

# INFLUÊNCIA DA IDADE NO COMPORTAMENTO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA NA TRANSIÇÃO REPOUSO-EXERCÍCIO: UMA ANÁLISE POR DELTAS E REGRESSÃO LINEAR

CLÍNICA MÉDICA DO  
EXERCÍCIO E DO ESPORTE



ARTIGO ORIGINAL

AGE INFLUENCE ON THE HEART RATE BEHAVIOR ON THE REST-EXERCÍCIO TRANSITION:  
AN ANALYSIS BY DELTAS AND LINEAR REGRESSION

Thomas Beltrame<sup>1</sup>  
Marlus Karsten<sup>1</sup>  
Mara Patrícia Traina Chacon-Mikahil<sup>2</sup>  
Vera Aparecida Madruga<sup>2</sup>  
Ester da Silva<sup>1,3</sup>  
Audrey Borghi-Silva<sup>1</sup>  
Lourenço Gallo Junior<sup>4</sup>  
Aparecida Maria Catai<sup>1</sup>

1. Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico, Departamento de Fisioterapia, Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, SP, Brasil.
2. Laboratório de Fisiologia do Exercício, Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas – Campinas, SP, Brasil.
3. Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Cardiovascular e de Provas Funcionais, Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Metodista de Piracicaba – Piracicaba, SP, Brasil.
4. Departamento de Clínica Médica, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo – Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

## Correspondência:

Aparecida Maria Catai  
Laboratório de Fisioterapia Cardiovascular, Departamento de Fisioterapia, UFSCar  
Via Washington Luís, km 235  
13565-905 – São Carlos, SP, Brasil  
E-mail: mcatai@ufscar.br

## RESUMO

**Introdução:** As modificações da frequência cardíaca (FC) durante a transição repouso-exercício podem ser caracterizadas por meio da aplicação de cálculos matemáticos simples, como: deltas 0-10 e 0-30s para inferir sobre o sistema nervoso parassimpático, e delta e regressão linear aplicados no intervalo 60-240s para inferir sobre o sistema nervoso simpático. Assim, o objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que indivíduos jovens e de meia-idade apresentam diferentes respostas da FC em exercício de intensidade moderada e intensa, com diferentes cálculos matemáticos. **Métodos:** Homens aparentemente saudáveis, sendo sete de meia-idade e 10 jovens, foram submetidos a testes de carga constante de intensidade moderada e intensa. Foram calculados os deltas da FC nos períodos de 0-10s, 0-30s e 60-240s e a regressão linear simples no período de 60 a 240s. Os parâmetros obtidos na análise de regressão linear simples foram: intercepto e inclinação angular. Utilizou-se o teste Shapiro-Wilk para verificar a distribuição dos dados e o teste t não pareado para comparação entre os grupos. O nível de significância estatística considerado foi 5%. **Resultados:** O valor do intercepto e do delta 0-10s foi menor no grupo meia-idade nas duas cargas e a inclinação do angular foi menor no grupo meia-idade no exercício moderado. **Conclusão:** Os indivíduos jovens apresentam retirada vagal de maior magnitude no estágio inicial da resposta da FC durante exercício dinâmico em carga constante nas intensidades analisadas e maior velocidade de ajuste da resposta simpática em exercícios moderados.

**Palavras-chave:** envelhecimento, métodos, frequência cardíaca.

## ABSTRACT

**Background:** Changes in heart rate during rest-exercise transition can be characterized by the application of mathematical calculations, such as deltas 0-10 and 0-30 seconds to infer on the parasympathetic nervous system and linear regression and delta applied to data range from 60 to 240 seconds to infer on the sympathetic nervous system. The objective of this study was to test the hypothesis that young and middle-aged subjects have different heart rate responses in exercise of moderate and intense intensity, with different mathematical calculations. **Methods:** Seven middle-aged men and ten young men apparently healthy were subject to constant load tests (intense and moderate) in cycle ergometer. The heart rate data were submitted to analysis of deltas (0-10, 0-30 and 60-240 seconds) and simple linear regression (60-240 seconds). The parameters obtained from simple linear regression analysis were: intercept and slope angle. We used the Shapiro-Wilk test to check the distribution of data and the "t" test for unpaired comparisons between groups. The level of statistical significance was 5%. **Results:** The value of the intercept and delta 0-10 seconds was lower in middle age in two loads tested and the inclination angle was lower in moderate exercise in middle age. **Conclusion:** The young subjects present greater magnitude of vagal withdrawal in the initial stage of the HR response during constant load exercise and higher speed of adjustment of sympathetic response in moderate exercise.

**Keywords:** Aging, Methods, Heart Rate

## INTRODUÇÃO

Durante a transição do repouso para o exercício físico dinâmico ocorrem modificações do ritmo cardíaco, além de outros ajustes fisiológicos, no intuito de atender a demanda energética imposta pela musculatura ativa<sup>1,2</sup>. Algumas destas modificações podem ser observadas por meio da aplicação de ajustes matemáticos que caracterizam, por

exemplo, o comportamento da frequência cardíaca (FC) nesta transição.

No exercício de baixa intensidade, a elevação inicial da FC, observada nos primeiros 30s, pode estar associada à inibição da modulação parassimpática sobre o nóculo sinusal, a fim de elevar rapidamente o fluxo sanguíneo periférico e suprir a demanda energética imposta pelos tecidos musculares envolvidos na execução da tarefa<sup>3,4</sup>. Após cerca de 30s,

pode-se observar redução da FC decorrente da reativação parassimpática sobre o nódulo sinusal<sup>5</sup> secundária à elevação do retorno venoso e consequente aumento do volume de ejeção, detectados pelos barorreceptores arteriais e/ou carotídeos. Após esse período, com a continuação do exercício, a FC volta a aumentar quando a intensidade do exercício está no domínio de moderado a intenso, porém em velocidade menor. O incremento lento da FC, que se deve à ativação simpática adrenérgica, prevalece a partir dos 60 a 90s<sup>4</sup>. Este padrão, caracterizado em estudos com<sup>6-8</sup> e sem<sup>9</sup> bloqueio farmacológico, pode sofrer influências da idade e do grau de condicionamento físico<sup>10</sup>.

Alguns recursos matemáticos básicos podem ajudar a caracterizar e compreender o comportamento das respostas da FC na transição repouso-exercício. Assim, as respostas da FC moduladas pelo sistema nervoso parassimpático podem ser caracterizadas por meio do cálculo dos deltas 0-10 e 0-30s ( $\Delta 0-10s$  e  $\Delta 0-30s$ )<sup>6,7</sup> e as respostas moduladas pelo sistema nervoso simpático podem ser caracterizadas tanto pelo delta<sup>6,7</sup> como pela regressão linear<sup>11</sup> aplicados aos dados do intervalo 60-240s<sup>6,7</sup>. Enquanto o delta 60-240s ( $\Delta 60-240s$ ) representa a amplitude da resposta da FC, a análise de regressão linear fornece informações relativas à velocidade de ajuste da FC neste período, sob o predomínio da modulação simpática<sup>11</sup>.

Tendo em vista a facilidade de aplicação dos recursos acima descritos, optou-se pelo seu emprego na avaliação da influência da idade sobre as respostas da FC durante exercício dinâmico. Desta forma, o presente estudo justifica-se pela apresentação de metodologia simples para caracterização das respostas autonômicas na transição repouso-exercício em dois grupos de indivíduos em diferentes faixas etárias. Assim, o objetivo deste estudo foi testar a hipótese de que indivíduos jovens e de meia-idade apresentam diferentes respostas da FC em exercício de intensidade moderada e intensa, utilizando-se dos valores de diferentes constantes de tempo de resposta e de um modelo de regressão linear simples aplicado aos dados. Adicionalmente, avaliamos o consumo de oxigênio ( $O_2$ ) no momento do limiar de anaerobiose ventilatório (LAv) e no pico de esforço dos voluntários estudados.

## METODOLOGIA

Estudo do tipo transversal aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Estadual de Campinas (Resolução 225/1997). Os voluntários foram informados sobre os procedimentos a que seriam submetidos e assinaram um termo de consentimento livre e esclarecido.

### Sujeitos

Os seguintes critérios de inclusão foram empregados: homens com idade entre 19 e 29 anos e entre 50 e 60 anos para compor os grupos de indivíduos jovens (GJ) e de meia-idade (GMI), respectivamente. Os voluntários deveriam apresentar estilo de vida sedentário, não serem fumantes, com ausência de qualquer evidência de doença cardiovascular ou outras anormalidades dos sistemas pulmonar, osteomioarticular ou neurológico. Todos os voluntários foram submetidos a exames clínicos (anamnese e exame físico) e laboratoriais (bioquímicos do sangue, hematológico, urina tipo I, eletrocardiograma convencional de repouso e eletrocardiograma em esforço) para caracterização do seu estado de saúde. Os testes foram realizados no mesmo período do dia, com temperatura ambiental entre 20 e 23°C e umidade relativa do ar entre 40 e 60%. Antes do dia do experimento, os indivíduos foram familiarizados com o pessoal e os procedimentos e equipamentos a serem utilizados.

### Procedimentos

Os procedimentos de avaliação foram realizados no Laboratório de Fisiologia do Exercício da Faculdade de Educação Física, Unicamp. Os voluntários foram orientados a não consumir bebidas alcoólicas e/ou

estimulantes e não realizar exercícios extenuantes 24 horas antes da realização do teste e fazer uma refeição leve pelo menos duas horas antes do teste.

Foi recomendado que nos dias dos testes o voluntário se apresentasse com roupas e calçados confortáveis, apropriados para a prática de atividade física. Antes do início da coleta de dados, os voluntários foram questionados a respeito da sua condição geral de saúde e da qualidade de sono na noite prévia com o intuito de determinar sua participação nos procedimentos.

## Protocolos de testes de exercício

### Teste de exercício clínico

Foi realizado em cicloergômetro (Corival 400, Quinton, Seattle, WA, EUA) com o objetivo de avaliar as respostas cardiovasculares ao exercício físico e para determinar a taxa de incremento de potência para o teste de exercício cardiopulmonar (TECP). Foi realizado eletrocardiograma convencional de 12 derivações em repouso. Ainda em repouso, e no final de cada estágio, houve registro do traçado eletrocardiográfico (derivações MC5, aVF e V2) e aferição da pressão arterial (PA) pelo método auscultatório. Os seguintes critérios foram empregados para interrupção do teste: atingir a FC máxima prevista em relação à idade e/ou presença de sinais ou sintomas de exaustão física.

### Teste de exercício cardiopulmonar (TECP)

Este teste teve como objetivo avaliar a capacidade e potência aeróbia dos voluntários, bem como identificar a resposta das variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas no momento do limiar de anaerobiose, identificado pelo método ventilatório (LAv), e no pico do esforço. O protocolo incluía um período de três minutos de aquecimento com potência de quatro watts (W). Os incrementos subsequentes foram correspondentes a 10% da potência máxima alcançada no teste de exercício clínico. O LAv foi identificado visualmente quando a taxa de liberação de  $CO_2$  apresentou incremento não linear em relação ao consumo de oxigênio ( $VO_2$ )<sup>1,12</sup>.

O consumo de oxigênio ( $O_2$ ) foi captado respiração-a-respiração por meio de um analisador de gases e medidas metabólicas (MMC Horizontal System, Sormedics, Yorba Linda, CA, EUA) e seus valores foram expressos em médias a cada 15s. A FC foi registrada batimento-a-batimento e expressa em valores médios a cada 10s. No final do TECP, antes da sua interrupção, foi aplicada a escala de Borg-CR10<sup>13</sup> para avaliação da sensação de dispnéia ou fadiga muscular.

### Teste de exercício em carga constante (TECC)

Os TECCs foram realizados com objetivo de avaliar o comportamento da FC em diferentes potências, que variaram de 25 a 150W em intervalos de 25W. O protocolo, realizado em cicloergômetro (Corival 400, Quinton, Seattle, WA, EUA), consistiu de uma fase de aquecimento por um minuto em potência de 4W, seguida pelo incremento abrupto da potência, mantida por quatro minutos, e por uma fase de recuperação em potência de 4W, por um minuto. Entre cada TECC houve um período de repouso para que os valores de PA e FC retornassem aos valores basais. Esse período variou entre 15 e 30 minutos. A FC e o  $O_2$  foram registrados durante as três fases do TECC, enquanto a PA foi registrada antes do início e nos 30s finais da aplicação da potência.

Posteriormente, com base nos valores médios do  $O_2$  observado no minuto final de cada TECC em relação ao  $O_2$  observado no LAv identificado no TECP, foram calculadas as isocargas (exercício moderado e intenso). Para a determinação das isocargas de exercício moderado e intenso, foram empregados os valores correspondentes a 50-80% e 110-140% do  $O_2$  no LAv, respectivamente. Este procedimento foi realizado para que as respostas da FC pudessem ser comparadas entre os sujeitos, independentemente da sua capacidade física.

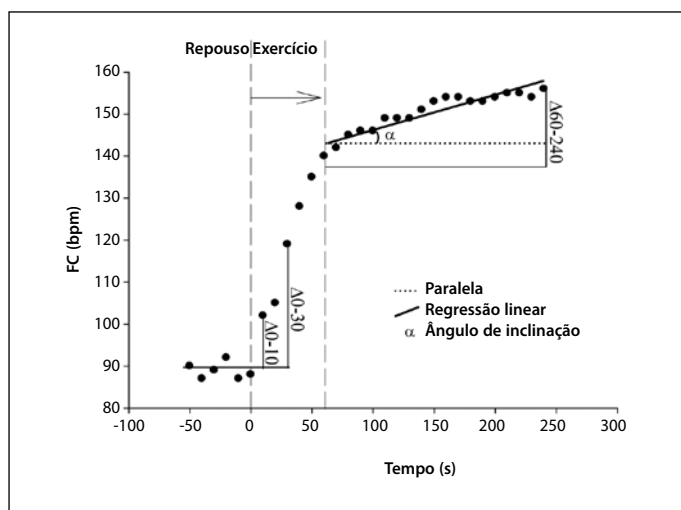
## Análise dos deltas e do coeficiente angular da FC

Foram analisados os seguintes deltas de FC: a)  $\Delta 0-10s$ , obtido pela diferença da FC no 10º s do TECC e a FC média dos 60s pré-teste, a fim de se mensurar a amplitude da retirada vagal até os 10s iniciais; b)  $\Delta 0-30s$ , obtido pela diferença da FC no 30º s do TECC e a FC média dos 60s pré-teste, a fim de se mensurar a amplitude da retirada vagal nos 30s iniciais; e c)  $\Delta 60-240s$ , obtido pela diferença entre a FC no 240º s e a FC no 60º s do TECC, a fim de se mensurar a amplitude do incremento da FC, modulado pelo sistema nervoso simpático.

Foi aplicada uma regressão linear simples<sup>11</sup>, que utiliza o método dos mínimos quadrados para identificar os melhores parâmetros de ajuste da reta ao comportamento dos dados de FC do 60º ao 240º s do TECC. A equação empregada foi:

$$y = \beta * x + I$$

Onde, y representa a variável dependente (FC), x a variável independente (tempo),  $\beta$  o coeficiente angular (i.e., velocidade de incremento da FC) e I é o ponto de intersecção da função com o eixo y. Para esta análise, o eixo y foi deslocado no eixo x até o ponto correspondente ao 60º segundo (figura 1). O coeficiente de correlação r foi utilizado para verificar a qualidade do ajuste linear.



**Figura 1.** Resposta da FC na transição repouso-exercício de um voluntário do GJ durante um TECC na isocarga correspondente ao exercício intenso. A retirada vagal pode ser caracterizada pelos  $\Delta 0-10s$  e  $\Delta 0-30s$ . Aproximadamente 60s após o início do exercício, a taxa e magnitude de elevação da FC decorrente da ativação simpática podem ser estimadas pelo coeficiente angular  $\beta$  (i.e., tangente do ângulo  $\alpha$ ) e pelo  $\Delta 60-240s$ , respectivamente.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

O cálculo amostral foi baseado nos valores do  $\Delta 0-10s$  da resposta da FC obtidos em estudo piloto com quatro voluntários em cada grupo, assumindo valores de  $\beta = 0,8$  e  $\alpha = 0,05$ . O resultado sugeriu sete voluntários em cada grupo. Tendo em vista o tamanho da amostra e a distribuição dos dados, optou-se pela aplicação de testes estatísticos não paramétricos para as comparações intergrupo. Os dados são mostrados em mediana, valor mínimo e máximo. O nível de significância considerado foi de 5%.

## RESULTADOS

### Características antropométricas

Foram avaliados 17 voluntários, alocados em dois grupos de acordo com a faixa etária (tabela 1). A massa corporal e o IMC foram maiores no GMI em comparação ao GJ ( $p < 0,05$ ).

**Tabela 1.** Idade e características antropométricas do grupo jovem (GJ) e meia-idade (GMI).

	GJ (n = 10)	GMI (n = 7)	Valor de p
Idade (anos)	21 (19-27)	52 (50-58)	< 0,001
Características antropométricas			
Massa corporal (kg)	67 (53-82)	86 (65-96)	0,002
Estatuta (cm)	174 (166-188)	169 (158-181)	0,732
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,9 (17,9-27,2)	28,5 (26,2-30,5)	0,002

Dados expressos em mediana (mínimo e máximo). IMC: índice de massa corporal. Teste de Mann-Whitney.

### TECP

Durante o teste de exercício cardiopulmonar (TECP), os grupos mostraram valores diferentes de FC, O<sub>2</sub> e potência nos momentos relativos ao LAV e ao pico do esforço, sendo que o GJ apresentou os maiores valores (tabela 2). Apesar disso, a percepção de esforço, avaliada pela escala de Borg no pico do exercício, e os valores percentuais de O<sub>2</sub>, FC e potência observados no momento do LAV em relação ao pico do exercício (LAV/PICO) não foram diferentes entre os grupos. Na condição de repouso, apenas o O<sub>2</sub> foi diferente entre os grupos.

**Tabela 2.** Variáveis cardiorespiratórias mensuradas antes e durante o teste de exercício cardiopulmonar (TECP) e caracterização das intensidades de exercício em relação ao percentual do consumo de oxigênio observado no momento do limiar de anaerobiose (LAV) no grupo jovem (GJ) e de meia-idade (GMI).

Variáveis	GJ (n = 10)	GMI (n = 7)	Valor de p
<b>Repouso</b>			
O <sub>2</sub> (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	4,5 (3,3-4,7)	3,8 (3,3-4,3)	0,009
FC (bpm)	88 (81-109)	86 (75-100)	0,930
LAV			
O <sub>2</sub> (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	19 (13-22)	13 (11-18)	< 0,001
FC (bpm)	134 (118-151)	115 (96-127)	< 0,001
Potência (W)	106 (42-119)	77 (63-110)	0,003
<b>Pico</b>			
O <sub>2</sub> (ml.min <sup>-1</sup> .kg <sup>-1</sup> )	36 (32-43)	28 (22-35)	< 0,001
FC (bpm)	191 (168-204)	158 (138-175)	< 0,001
Potência (W)	213 (147-253)	171 (151-200)	0,004
Escala de Borg	9 (8-10)	8 (7-9)	0,362
<b>LAV/Pico</b>			
O <sub>2</sub> (%)	50 (37-57)	49 (39-57)	0,809
FC (%)	71 (64-81)	72 (67-76)	0,480
Potência (%)	48 (28-54)	45 (37-61)	0,873
<b>Isocarga</b>			
Moderado (de 50 a 80%)	70 (61-76)	72 (57-78)	0,832
Intenso (de 110 a 140%)	129 (114-133)	128 (115-134)	1,000

Dados expressos em mediana, mínimo e máximo. LAV: limiar de anaerobiose ventilatório; FC: frequência cardíaca; O<sub>2</sub>: consumo de oxigênio; Isocarga: % do O<sub>2</sub> no teste de exercício em carga constante em relação ao O<sub>2</sub> no LAV identificado no TECP. Teste de Mann-Whitney para comparações intergrupos.

### TECC

Na tabela 2 também são apresentados os valores percentuais de O<sub>2</sub> empregados na definição das isocargas correspondentes aos exercícios moderado e intenso. Os valores percentuais correspondem à relação entre o O<sub>2</sub> observado no TECC e o O<sub>2</sub> observado no momento do LAV, identificado no TECP. Pode-se observar que não houve diferença estatística significativa entre os grupos, o que indica que as isocargas foram equivalentes.

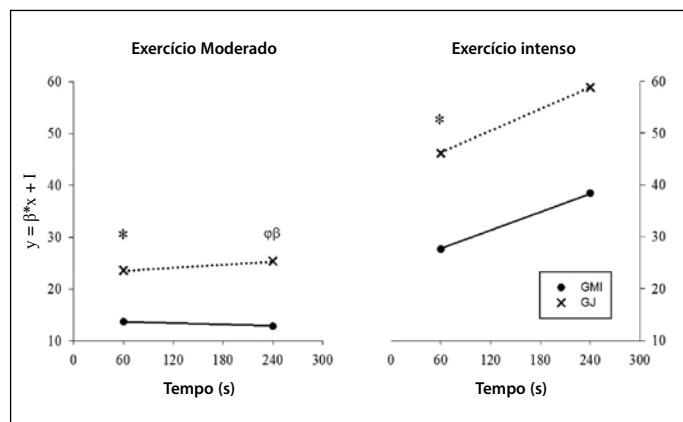
Na tabela 3 encontram-se os valores de coeficiente angular ( $\beta$ ), intercepto (I) e deltas da FC ( $\Delta 0-10s$ ,  $\Delta 0-30s$  e  $\Delta 60-240s$ ) obtidos nos TECCs e apresentados de acordo com a intensidade de exercício analisada. O GMI apresentou menores valores de I e  $\Delta 0-10s$  no exercício moderado e intenso, e de  $\beta$  no exercício moderado, em comparação ao GJ. Não houve diferença estatística significativa entre os grupos para os valores de  $\Delta 0-30s$  e  $\Delta 60-240s$ .

Na figura 2 são apresentados os comportamentos dos interceptos (I) e coeficientes angulares ( $\beta$ ) mediados pelo sistema nervoso autonômico simpático nas intensidades de exercício moderado e intenso. A análise de regressão linear mostra que o GMI apresenta menores valores de intercepto nas duas intensidades e menor velocidade de ajuste ( $\beta$ ) no exercício de intensidade moderada.

**Tabela 3.** Valores de coeficiente angular ( $\beta$ ), intercepto (I) e deltas ( $\Delta 0-10s$ ,  $\Delta 0-30s$  e  $\Delta 60-240s$ ) observados na transição repouso-exercício nos testes de exercício em carga constante, nas intensidades de exercício moderado e intenso.

Intensidade	Variáveis	GJ (n = 10)	GMI (n = 7)	Valor de p
Moderado	$\Delta 0-10s$	20 (10-34)	9 (3-15)	0,009
	$\Delta 0-30s$	17 (12-34)	15 (-3-29)	0,570
	I	23 (12-45)	14 (13-27)	0,050
	$\beta$	0,01 (-0,01-0,07)	-0,005 (-0,02-0,02)	0,022
	R	0,7 (0,6-0,9)	0,7 (0,4-0,8)	0,455
Intenso	$\Delta 60-240s$	2 (-7-8)	0 (-4-6)	0,906
	$\Delta 0-10s$	19 (5-37)	11 (1-15)	0,023
	$\Delta 0-30s$	27 (14-34)	13 (5-36)	0,056
	I	42 (34-9)	24 (14-44)	0,029
	$\beta$	0,07 (0,02-0,13)	0,06 (0,02-0,11)	0,613
	R	0,8 (0,5-0,9)	0,9 (0,8-0,9)	0,142
	$\Delta 60-240s$	16 (4-25)	22 (13-24)	0,128

Dados expressos em mediana, mínimo e máximo.  $\beta$ : coeficiente angular da reta; I: Intercepto;  $\Delta 0-10s$ : delta 0-10s;  $\Delta 0-30s$ : delta 0-30s;  $\Delta 60-240s$ : delta 60-240s e R: coeficiente de correlação da regressão linear. Teste de Mann-Whitney.



**Figura 2.** Representação gráfica dos valores médios da FC do GMI (●) e GV (x), nas intensidades de exercício moderado e intenso. A diferença de FC entre o 60 e 240 corresponde ao  $\Delta 60-240$ . No eixo y, também podem ser encontrados os valores de I, que representa o ponto de intersecção da função ( $y = \beta * x + I$ ) com o eixo y. Teste de Mann-Whitney, \* =  $p \leq 0,05$ ; j $\beta$  =  $p \leq 0,05$  ( $\beta$ )

## DISCUSSÃO

Os principais achados do presente estudo foram: em comparação ao GJ, o GMI apresentou menores valores de intercepto I e  $\Delta 0-10s$  nos exercícios moderado e intenso e menor velocidade de ajuste ( $\beta$ ) na intensidade moderada. Não houve diferença estatística significativa entre os valores de  $\Delta 0-30s$  e  $\Delta 60-240s$ . Adicionalmente, durante o TECP, o GMI apresentou menores valores de  $O_2$ , FC e potência nos momentos do LAV e pico de esforço, caracterizando menor capacidade e potência aeróbia.

## TECP

Diversos estudos associam o declínio do  $O_2$  no pico do exercício com o envelhecimento, principalmente após os 50 anos<sup>13-15</sup> com a. Este declínio pode estar associado à diminuição da  $FC_{pico}$  do fluxo sanguíneo periférico e/ou da extração periférica do oxigênio<sup>2,16</sup>.

O declínio da  $FC_{pico}$  em decorrência do processo de envelhecimento, fato também observado no presente estudo, associado ou não às limitações periféricas, pode resultar na diminuição do débito cardíaco<sup>6,17,18</sup>. Contudo, no intuito de compensar este declínio da FC e manter o débito cardíaco necessário para uma determinada demanda metabólica imposta pelo exercício, pode ocorrer aumento do volume sistólico no pico do exercício<sup>(1),(1)</sup>. Assim, os menores valores de  $O_2$  de pico observados nas faixas etárias mais elevadas parecem ter importante contribuição dos mecanismos de entrega e extração periférica de oxigênio<sup>2,19,20</sup>, além dos mecanismos centrais. Tendo em vista que os grupos apresentaram comportamento semelhante na relação LAV/PICO para as variáveis  $O_2$ , FC e potência (tabela 2), pode-se inferir que os menores valores de  $O_2$  no LAV observados no GMI também podem estar associados à diminuição da FC, do fluxo sanguíneo periférico e/ou da extração periférica do oxigênio<sup>2</sup> observados em decorrência do envelhecimento<sup>21</sup>.

## TECC

A modulação autonômica da FC é bastante complexa, pois seu comportamento pode ser influenciado por diversos estímulos aferentes periféricos e por mecanismos centrais<sup>7,10</sup>. O conceito das eferências dos sinais provindos dos centros cerebrais superiores, que influenciam o comportamento da FC durante o exercício físico, independente do tipo de exercício, foi amplamente estudado<sup>22,23</sup> e tem sido aceito pela comunidade científica.

Em 1986, Maciel *et al.*<sup>6</sup> apresentaram um estudo no qual verificaram os efeitos do bloqueio farmacológico dos eferentes simpático e parasimpático na resposta da frequência cardíaca de homens saudáveis, e confirmaram que a taquicardia na transição repouso-exercício tem um comportamento bifásico. Inicialmente, a taquicardia é vago-dependente<sup>4,7</sup> e independe da intensidade de esforço realizada. Posteriormente, em exercício moderado ou intenso, ocorre uma fase de incremento lento na resposta da FC devido à ativação simpática.

No presente estudo, o comportamento inicial da taquicardia foi investigado pela análise dos valores de  $\Delta 0-10s$  e  $\Delta 0-30s$ , nas intensidades estudadas. No GMI, os menores valores de  $\Delta 0-10s$  indicam amplitude de retirada vagal inicial menos proeminente que a observada no GJ neste período. Por outro lado, os grupos não apresentaram diferença na comparação do  $\Delta 0-30s$ , o que indica que o GJ apresenta maior intensidade de retirada vagal na fase mais precoce da transição repouso-exercício (0-10s) e o GMI na fase mais tardia (10-30s). A diminuição da capacidade de resposta reflexa autonômica sofre influência do envelhecimento devido a alterações no barorreflexo em decorrência da diminuição da sensibilidade dos receptores periféricos<sup>10</sup>. Este mecanismo pode ter levado ao atraso na elevação da FC observado na fase mais precoce ( $\Delta 0-10s$ ) da transição repouso-exercício<sup>23,24</sup> no GMI.

Em exercício moderado, após o período de retirada vagal, pode haver retomada da atividade do nervo vago, que leva à diminuição da FC antes do 60º segundo do exercício<sup>6-8</sup>. Quando este mecanismo está presente, a determinação do intercepto, avaliado a partir do intervalo 60-s-240º segundo, pode apresentar menores valores de FC em relação aos valores observados no 30º segundo. No entanto, após o período de retirada vagal (0-30s) também pode-se observar a participação da modulação simpática sobre a FC no intuito de ajustá-la à demanda metabólica. Desta forma, o ajuste da FC no período 30-60s ocorre por meio dos dois mecanismos de ajuste autonômico<sup>6</sup>.

Nossos resultados mostram que, embora não tenha havido diferença estatística significativa para o  $\Delta 0-30s$ , os valores de intercepto foram maiores no GJ. Pode-se então inferir que esse comportamento tenha ocorrido em função da maior contribuição vagal inicial (0-10s), que pode ter perdurado e influenciado as respostas posteriores. No

entanto, não se pode excluir a possibilidade de haver contribuição simpática nesse período.

Após o 60º segundo de exercício moderado ou intenso, ocorre incremento lento da FC devido à contribuição simpática sobre o nódulo sinusal<sup>6,12</sup>. Este comportamento, representado pelas variáveis do intervalo 60-240º segundo ( $\beta$ , I e  $\Delta$ ), tem sua magnitude correlacionada temporalmente com alterações na concentração de lactato sanguíneo<sup>7,26-28</sup>. Embora a magnitude desta contribuição ( $\Delta 60-240s$ ) não tenha apresentado diferença entre os grupos nas intensidades de exercício estudadas, a velocidade de ajuste da FC ( $\beta$ ) foi menor no GMI durante o exercício moderado. Este resultado indica que o GMI apresenta redução da velocidade de ajuste da FC mediado pelo sistema nervoso simpático após 60 s do início 60º segundo de exercício moderado. Por outro lado, em exercício intenso, a resposta da FC na transição repouso-exercício não foi diferente entre os grupos. Este comportamento pode estar associado à maior complexidade dos ajustes periféricos necessários para suprir a elevada demanda metabólica<sup>17,26</sup>.

## Implicações clínicas do estudo

A resposta da FC na transição repouso-exercício dinâmico apresenta diferenças em função do envelhecimento e pode ser caracterizada por meio de métodos simples como a análise da regressão linear e a análise dos deltas. Estes métodos de análise da atuação do sistema nervoso autonômico sobre o coração podem ser facilmente aplicados na prática clínica, e o seu emprego contribui para o melhor conhecimento da capacidade de resposta ao exercício físico dinâmico.

## CONCLUSÕES

Os indivíduos jovens apresentam retirada vagal de maior magnitude no estágio inicial da resposta da FC durante exercício dinâmico em carga constante nas intensidades analisadas e maior velocidade de ajuste da resposta simpática em exercícios moderados.

---

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

---

## REFERÊNCIAS

1. Wasserman K. Principles of exercise testing & interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 3 ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1999.
2. Hughson RL. Oxygen uptake kinetics: historical perspective and future directions. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009;34:840-50.
3. Rowell LB, O'Leary DS. Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 1990;69:407-18.
4. Fagraeus L, Linnarsson D. Autonomic origin of heart rate fluctuations at the onset of muscular exercise. *J Appl Physiol* 1976;40:679-82.
5. Miyamoto T, Oshima Y, Ikuta K, Kinoshita H. The heart rate increase at the onset of high-work intensity exercise is accelerated by central blood volume loading. *Eur J Appl Physiol* 2006;96:86-96.
6. Maciel BC, Gallo L Jr, Marin Neto JA, Lima Filho EC, Martins LE. Autonomic nervous control of the heart rate during dynamic exercise in normal man. *Clin Sci (Lond)* 1986;71:457-60.
7. Gallo L Jr, Maciel BC, Marin-Neto JA, Martins LE, Lima-Filho EC, Golfetti R, et al. Control of heart rate during exercise in health and disease. *Braz J Med Biol Res* 1995;28:1179-84.
8. Silva E, Martins LE, Gallo LJ, Maciel BC, Marin-Neto JA, Lima-Filho EC. Inadequacy of first and second order models to characterize the heart rate response induced by dynamic exercise. *Braz J Med Biol Res* 1988;21:61-3.
9. Chacon-Mikahil MP, Forti VA, Catai AM, Szrajter JS, Golfetti R, Martins LE, et al. Cardiorespiratory adaptations induced by aerobic training in middle-aged men: the importance of a decrease in sympathetic stimulation for the contribution of dynamic exercise tachycardia. *Braz J Med Biol Res* 1998;31:705-12.
10. Milic M, Sun P, Liu F, Fainman C, Dimsdale J, Mills PJ, et al. A comparison of pharmacologic and spontaneous baroreflex methods in aging and hypertension. *J Hypertens* 2009;27:1243-51.
11. John Neter MK, William Wasserman, Christopher Nachtsheim. *Applied Linear Statistical Models*. Irwin: McGraw-Hill; 1996. 1408 p.
12. Mares VR, Silva E, Catai AM, Novais LD, Moura MA, Oliveira L, et al. Identification of anaerobic threshold using heart rate response during dynamic exercise. *Braz J Med Biol Res* 2005;38:731-5.
13. Fleg JL, Morrell CH, Bos AG, Brant LJ, Talbot LA, Wright JG, et al. Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation* 2005;112:674-82.
14. Hollenberg M, Yang J, Haight TJ, Tager IB. Longitudinal changes in aerobic capacity: implications for concepts of aging. *J Gerontol* 2006;61:851-8.
15. Buskirk ER, Hodgson JL. Age and aerobic power: the rate of change in men and women. *Fed Proc* 1987;46:1824-9.
16. Xu F, Rhodes EC. Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med* 1999;27:313-27.
17. Hagberg JM, Allen WK, Seals DR, Hurley BF, Ehsani AA, Holloszy JO. A hemodynamic comparison of young and older endurance athletes during exercise. *J Appl Physiol* 1985;58:2041-6.
18. Heath GW, Hagberg JM, Ehsani AA, Holloszy JO. A physiological comparison of young and older endurance athletes. *J Appl Physiol* 1981;51:634-40.
19. Sietsema KE, Daly JA, Wasserman K. Early dynamics of O<sub>2</sub> uptake and heart rate as affected by exercise work rate. *J Appl Physiol* 1989;67:2535-41.
20. Paterson DH. Effects of ageing on the cardiorespiratory system. *Can J Sport Sci* 1992;17:171-7.
21. Krogh A, Lindhard J. The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *J Physiol* 1913;47:112-36.
22. Goodwin GM, McCloskey DI, Mitchell JH. Cardiovascular and respiratory responses to changes in central command during isometric exercise at constant muscle tension. *J Physiol* 1972;226:173-90.
23. Seals DR, Chase PB. Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *J Appl Physiol* 1989;66:1886-95.
24. Linnarsson D. Dynamics of pulmonary gas exchange and heart rate changes at start and end of exercise. *Acta Physiol Scand Suppl* 1974;415:1-68.
25. Whipp BJ, Wasserman K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. *J Appl Physiol* 1972;33:351-6.
26. Whipp BJ. The slow component of O<sub>2</sub> uptake kinetics during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1319-26.
27. Poole DC, Barstow TJ, Gaesser GA, Willis WT, Whipp BJ. VO<sub>2</sub> slow component: physiological and functional significance. *Med Sci Sports Exerc* 1994;26:1354-8.