. Lima-Silva LAE, Bertuzzi RCM, De-Oliveira FR, Pires FO. A low carbohydrate diet affects autonomic modulation during heavy but not moderate exercise. **Eur J Appl Physiol** 2010;(108):1133-40.
 19. Lima Silva AE. **Efeito da disponibilidade de carboidrato sobre respostas perceptivas e fisiológicas em exercícios de alta intensidade.** 2009. 154p. Tese (Doutorado em Biodinâmica do Movimento Humano). Escola de Educação Física e Esporte, Universidade de São Paulo, São Paulo.
 20. Maughan RJ, Williams C, Campbell DM, Hepburn D. Fat and carbohydrate-metabolism during low intensity exercise - effects of availability of muscle glycogen. **Eur J Appl Physiol** 1978;39(1):1677-8.
 21. Sasaki H, Hotta N, Ishiko T. Comparison of sympatho-adrenal activity during endurance exercise performed under high- and low-carbohydrate diet conditions. **J Sports Med Phys Fitness** 1991;31(3):407-12.
 22. Bangsbo J, Norregaard L, Thorsoe F. The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. **Int J Sports Med** 1992;13(2):2-157.
 23. Langfort J, Zarzeczny R, Pilis W, Nazar K, Kaciuba-Uscitko H. The effect of a low-carbohydrate diet on performance, hormonal and metabolic responses to a 30-s bout of supramaximal exercise. **Eur J Appl Physiol** 1997;76:128-33.
 24. Cook CM, Haub MD. Low-carbohydrate diets and performance. **Curr Sports Med Rep** 2007;6(4):225-29.
 25. Balson PD, Gaitanos GC, Soderlund K, Ekblom B. High intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. **Acta Physiol Scand** 1999;165(4):337-345.
 26. Tulppo MP, Mäkikallio TH, Laukkanen RT, Huikuri HV. Differences in autonomic modulation of heart rate during arm and leg exercise. **Clinical Physiology** 1998;19(4):294-99.
 27. Breuer HWM, Skyschally A, Schulz R, Martin C, Wehr M, Heusch G. Heart rate variability and circulating catecholamine concentrations during steady state exercise in healthy volunteers. **Br Coração J** 1993;70(2):144-49.
 28. Chicharro JL, Laín AS, Vaquero AF, Mojares LML, Mulas AL, Ruiz MP. Transición Aeróbica – Anaeróbica: Concepto, metodología de determinación y aplicaciones. Edición: Master Line & Prodigio. Enero 2004.
 29. Bruneto AF, Silva BM, Roseguini BT, Hirai DM, Guedes DP. Limiar ventilatório e variabilidade da frequência cardíaca em adolescentes. **Rev. Bras. Med. Esporte** 2005;11(1):12-23.