



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FISIOTERAPIA

Análise do controle autonômico cardíaco e do metabolismo muscular durante o exercício descontínuo dinâmico e resistido em homens jovens e idosos

ESTUDO I: Resposta lentificada da cinética da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio na transição *on* e *off* durante o teste de exercício descontínuo incremental: efeito do envelhecimento

ESTUDO II: Análise do limiar de lactato e limiar da variabilidade da frequência cardíaca durante o exercício resistido progressivo em homens jovens e idosos saudáveis

ESTUDO III: Identificação do limiar de anaerobiose por meio da variabilidade da frequência cardíaca em protocolo de exercício descontínuo dinâmico *versus* resistido em homens idosos saudáveis

Aluno: Rodrigo Polaquini Simões

Orientadora: Prof^a Dr^a Audrey Borghi e Silva

São Carlos – SP

2012

Rodrigo Polaquini Simões

Análise do controle autonômico cardíaco e do metabolismo muscular durante o exercício descontínuo dinâmico e resistido em homens jovens e idosos

Orientadora: Prof^a Dr^a Audrey Borghi e Silva

Tese apresentada ao programa de Pós Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Fisioterapia, área de concentração: Processos de Avaliação e Intervenção em Fisioterapia.

São Carlos – SP

2012

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária/UFSCar**

S593ac

Simões, Rodrigo Polaquini.

Análise do controle autonômico cardíaco e do metabolismo muscular durante o exercício descontínuo dinâmico e resistido em homens jovens e idosos / Rodrigo Polaquini Simões. -- São Carlos : UFSCar, 2012.
166 f.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2012.

1. Fisiologia do exercício físico - frequência cardíaca. 2. Envelhecimento. 3. Exercício resistido. 4. Exercício dinâmico. 5. Limiar de anaerobiose. 6. Cinética. I. Título.

CDD: 612.04 (20^a)

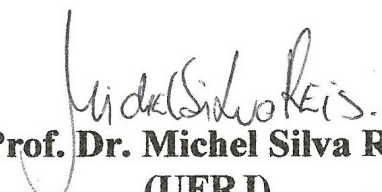
FOLHA DE APROVAÇÃO

Membros da banca examinadora para defesa de tese de doutorado de **RODRIGO POLAQUINI SIMÕES**, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos, em 24 de Agosto de 2012.


Banca Examinadora:


Profa. Dra. Audrey Borghi e Silva
(UFSCar)


Prof. Dr. Sérgio Luiz Brasileiro Lopes
(UFSCar)


Prof. Dr. Michel Silva Reis
(UFRJ)


Prof. Dr. Robison José Quitério
(UNESP - Marília)


Profa. Dra. Luciana Maria Malosa Sampaio Jorge
(Universidade Nove de Julho)

Investigação conduzida no Laboratório de
Fisioterapia Cardiopulmonar / Núcleo de
Pesquisa em Exercício Físico do
Departamento de Fisioterapia da
Universidade Federal de São Carlos.
Projeto desenvolvido com apoio FAPESP
2009/51976-2 e 2009/01842-0

DEDICATÓRIA

À Viviane Castello Simões, que foi minha parceira de pesquisa desde o mestrado, que trilhou junto comigo todas as etapas da pesquisa e que ao longo do tempo se tornou a pessoa mais importante na minha vida minha esposa com quem compartilho todos os momentos bons e ruins, e que se dedica intensamente à nossa relação com muito afeto e amor. Obrigado por tudo que tem feito por mim e por nós Te amo incondicionalmente.

Aos meus pais Antonio Donizeti Correa Simões e Vânia Antonia Polaquini Simões, pela paciência, respeito, educação e apoio incondicional, contribuindo para minha formação moral . Obrigado por mostrar através de atitudes como enfrentar as dificuldades com dignidade e sabedoria Amo vocês.

Ao meu irmão Leandro Polaquini Simões, pelo exemplo de superação e vontade, mostrando que na vida as dificuldades são apenas mais um obstáculo que devemos superar ... e é possível.

AGRADECIMENTOS

À Deus e ao Mestre Jesus, por minha saúde, por iluminar os meus caminhos e me amparar nos momentos mais difíceis, me inspirando a tomar as decisões mais corretas.

À minha orientadora e amiga Prof^a Dr^a Audrey Borghi e Silva que sempre me ajudou e tem contribuído para o meu crescimento pessoal e profissional, compartilhando com seus conhecimentos sempre com muita paciência e respeito. Muito obrigado por ter me dado a primeira oportunidade para que eu pudesse mostrar que era capaz e por sua dedicação comigo nestes oito anos de trabalho Você foi excepcional!

AGRADECIMENTOS

Meu especial agradecimento à Profª Drª Aparecida Maria Catai, que é um exemplo de dedicação e competência, além de mostrar-se uma pessoa muito humana, por quem eu tenho muito respeito e admiração. Obrigado por ter me acolhido no laboratório e por poder compartilhar com seus conhecimentos nestes anos todos.

Aos amigos atuais e de longa data do NUPEF: Renata Mendes, Michel, Viviane, Camila, Luciana, Flávia, Bonjorno, Daniela, Milena, Daniel, Bruno, Anielle, Natália, Sílvia, Cristina, Vandí, Ana Cristina, Vinicius, Juliana, Thomas, Heloísa, Mariana, Renata Trimer, Soraia, Vivian, Michele, Marlus, Victor, Laura, Robison, Ruth e Pozzi, pela troca de conhecimento e companheirismo de todos vocês.

Aos Médicos que nos auxiliaram com os exames clínicos: Dr José Carlos Bonjorno e Dr Cláudio Ricardo de Oliveira.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Fisioterapia da UFSCar, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos profissionais do programa de pós-graduação Heitor, Kelly e Heloísa.

Aos amigos do ambulatório de Fisioterapia Respiratória da UFSCar, Profª Drª Valéria A P Di Lorenzo, Prof Dr Maurício Jamami, Profª Renata Basso e pós-graduandos, pela amizade, respeito e troca de conhecimentos.

À Profª Drª Ester Silva e aos alunos do Laboratório da Unimep, pela amizade, troca de conhecimentos e momentos de confraternização.

Ao amigo Prof Darlei L. Baldi, que tive o imenso prazer de conhecer antes mesmo de iniciar na Fisioterapia e que me estimulou a seguir este caminho.

Aos amigos Serginho, Thais, Lucien, Cláudio, Matheus e a mais nova integrante que veio trazendo alegria e sorrisos para todos nós ... Isabela.

Aos amigos Fernando Costa, Daniel, Rafael Luporini, e Glaucio Dutra, obrigado pelos agradáveis momentos juntos.

Aos membros da Banca que gentilmente aceitaram participaram da minha qualificação e defesa, professores: Dr Michel Silva Reis, Dr Robison José Quitério, Dr^a Anielle Cristhine de Medeiros Takahashi, Dr^a Luciana Maria Malosá Sampaio Jorge, Dr Sérgio Luiz Brasileiro Lopes e Dr Víctor Zuniga Dourado e Dr^a Renata Gonçalves Mendes.

À todos colegas da USE pela troca de conhecimentos, em especial aos Cardiologistas Dr^a Isabela Verzola Aniceto, Dr^a Ana Cândida Verzola e Dr Sérgio Brasileiro pelas sugestões e conhecimentos transmitidos.

Aos meus amigos Rogério, Ana Cláudia, Davi, Daniel, Rodrigo, Natália, Gabriel, Manoel, Adriana, Miguel, Marcio, Luciana, Daniela, Thaty e Cibele.

À Leila Soos Castello e Nelson Antonio Castello, por terem me acolhido como filho. Muito obrigado! E é claro ao meu cunhado e grande amigo Hélder!

Aos voluntários que participaram desta pesquisa, pela credibilidade e confiança.

À FAPESP pelo suporte financeiro

*Devemos aprender durante toda a vida,
sem imaginar que a sabedoria vem com a velhice”*

Platão

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

α	alfa
β	beta
τ	constante de tempo
1RM	uma repetição máxima
A	amplitude
ATP	adenosina trifosfato
ECG	eletrocardiograma
ER	exercício resistido
FC	frequência cardíaca
FR	frequência respiratória
GI	grupo de idosos
GJ	grupo de jovens
IMC	índice de massa corpórea
iR-R	intervalos R-R
kg	quilograma
L	litro
LA	limiar anaeróbio
LAV	limiar anaeróbio ventilatório
LB	linha de base
LL	limiar de lactato
LrMSSD	limiar de rMSSD
LSD1	limiar de SD1
MMII	membros inferiores

mmol	milimol
n	número de indivíduos
O ₂	oxigênio
OMS	organização mundial de saúde
p	significância estatística
PA	pressão arterial
PAD	pressão arterial diastólica
PAS	pressão arterial sistólica
PM	potência máxima
R	correlação
R	repouso
RMSM	raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo
rMSSD	raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um
SD1	desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento
t	tempo
TA	tempo de atraso
TED-C	teste de exercício descontínuo em cicloergômetro
TED-L	teste de exercício descontínuo no leg press
TRM	tempo de resposta média
V _c	volume corrente
VCO ₂	produção de gás carbônico

V_E	ventilação minuto
VFC	variabilidade da frequência cardíaca
VO_2	consumo de oxigênio
Y	variável

LISTA DE TABELAS

ESTUDO I

Tabela 1. Idade e características antropométricas dos voluntários.....	45
Tabela 2. Variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas obtidas no repouso e no pico do teste de esforço incremental dos voluntários.....	47

ESTUDO II

Tabela 1. Características antropométricas dos participantes e variáveis do teste de esforço incremental sintoma-limitado.....	76
Tabela 2. Variáveis do teste de 1RM e do pico do teste de exercício resistido descontínuo.....	78
Tabela 3. Comparação dos valores relativos e absolutos da carga correspondente ao limiar de anaerobiose por diferentes métodos de identificação (lactato sanguíneo e índices da variabilidade da frequência cardíaca).....	83

ESTUDO III

Tabela 1. Características antropométricas e variáveis do teste de esforço incremental no cicloergômetro e do teste de uma repetição máxima (1RM) no <i>leg press</i> , nas condições de repouso e pico.....	109
---	-----

Tabela 2. Variáveis do teste de exercício descontínuo no cicloergômetro e no <i>leg press</i> nas condições de repouso e pico.....	111
Tabela 3. Comparação dos valores relativos e absolutos da intensidade correspondente ao limiar de anaerobiose por diferentes métodos de identificação durante os testes de exercício descontínuo no cicloergômetro e no <i>leg press</i>	117

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ESTUDO I

Figura 1. Ilustração dos equipamentos e do posicionamento do voluntário no cicloergômetro para realização do teste de esforço incremental (tipo rampa).....	38
Figura 2. Ilustração da coleta de amostras de sangue no lobo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo.....	41
Figura 3. Comportamento do lactato sanguíneo em percentual da potência máxima durante o teste de exercício descontínuo.....	49
Figura 4. Variáveis da cinética <i>on</i> e <i>off</i> da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio nas intensidades abaixo e acima do limiar de lactato do grupo de jovens e idosos.....	51

ESTUDO II

Figura 1. Ilustração do voluntário posicionado no equipamento de exercício resistido (<i>leg press</i> 45°) na posição inicial.....	71
Figura 2. Ilustração da tela dos resultados da análise da variabilidade da frequência cardíaca pelo software <i>Kubios</i> de análise de VFC.....	73
Figura 3. Comportamento das variáveis no teste de exercício resistido descontínuo nas cargas em percentual da 1 repetição máxima, iniciando do repouso até a carga em comum para todos participantes (50% da 1RM).....	81

Figura 4. Plotagem de <i>Bland & Altman</i> mostra a concordância entre LL e LrMSSD e entre LL e LSD1.....	84
--	----

ESTUDO III

Figura 1. Comportamento das variáveis da variabilidade da frequência cardíaca e lactacidemia durante o teste de exercício descontínuo em percentual da potência máxima no cicloergômetro e em percentual da 1 repetição máxima (1RM) no <i>leg press</i> iniciando do repouso até a intensidade em comum para todos os participantes (50% da PM/1RM).....	113
Figura 2. Comportamento das variáveis cardiovasculares durante o teste de exercício descontínuo em percentual da potência máxima no cicloergômetro e em percentual da 1 repetição máxima (1RM) no <i>leg press</i> , iniciando do repouso até a intensidade em comum para todos os participantes (50% da PM/1RM).....	115
Figura 3. Plotagem de <i>Bland & Altman</i> mostra a concordância entre LL e LrMSSD e entre LL e LSD1 no teste de exercício descontínuo em cicloergômetro.....	118
Figura 4. Plotagem de <i>Bland & Altman</i> mostra a concordância entre LL e LrMSSD e entre LL e LSD1 no teste de exercício descontínuo no <i>leg press</i>	119

RESUMO

A tese constou de 3 estudos descritos a seguir. **Estudo I**, que teve como objetivo investigar o efeito do envelhecimento nas respostas cinéticas da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio (VO_2) durante as transições repouso-exercício (fase-*on*) e exercício-recuperação (fase-*off*), além de verificar a influência da intensidade do exercício (leve e moderada) sobre os parâmetros cinéticos destas variáveis. 28 homens aparentemente saudáveis foram avaliados, sendo que 14 constituíram o grupo de jovens (GJ) e 14 o grupo de idosos (GI). A avaliação foi constituída da aplicação de um teste de esforço incremental do tipo rampa (TEI-R) em cicloergômetro para determinar a potência máxima (PM) e teste de exercício descontínuo no cicloergômetro (TED-C), sendo este último iniciado com carga inicial de 10% da PM com aumentos subsequentes de 10% até a exaustão. Foram registradas as variáveis ventilatórias e metabólicas, a FC e a lactacidemia em repouso e durante o esforço. O limiar de lactato (LL) foi verificado em cargas relativas similares entre os grupos (aproximadamente em 30% da PM). O GI apresentou maiores valores das respostas cinéticas, tanto na transição *on* como *off* da FC e do VO_2 ($p < 0,05$), e os valores foram maiores na intensidade moderada em comparação à leve no GJ ($p < 0,05$). Concluímos que os idosos tem respostas cinéticas mais lentas da FC e do VO_2 em relação aos jovens e que em intensidade moderada, as respostas cinéticas foram mais lentas em relação à intensidade leve nos jovens. Na sequência, o **estudo II** objetivou investigar o comportamento das respostas da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) durante um protocolo de exercício resistido (ER) descontínuo e verificar se estas são concordantes com as respostas de lactacidemia na determinação do limiar anaeróbio (LA) em jovens e idosos aparentemente saudáveis. Para tal proposta, nos mesmos voluntários do estudo I, foi aplicado o teste de uma repetição máxima (1RM) no leg press 45° e o teste de exercício descontínuo no leg press 45° (TED-L), iniciado em 10% de 1RM com incrementos subsequentes de 10% até a exaustão, sendo a FC e a lactacidemia obtidas no repouso e no exercício. O LA foi determinado em aproximadamente 30% da 1RM em ambos os grupos e em ambos os métodos de análise (lactacidemia e VFC), os índices da VFC diminuíram com aumento da carga e se estabilizaram a partir da carga do LA em ambos os grupos, adicionalmente, a lactacidemia manteve-se praticamente estável até a carga do LA, aumentando significativamente após esta intensidade. O GI apresentou valores reduzidos da VFC nas cargas inferiores ao LA, e valores reduzidos de FC e lactacidemia nas cargas acima do LA, em relação ao GJ. Concluímos que as respostas de VFC para determinar o LA estão de acordo com a lactacidemia, e que o aumento das cargas durante o ER descontínuo, promoveu gradual retirada vagal, seguida pela ativação simpática, tanto nos jovens como nos idosos, no entanto, estas respostas são atenuadas com o processo de envelhecimento. Finalmente o **estudo III**, teve como objetivo determinar o LA em protocolo de exercício descontínuo dinâmico e resistido por meio da análise da lactacidemia e da VFC em idosos saudáveis, comparando as variáveis cardiovasculares, metabólicas e autonômicas entre estas duas modalidades. Foram avaliados os indivíduos do grupo idoso durante os testes: TEI-R, TED-C, 1RM e TED-L. O LA ocorreu em aproximadamente 30% da intensidade máxima tanto no TED-C como no TED-L, por ambos os métodos (lactacidemia e VFC). Não houve diferenças em relação às variáveis da VFC entre as modalidades de exercício e houve aumento significativo da pressão arterial sistólica e lactacidemia após a carga do LA no TED-L. Concluímos que a VFC foi eficaz na determinação do LA e que as respostas da modulação parassimpática foram semelhantes entre o exercício dinâmico e resistido.

Palavras-chave: Envelhecimento. Exercício resistido. Exercício dinâmico. Modulação autonômica cardíaca. Limiar de anaerobiose. Cinética.

ABSTRACT

The thesis consisted of three studies described below. **Study I**, which aimed to investigate the effect of aging on kinetic responses of heart rate (HR) and oxygen consumption (VO_2) during rest-exercise (on-transient) and exercise-recovery transitions (off-transient), and to investigate the influence of exercise intensity (mild and moderate) on the kinetic parameters of these variables. 28 apparently healthy men were evaluated, and 14 constituted the young group (YG) and 14 the elderly group (EG). The evaluation consisted of applying an incremental exercise testing of ramp protocol on cycle-ergometer (IET-R) to determine the maximum power (MP) and discontinuous exercise test on a cycle ergometer (DET-C), which started with an initial power load of 10% of MP with subsequent increase of 10% until exhaustion. Were recorded ventilatory and metabolic variables, the HR and blood lactate at rest and during exercise. The lactate threshold (LT) was closed between the groups (approximately 30% of MP). The EG showed higher values of the kinetic responses, both *on* and *off* transitions of HR and VO_2 ($p < 0.05$), and the values were higher in moderate compared to mild in YG ($p < 0.05$). We conclude that the elderly have slower kinetic responses of HR and VO_2 in relation to young and that at moderate intensity; the kinetic responses were slower in relation to mild intensity in young. Following, the **study II** aimed to investigate the behavior of the heart rate variability (HRV) responses during a discontinuous resistance exercise (RE) protocol and check whether they agree with the blood lactate responses in the determination of anaerobic threshold (AT) in apparently healthy young and elderly. For this proposal, in the same volunteers in the study I, was applied the test of one repetition maximum (1RM) on the leg press 45° and the discontinuous exercise test on the leg press 45° (DET-L), initiated in 10% of 1RM subsequent increments of 10% until exhaustion, and the HR and blood lactate were obtained at rest and during exercise. The AT was determined at approximately 30% of 1RM in both groups and both methods of analysis (blood lactate and HRV), the HRV index decreased with increasing load and stabilized from the load corresponding to AT in both groups, additionally the blood lactate remained practically stable until the load of AT, and increased significantly after this intensity. The EG had lower HRV values in lower loads of AT, and lower values of HR and blood lactate in loads above of AT in relation to the YG. We conclude that the HRV responses to determine the AT are according to blood lactate, and that the increase in load during the discontinuous RE promoted gradual vagal withdrawal followed by sympathetic activation in both young and the elderly, however, these responses are attenuated with the aging process. Finally, the **study III**, aimed to determine the AT during discontinuous dynamic and resistance exercise protocol by analyzing blood lactate and HRV in healthy older adults, comparing the cardiovascular, metabolic and autonomic variables between these two exercise modalities. We evaluated the elderly group of individuals during the tests: IET-R, DET-C, 1RM and DET-L. The AT within about 30% of maximum intensity in both the DET-C and DET-L by both methods (blood lactate and HRV). There were no differences in HRV variables between the modalities of exercise and a significant increase in systolic blood pressure and blood lactate after AT load in the DET-L. We conclude that HRV was effective in determining the AT and that the parasympathetic modulation responses were similar between dynamic and resistance exercise.

Keywords: Aging. Resistance exercise. Dynamic exercise. Cardiac autonomic modulation. Anaerobic threshold. Kinetic.

SUMÁRIO

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT	xviii
1. CONTEXTUALIZAÇÃO	20
2. ESTUDO I: “Resposta lentificada da cinética da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio na transição <i>on</i> e <i>off</i> durante o teste de exercício descontínuo incremental: efeito do envelhecimento”	31
RESUMO.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
METODOLOGIA.....	35
RESULTADOS.....	44
DISCUSSÃO.....	52
CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
3. ESTUDO II: “Análise do limiar de lactato e limiar da variabilidade da frequência cardíaca durante o exercício resistido progressivo em homens jovens e idosos saudáveis”	63
RESUMO.....	64
INTRODUÇÃO.....	65
METODOLOGIA.....	67
RESULTADOS.....	75
DISCUSSÃO.....	85
CONCLUSÃO.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
4. ESTUDO III: “Identificação do limiar de anaerobiose por meio da variabilidade da frequência cardíaca em protocolo de exercício descontínuo dinâmico <i>versus</i> resistido em homens idosos saudáveis”	97
RESUMO.....	98
INTRODUÇÃO.....	99
METODOLOGIA.....	100
RESULTADOS.....	107
DISCUSSÃO.....	120
CONCLUSÃO.....	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	126
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESDOBRAMENTOS FUTUROS	132
6. APÊNDICES	135
APÊNDICE A: Versão em inglês do Estudo I.....	136
7. ANEXOS	158
ANEXO A: Carta de aceite do artigo (Estudo I).....	159
ANEXO B: Termo de consentimento livre e esclarecido.....	161
ANEXO C: Parecer do comitê de ética em pesquisa.....	163

1.CONTEXTUALIZAÇÃO

CONTEXTUALIZAÇÃO

Com o crescente avanço na área da saúde e a melhora na qualidade de vida, o envelhecimento populacional teve aumento significativo nos últimos anos. No Brasil, segundo informações do último Censo do IBGE (1) mudanças significativas ocorreram na pirâmide etária da população nas últimas décadas, com queda na taxa de fecundidade e melhores condições de saúde, resultando em aumento da expectativa de vida, portanto, o país passa por um processo de envelhecimento que deverá durar cerca de 30 anos, deixando de ser majoritariamente jovem para se tornar uma nação madura em 2040 (1).

O processo de envelhecimento, definido como um conjunto de processos na qual ocorre declínio das várias funções do corpo humano em decorrência da idade, repercute em redução na mobilidade e autonomia do idoso, sendo esta degradação progressiva e integrada dos sistemas, a grande responsável pela relevante dificuldade destes indivíduos na realização de tarefas básicas relacionadas às suas atividades de vida diária (2,3).

Estudos prévios indicaram que a redução da mobilidade e da capacidade funcional dos idosos está relacionada com a marcada diminuição da massa muscular que ocorre com o processo de envelhecimento, este fenômeno denomina-se sarcopenia (4,5). Entre os 20 e os 90 anos os indivíduos perdem cerca de 50% de massa muscular, sendo que aos 50 anos já se perdeu por volta de 10% desta, e após os 50 anos a perda acentua-se, passando a acontecer a uma taxa de 12% a 14% por década (4,5). Esta redução da massa muscular promove diminuição da força muscular gerada por outros fatores em conjunto com a sarcopenia, como a atrofia das fibras musculares (principalmente das fibras do tipo II) e a perda da quantidade de motoneurônios alfa

que conseqüentemente promove redução de unidades motoras (4,5). Outras alterações estruturais dos músculos esqueléticos também ocorrem com o envelhecimento, como aumento do conteúdo de água e gordura do músculo, diminuição da velocidade de contração muscular, menor capacidade de receber informações neuronais advindas do sistema nervoso central, decréscimo no fluxo sanguíneo muscular, menor elasticidade muscular e maior capacidade de lesões (6,7).

Além disso, estudos prévios relataram que alterações do sistema cardiovascular também ocorrem nesta população, sendo uma das mais importantes as mudanças no controle autonômico cardíaco (8-10). Uma ferramenta que tem sido muito utilizada para avaliar as respostas autonômicas do coração durante as transições repouso-exercício e exercício-recuperação é análise da cinética da frequência cardíaca (FC).

Na transição do repouso para o início do exercício físico ocorrem modificações no ritmo e contratilidade cardíacos com o objetivo de atender a demanda energética imposta pela musculatura ativa (11). Esta aceleração da FC na transição repouso-exercício, comumente descrita por termos de ajustes matemáticos exponenciais, caracteriza a resposta “*on*” da frequência cardíaca (FC_{on}), sendo modulada principalmente pela retirada vagal com o concomitante aumento da atividade autonômica simpática (12-14). A inibição da atividade vagal, não só aumenta a contratilidade dos átrios, mas também eleva a velocidade de condução da onda de despolarização dos ventrículos a partir do nódulo átrio-ventricular (15). Por outro lado, a ausência de aumento significativo da FC nesta fase inicial do exercício pode estar sinalizando deficiência da atividade vagal (16-18), e tem sido fortemente associada à morte súbita cardíaca (19).

Outro aspecto importante e que tem merecido destaque na literatura nos últimos anos é a recuperação da FC pós-esforço (resposta “*off*” da frequência cardíaca - FC_{off}). O comportamento da FC no transiente final do exercício é mais um indicador da integridade do nervo vago (20). Sugere-se que o comportamento autonômico na FC_{off} apresenta uma súbita reatividade vagal nos segundos iniciais pós-esforço (fase rápida) seguida por uma gradual redução autonômica simpática (fase lenta) (18). O comportamento da FC ao final de um exercício deve ter especial atenção, já que atenuada redução da FC no primeiro minuto da recuperação representa prognóstico desfavorável em termos de risco relativo de mortalidade cardiovascular. Portanto, tanto no transiente inicial como no final, quanto mais lenta for a estabilização/recuperação da FC, maior o risco relativo (14). Neste sentido, o estudo da cinética da FC durante as transições repouso-exercício-recuperação nos fornece importantes informações em relação à integridade do sistema nervoso autonômico cardíaco.

Associando estas respostas do sistema autonômico cardíaco com o sistema muscular, tanto na transição do repouso para o exercício, como do exercício para a recuperação, é esperado que as respostas do consumo de oxigênio (VO_2) também respondam de maneira similar à da FC. Partindo do repouso para o início do exercício, fatores centrais como a captação de oxigênio pelos pulmões, o próprio ajuste autonômico que proporciona o aumento da FC e, também, o sistema de transporte, influenciam de maneira direta a cinética do VO_2 (21,22). Além disso, especula-se que fatores de natureza periférica, como a demora para ativação do metabolismo à nova demanda energética imposta pela atividade física, também denominada de inércia metabólica, seja o principal fator responsável por influenciar a velocidade cinética do VO_2 (22).

Neste sentido, fatores que possam induzir modificações das respostas centrais e periféricas frente a um esforço físico, tal como a intensidade deste esforço, parecem influenciar nas respostas cinéticas da FC e do VO₂. Portanto, tendo em vista a importância de melhor compreender os ajustes dessas variáveis tanto na transição repouso-exercício, quanto na transição exercício-recuperação, na população de idosos, e a influência da intensidade do esforço nestes ajustes, foi desenvolvido o primeiro estudo intitulado: “*Resposta lentificada da cinética da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio na transição on e off durante o teste de exercício descontínuo incremental: efeito do envelhecimento*”.

Sequencialmente, após atestarmos maior lentidão das respostas autonômicas cardíacas e metabólicas (refletidas pela cinética da FC e do VO₂) nos idosos durante as transições repouso-exercício-recuperação, propomos no segundo estudo o uso de outra ferramenta também muito importante para avaliar o controle autonômico cardíaco; a variabilidade da frequência cardíaca (VFC), que possibilita a interpretação dos ajustes da modulação autonômica cardíaca mediada pelas respostas da modulação simpática e parassimpática no coração (23). Além da VFC ser utilizada na avaliação em repouso, também tem sido aplicada durante protocolos de exercício físico dinâmico (24,25). No entanto, pouco se sabe sobre o comportamento desta variável durante a realização de exercícios resistidos, que é uma modalidade de exercício que tem se tornado mais frequente na população idosa devido à capacidade de oferecer maiores ganhos relacionados ao aumento de força e *endurance* muscular, proporcionando por consequência, melhorias funcionais relacionadas ao equilíbrio e coordenação motora (2,3).

Os ajustes autonômicos frente a uma situação de esforço físico possivelmente estão relacionados às mudanças metabólicas que ocorrem na musculatura durante o exercício, que são detectadas por receptores capazes de enviar estas informações para o sistema nervoso central,

que responde por meio de ajustes do sistema autonômico cardíaco, na tentativa de manter a homeostasia (26-28).

Estas respostas integradas são claramente percebidas principalmente a partir da intensidade correspondente ao limiar de anaerobiose (LA), momento no qual o metabolismo aeróbio passa a ser suplementado pelo metabolismo anaeróbio para produção de energia, e a partir desta intensidade passa a ocorrer aumento exponencial da concentração de lactato sanguíneo, desencadeando diversos mecanismos fisiológicos na tentativa de estabelecer uma condição de equilíbrio (29-31).

Portanto, pressupondo que os ajustes autonômicos cardíacos e os metabólicos são integrados durante o ER descontínuo, o segundo estudo foi elaborado e intitulado de: *“Análise do limiar de lactato e limiar da variabilidade da frequência cardíaca durante o exercício resistido progressivo em homens jovens e idosos saudáveis”*, com o objetivo de avaliar se as respostas da VFC e da lactacidemia são concordantes em relação à determinação do LA nesta modalidade de exercício e comparar o comportamento destas variáveis entre jovens e idosos.

Considerando os benefícios que o exercício dinâmico e o ER têm para a população de idosos, e tendo em vista que a determinação do LA por meio da VFC foi possível durante o protocolo de ER descontínuo no segundo estudo, desenvolvemos o terceiro estudo intitulado: *“Identificação do limiar de anaerobiose por meio da variabilidade da frequência cardíaca em protocolo de exercício descontínuo dinâmico e resistido em homens idosos saudáveis”*, com o objetivo de também determinar o LA utilizando a VFC em uma amostra composta por idosos, tanto durante o ER como durante o exercício dinâmico. Além disso, considerando a crescente preocupação quanto à segurança relacionada à prática de ER em idosos, também comparamos as

variáveis cardiovasculares, a lactacidemia e a VFC entre estas duas modalidades de exercício (dinâmico vs resistido) em idosos saudáveis.

REFERÊNCIAS

1. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) Dados do censo demográfico 2010.
2. Brill PA, Macera CA, Davis DR, Blair SN, Gordon N (2000) Muscular strength and physical function. *Med Sci Sports Exerc* 32:412-416.
3. Andrews GR (2001) Promoting health and function in an ageing population. *BMJ* 322:728-729.
4. American College Sports Medicine (1998) Position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 30:975-91
5. Mazzeo RS, Tanaka H (2001) Exercise prescription for the elderly – current recommendations. *Sports Med* 31:809-818.
6. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A (2003) Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 95:1851–1860.
7. Macrae HS, Dennis S, Bosch AN, Noakes TD (1992) Effects of training on lactate production and removal during progressive exercise in humans. *J Appl Physiol* 72:1649-1656.
8. Antelmi I, Paula RS, Shinzato AR, Peres CA Mansur Aj, Grupi CJ (2004) Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *Am J Cardiol* 93:381-385.

9. Tasaki H, Serita T, Ueyama C, Kitano K, Seto S, Yano K (2006) Long-term follow-up of the circadian rhythm of heart rate and heart rate variability in healthy elderly patients. *Circ J* 70:889-895.
10. Zang J (2007) Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Journal of Manipulative Physiol Ther* 30:374-379.
11. Sietsema KE, James AD, Wasserman K (1989) Early dynamics of O₂ uptake and heart rate as affected by exercise work rate. *J Appl Physiol* 67:2535-2541.
12. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, Padilla J, Cunningham DA (2001) A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Exp Physiol* 86:667-676.
13. Almeida MB, Araújo CGS (2003) Efeitos do treinamento aeróbico sobre a frequência cardíaca. *Rev Bras Med Esporte* 9:104-112.
14. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K (2003) On- and off-responses of heart rate to exercise: relations to heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging* 23:1-83.
15. Aubert AE, Seps B, Beckers F (2003) Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33:889-919.
16. Seals DR, Chase PB (1989) Influence of physical training on heart rate variability and baroreflex circulatory control. *J Appl Physiol* 66:1886-1895.
17. Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC (1991) Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* 71:1136-1142.

18. Achten J, Jeukendrup AE (2003) Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 30: 517-538.
19. Freeman JV, Dewey FE, Hadley DM, Myers J, Froelicher VF (2006) Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular system during exercise. *Prog Cardiovasc Dis* 48:342-362.
20. Miyamoto T, Oshima O, Ikuta K., Kinoshita H (2006) The heart rate increase at the onset of intensity exercise is accelerated by central blood volume loading. *Euro J Appl Physiology* 96:86-96.
21. Grassi B (2001) Regulation of oxygen consumption at exercise onset: is it really controversial? *Exerc Sport Sci Rev* 29:134-138.
22. Hughson RL, Tschakovsky ME, Houston ME (2001) Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 29:129–133.
23. Task Force of European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93:1043-1065.
24. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Takala TES, Seppänen T, Huikuri, HV (1996) Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol* 271:244–252.
25. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV (1998) Vagal modulation of heart rate during exercise: Effects of age and physical fitness. *Am J Physiol* 274:424–429.

26. Iwamoto GA, Kaufman MP (1987) Characteristics of caudal ventrolateral medullary cells responsive to muscular contraction. *J Appl Physiol* 62:149–157.
27. Victor RG, Bertocci LA, Pryor SL, Nunnally RL (1988) Sympathetic nerve discharge is coupled to muscle cell pH during exercise in humans. *J Clin Invest* 82:1301–1305.
28. Mitchell JH, Victor RG (1996) Neural control of the cardiovascular system: insights from muscle sympathetic nerve recordings in humans. *Med Sci Sports Exerc.* 28: S60-S69.
29. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.
30. Svedahl K, MacIntosh BR (2003) Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 28:299-323.
31. Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM, Carizzi MT, Pham PH (2007) Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging* 27:381-4.

2. ESTUDO I

Resposta lentificada da cinética da frequência cardíaca e do consumo de oxigênio na transição *on* e *off* durante o teste de exercício descontínuo incremental: efeito do envelhecimento

Slower responses of heart rate and oxygen consumption kinetics in on and off transient during discontinuous incremental exercise: effect of aging

Manuscrito aceito na Revista Brasileira de Fisioterapia / Brazilian Journal of Physical Therapy (ANEXO A)

RESUMO

O objetivo deste estudo foi investigar o efeito do envelhecimento na resposta cinética da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio (VO_2) durante as transições repouso-exercício (fase-*on*) e exercício-recuperação (fase-*off*), além de verificar a influência da intensidade do exercício (leve e moderada) sobre os parâmetros cinéticos destas variáveis. Um total de 14 homens jovens (23 ± 3 anos) e 14 homens idosos (70 ± 4 anos) aparentemente saudáveis realizaram um teste de esforço incremental em cicloergômetro (protocolo de rampa linear) para determinar a potência máxima (PM). O teste de exercício descontínuo foi iniciado com 10% da PM com aumentos subsequentes de 10% da PM até a exaustão. Foram registradas a FC, as variáveis ventilatórias e metabólicas e da lactacidemia em repouso e durante o exercício. O limiar de lactato foi determinado individualmente e apresentou respostas similares entre os grupos ($30 \pm 7\%$ da PM em jovens e $29 \pm 5\%$ da PM em idosos, $p > 0,05$). Os valores de lactacidemia permaneceram relativamente estáveis até 30% da PM em ambos os grupos e aumentaram acentuadamente ($p < 0,05$) após o limiar. A resposta cinética da FC e do VO_2 (transição *on* e *off*) foram maiores nos indivíduos idosos, quando comparados aos jovens ($p < 0,05$) e os valores foram maiores na intensidade moderada em comparação à leve no grupo dos jovens ($p < 0,05$). Concluímos que os idosos apresentaram resposta cinética mais lenta da FC e do VO_2 em relação aos jovens, tanto na transição *on* como *off* do exercício dinâmico em cicloergômetro. Além disso, as respostas cinéticas foram mais lentas na intensidade moderada em relação à intensidade leve nos indivíduos jovens.

Palavras-chaves: Envelhecimento. Exercício. Cinética. Lactato sanguíneo.

INTRODUÇÃO

Tanto a transição do repouso para o exercício (fase *on*) como do exercício para a recuperação (fase *off*) resultam em alterações cardíacas e metabólicas, a fim de atender a demanda energética do organismo e manter a homeostasia. No entanto, nem todos os indivíduos respondem de uma forma similar já que estas respostas são influenciadas pelo adequado funcionamento de diversos sistemas fisiológicos. Estas adaptações fisiológicas podem ser quantificadas de forma não invasiva através do comportamento cinético de algumas variáveis, como da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio (VO_2) (1,2).

A análise da resposta cinética destas variáveis durante o exercício tem se tornado cada vez mais reconhecida como uma importante ferramenta para a avaliação da *performance* ao exercício como também da saúde, dada a sua capacidade de refletir as respostas da modulação autonômica cardíaca e do metabolismo aeróbio (1-3). Rápidas respostas cinéticas da FC e do VO_2 são observadas em jovens e atletas, sendo um reflexo do bom estado de saúde geral que estes indivíduos apresentam (2). Por outro lado, as respostas cinéticas lentificadas destas variáveis, tanto durante a transição inicial como final do exercício, refletem risco aumentado de mortalidade cardiovascular (2,4). Neste sentido, fatores que possam induzir modificações das respostas centrais e periféricas frente a um esforço físico, tal como o nível da intensidade deste esforço, parecem influenciar nas respostas cinéticas destas variáveis (5,6).

Estudos prévios mostram que os idosos têm diversas alterações sistêmicas causadas pelo próprio processo de envelhecimento, sendo que algumas destas estão relacionadas aos sistemas cardiovascular e muscular, como alterações no controle autonômico cardíaco (7-9), redução do débito cardíaco, dos capilares sanguíneos periféricos e do metabolismo muscular, que podem

promover alterações relacionadas ao transporte e utilização do oxigênio pelo organismo, que são importantes quando considerada a capacidade do indivíduo de realizar alguma atividade física (10-12).

Tais alterações relacionadas com o processo de envelhecimento podem ser positivamente melhoradas pelo treinamento físico aeróbio (13,14). Neste contexto, existem diferentes protocolos de treinamento com o objetivo de melhorar o desempenho aeróbio (15). Um tipo de treinamento que tem demonstrado sucesso em relação às adaptações aeróbias é o protocolo descontínuo, que utilizando intensidades de treinamento próximas do limiar anaeróbio (LA) pode promover melhoras significativas na ressíntese oxidativa da adenosina trifosfato (ATP) (16,17). Além disso, este tipo de protocolo pode ser utilizado para avaliação em intensidades submáximas, sendo útil para profissionais da saúde não médicos, uma vez que não produzem estresse máximo, minimizando possíveis riscos de eventos cardiovasculares. Portanto, o protocolo descontínuo pode ser uma alternativa para a prescrição de atividade física em indivíduos saudáveis e portadores de patologias (18,19).

Tendo em vista as modificações sistêmicas que ocorrem com o processo de envelhecimento e a importância de melhor compreender os ajustes metabólicos e do sistema cardiovascular durante a transição repouso-exercício e exercício-recuperação nesta população, o objetivo do presente estudo foi testar a hipótese de que os indivíduos idosos apresentam comprometimento na cinética da FC e do VO_2 tanto na fase *on* como na fase *off* do exercício descontínuo em cicloergômetro, e que há influência da intensidade de esforço (leve e moderada) nos parâmetros cinéticos destas variáveis.

METODOLOGIA

Desenho do estudo e população

Este foi um estudo prospectivo, transversal, e controlado envolvendo 28 homens separados em dois grupos: 1) 14 jovens aparentemente saudáveis com idade entre 20 e 30 anos (grupo de jovens - GJ) e, 2) 14 homens idosos aparentemente saudáveis com idade entre 60 e 80 anos (grupo de idosos - GI). Além disso todos os participantes foram considerados com boa saúde baseado nos exames clínicos, físicos e laboratoriais. Foram excluídos indivíduos que apresentassem dores musculares e/ou articulares, portadores de doenças cardiopulmonares, doenças metabólicas, neurológicas, ou que apresentassem dificuldades em entender ou realizar o protocolo de exercícios proposto neste estudo. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento (Anexo B) e o protocolo do estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas da Universidade Federal de São Carlos (Anexo C).

Procedimentos experimentais

Procedimentos gerais e orientações: Todos os indivíduos foram avaliados no mesmo período do dia para evitar respostas diferentes das variáveis fisiológicas devido às mudanças circadianas. Os experimentos foram realizados numa sala climatizada com temperatura entre 22 e 24 °C e umidade relativa do ar entre 50 e 60%, sendo as avaliações realizadas com um intervalo de sete dias. Cada sujeito foi orientado a não ingerir bebidas estimulantes como cafeína, álcool ou outros na noite anterior e no dia dos testes; a não realizar exercícios moderados ou intensos no dia anterior à aplicação dos protocolos; evitar refeições copiosas e fazer uma refeição leve pelo menos duas horas antes dos testes. Os indivíduos foram familiarizados com a sala de

experimento, com os procedimentos e os equipamentos a serem utilizados. Antes de iniciar o teste em cada dia de avaliação, os indivíduos foram entrevistados e examinados para confirmar seu estado de boa saúde e se tinham dormido apropriadamente na noite anterior. Os voluntários foram orientados a não falar desnecessariamente durante as avaliações para evitar interferências na captura do sinal eletrocardiográfico e a comunicar qualquer alteração no seu estado geral antes, durante ou após a aplicação dos protocolos.

Avaliação antropométrica: Altura e massa corporal foram medidas com os voluntários descalços e trajando roupas leves, sendo utilizada uma balança com estadiômetro (Welmy R-110, Santa Barbara do Oeste, São Paulo, Brasil). O índice de massa corporal (IMC) foi calculado dividindo o peso em quilogramas pela altura em metros ao quadrado (kg/m^2).

Teste de esforço incremental: Previamente, os voluntários foram avaliados por um médico e esse exame foi composto por uma avaliação clínica global, anamnese, registro do eletrocardiograma (ECG) de 12 derivações em repouso (Wincardio Sistema, Micromed, Brasília, Brasil), e pelo teste de esforço incremental sintoma-limitado em cicloergômetro. Este teste de exercício foi realizado para assegurar uma resposta fisiológica normal ao esforço e para determinar a potência máxima (PM) no cicloergômetro para posteriormente aplicar o teste de exercício descontínuo. O protocolo foi realizado em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Quinton Corival 400, Groninger, Holanda), com análise dos gases expirados respiração a respiração utilizando-se uma máscara facial e um analisador de gases portátil (Oxycon Mobile, Viasys Healthcare, Hoechberg, Alemanha) (Figura 1). O protocolo de exercício consistiu em: a) 1 min de repouso, b) 4 min com 4W a 60 rpm, c) fase incremental com 15 a 30 W/min (protocolo de rampa), e d) 4 min de recuperação. Durante a fase incremental, a potência (em Watts) foi progressivamente aumentada de modo que a duração desta fase do teste fosse

entre 8 e 12 min (20). Os sujeitos foram ativamente encorajados pelos investigadores a pedalem até o limite de tolerância mantendo um taxa de 60 rpm (20).

Os voluntários foram monitorados constantemente por meio do ECG de 12 derivações simultâneas e os intervalos R-R (iR-R) foram gravados por um cardiofrequencímetro (Polar S810i, Kempele, Oulu, Finlândia). A pressão arterial (PA) foi medida a cada 3 min da fase incremental do protocolo utilizando o método auscultatório (esfigmomanômetro Missouri, Embu, São Paulo, Brasil) e os sintomas de esforço foram avaliados pela escala modificada de Borg CR-10 (21). Os critérios de interrupção do teste foram: pressão arterial sistólica (PAS) >220 mmHg, atingir a FC máxima prevista pela idade ($220 - \text{idade}$), presença de platô nas respostas de VO_2 mesmo com o aumento da carga de trabalho (VO_2 máximo), taxa de troca respiratória (RER) > 1,2 aparecimento de arritmias cardíacas importantes ou alterações eletrocardiográficas significativas, incapacidade de manter a velocidade de pedalada em torno de 60 rpm e sinais e sintomas limitantes ao esforço.

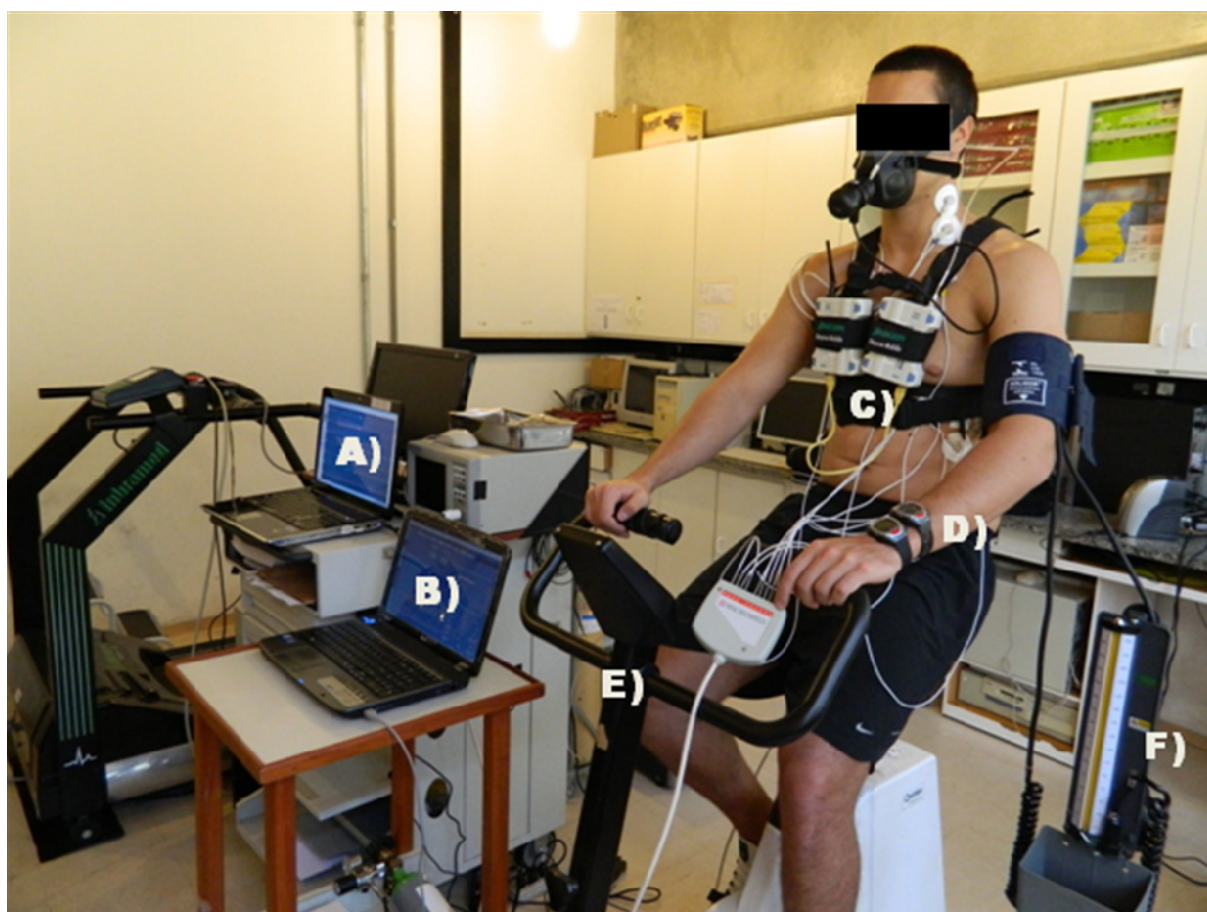


Figura 1. Ilustração dos equipamentos e do posicionamento do voluntário no cicloergômetro para realização do teste de esforço incremental (tipo rampa). A) tela de visualização do sinal eletrocardiográfico de 12 derivações; B) tela de visualização da variáveis ventilatórias e metabólicas obtidas pelo sistema de telemetria; C) módulos portáteis do ergoespirômetro; D) cardiofrequencímetro; E) cicloergômetro de frenagem eletromagnética; F) esfigmomanômetro.

Teste de exercício descontínuo: Inicialmente, os indivíduos permaneceram em repouso no equipamento durante 5 min, e após esse período o protocolo de exercício descontínuo foi iniciado em 10% da PM obtida durante o protocolo incremental, com aumentos subsequentes de 10%. Cada fase durou 3 min e os sujeitos foram instruídos a manter uma velocidade de pedalagem de 60 rpm durante o teste e a reportar a presença de quaisquer sintomas que impediria a continuação do teste (tontura, mal-estar, fadiga, etc). O nível de esforço percebido (relacionado ao cansaço e dor nos membros inferiores) foi obtido usando a escala modificada de Borg CR-10 (21), e a PA foi mensurada pelo método auscultatório; ambas as medidas foram determinadas no final de cada fase. Além disso, os indivíduos foram monitorizados por meio do ECG de 12 derivações simultâneas e os iR-R foram gravados por um cardiófrequencímetro durante todo o período do teste.

O período de recuperação entre as mudanças de carga foi de 5 min ou até que variáveis de PA e FC retornassem aos valores basais. Os critérios para interrupção do teste foram: incapacidade do voluntário em realizar o movimento dentro da mecânica estabelecida, aumento acentuado da PAS (maior que 200 mmHg), FC submáxima (85% da FC máxima), aparecimento de alterações eletrocardiográficas e/ou incapacidade de manter a taxa de pedalada em torno de 60 rpm.

Amostras de sangue foram colhidas antes do primeiro esforço (após o período inicial de 5 min de repouso no equipamento) e imediatamente após o final de cada carga de esforço. A coleta foi realizada por meio da punção do lóbulo da orelha utilizando lancetas adequadas para o procedimento após higienização da área com álcool (Figura 2). As amostras foram analisadas por

um analisador de lactato sanguíneo (Yellow Springs Instruments - YSI 1500 Analyzer Sports Lactato, Ohio, Estados Unidos da América), o qual foi calibrado de acordo com as instruções do fabricante.



Figura 2. Ilustração da coleta de amostras de sangue no lobo da orelha para a dosagem do lactato sanguíneo.

Análises dos dados

Para a análise das variáveis cinéticas nas intensidades leve e moderada, o LA foi determinado durante o protocolo descontínuo por meio da análise da lactacidemia (limiar de lactato - LL)

Limiar de lactato: Para determinar o LL, as curvas de lactato sanguíneo foram geradas para cada sujeito e dois investigadores independentes analisaram as curvas. O LL foi definido como a intensidade na qual o lactato sanguíneo aumentou exponencialmente (ponto de inflexão da curva) (22-25).

Definição das intensidades: Baseado na carga correspondente ao LL para cada voluntário, a intensidade de esforço denominada leve e moderada foi definida como a intensidade inferior a do LL (menos 10% da PM) e como a intensidade superior a do LL (mais 10% da PM), respectivamente.

Análises da cinética: Os dados de FC e VO₂ obtidos durante o teste de exercício descontínuo foram adicionados no software SigmaPlot 10.0 para a análise, sendo eliminados os ruídos. Os modelos utilizados para fitar a resposta cinética na transição repouso-exercício (60s da condição de repouso pré-esforço + 180s de exercício) e na transição exercício-recuperação (60s de exercício + 180s da condição de repouso pós-esforço) foram, respectivamente:

$$\textit{Transição on: } Y_{(t)} = Y_{(LB)} + A (1 - e^{-(t-TA)/\tau})$$

$$\textit{Transição off: } Y_{(t)} = (A \cdot e^{-(t-TA)/\tau}) + Y_{(LB)}$$

Onde Y representa a variável FC ou VO_2 em função do tempo (t); Y (LB) é o valor da linha de base da variável; A é a amplitude; TA é o tempo de atraso, e τ é a constante de tempo da resposta exponencial de interesse, isto é, o tempo necessário para atingir 63% da resposta do estado estável. A e LB descrevem os parâmetros relacionados com o principal componente do eixo Y (FC ou VO_2), o TA e τ descrevem os parâmetros relacionados ao eixo X (tempo) (26). Para a análise do VO_2 , foram suprimidos os dados relativos aos primeiros 20s após o início do exercício, ou seja, a fase cardiodinâmica (27). O tempo de resposta média (TRM) da cinética da FC e do VO_2 foi determinado através da somatória do τ com o TA . Para determinar os parâmetros do melhor ajuste da curva, um algoritmo não linear dos mínimos quadrados foi usado, que adota a minimização da soma dos erros quadrados como critério de convergência (28).

Análise estatística

Baseado nos valores da constante de tempo do VO_2 do grupo controle de um estudo prévio (27), foi estimado o tamanho amostral para o estudo atual, usando o software GraphPad StatMate (versão 1.01). Para haver um poder estatístico amostral de 80% de chance em detectar diferenças significativas ($\alpha = 0,05$) na constante de tempo, o cálculo amostral sugeriu o recrutamento de 8 indivíduos em cada grupo. A distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e quando verificada a distribuição normal dos dados estes foram expressos em média e desvio padrão. O teste- t de Student não pareado foi utilizado para comparar as variáveis antropométricas entre GJ e GI, tal como as variáveis de repouso e pico entre os grupos do teste de esforço incremental. Já o teste- t de Student pareado foi utilizado para comparar as variáveis intragrupo nas condições de repouso e pico obtidas durante o teste de esforço incremental. A

análise de variância (ANOVA) de 2 fatores para medidas repetidas foi utilizada para comparar as respostas de lactacidemia considerando os efeitos do grupo (GJ vs GI), da intensidade (repouso e percentuais da PM) e a interação entre estes para o protocolo de exercício descontínuo. Os efeitos do grupo (GJ vs GI), da intensidade (acima vs abaixo do LA) e a interação entre eles (grupo vs intensidade) foi empregado nas comparações das variáveis da cinética *on* e *off* tanto da FC como do VO₂. Quando apropriado, foi aplicado o *post-hoc* de Tukey-Kramer para identificar as diferenças. A probabilidade de ocorrência de erro Tipo 1 foi estabelecido em 5% para todos os testes ($\alpha = 0,05$). Os dados foram analisados utilizando o programa estatístico SPSS 13.0 (SPSS, Chicago, Illinois, Estados Unidos da América).

RESULTADOS

Fluxograma dos participantes e características antropométricas

Dos 39 voluntários recrutados neste estudo (19 jovens e 20 idosos), 11 foram excluídos (5 do GJ e 6 do GI) sendo: 6 indivíduos devido à dores musculares ou articulares (2 do GJ e 4 do GI), 4 recusaram-se a continuar no estudo (2 do GJ e 2 do GI) e 1 jovem foi excluído devido à limitações técnicas. Finalmente, 28 voluntários foram avaliados e designados em cada grupo etário: GJ (14 jovens) ou GI (14 idosos). As características antropométricas para ambos os grupos estão apresentadas na Tabela 1. O GI apresentou menor altura e massa corporal que o GJ, no entanto, o IMC foi similar entre os grupos, sendo que os sujeitos em ambos os grupos tinham o IMC entre 18,5 e 29,9 Kg/m², sendo classificados como eutróficos ou sobrepeso de acordo com os critérios da Organização Mundial da Saúde (29).

Tabela 1. Idade e características antropométricas dos voluntários.

	GJ (n=14)	GI (n=14)
Idade (anos)	23 ± 3	70 ± 4*
Altura (m)	1,80 ± 0,08	1,67 ± 0,04*
Massa corporal (kg)	80 ± 10	74 ± 6*
IMC (kg/m ²)	25 ± 3	26 ± 2

Dados apresentados como média ± DP. GJ = grupo de jovens; GI = grupo de idosos; IMC = índice de massa corporal. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (teste-*t* não pareado).

Variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas do teste de esforço incremental

Com relação às variáveis cardiovasculares durante o teste de esforço incremental, observamos que somente a pressão arterial diastólica (PAD) não aumentou significativamente do repouso para o esforço máximo. No entanto, a comparação entre os grupos mostraram uma maior FC máxima no GJ quando comparado com o GI, bem como, em relação à PM atingida no cicloergômetro durante o pico do esforço (Tabela 2). As variáveis ventilatórias e metabólicas aumentaram significativamente da condição de repouso para o pico do exercício; e com exceção da frequência respiratória (FR), todos os valores foram maiores no GJ em comparação ao GI (Tabela 2).

Tabela 2. Variáveis cardiovasculares, ventilatórias e metabólicas obtidas no repouso e no pico do teste de esforço incremental dos voluntários.

Variáveis	GJ (n=14)		GI (n=14)	
	Repouso	Pico	Repouso	Pico
Potência Máxima (W)	-	242 ± 57	-	152 ± 27 [*]
<i>Cardiovasculares</i>				
PAS (mmHg)	126 ± 8	179 ± 22 [†]	130 ± 11	176 ± 30 [†]
PAD (mmHg)	81 ± 7	83 ± 16	86 ± 7	89 ± 9
FC (bpm)	87 ± 12	169 ± 25 [†]	85 ± 13	138 ± 25 ^{†*}
<i>Ventilatórias e Metabólicas</i>				
FR (rpm)	19 ± 9	38 ± 9 [†]	20 ± 8	34 ± 7 [†]
V _C (L)	681 ± 285	2270 ± 563 [†]	802 ± 330	2116 ± 600 ^{†*}
V _E (L.min ⁻¹)	12 ± 4	103 ± 27 [†]	15 ± 5	70 ± 14 ^{†*}
VO ₂ (mL.kg.min ⁻¹)	4 ± 2	36 ± 5 [†]	5 ± 2	24 ± 5 ^{†*}
VO ₂ (mL.min ⁻¹)	337 ± 124	2852 ± 462 [†]	350 ± 115	1757 ± 389 ^{†*}
VCO ₂ (mL.min ⁻¹)	309 ± 97	3568 ± 616 [†]	321 ± 98	2191 ± 415 ^{†*}

Dados apresentados como média ± DP. GJ = grupo de jovens; GI = grupo de idosos; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; FR = frequência respiratória; V_C = volume corrente; V_E = ventilação minuto; VO₂ = consumo de oxigênio; VCO₂ = produção de dióxido de carbono. [†]Diferença significativa (p<0,05) entre as condições de repouso e pico (teste-*t* pareado). ^{*}Diferença significativa (p<0,05) entre os grupos (teste-*t* não pareado).

Teste de exercício descontínuo

Todos os indivíduos atingiram pelo menos 50% da PM durante o teste de exercício descontínuo, que foi a intensidade máxima para 1 voluntário (do GI), 60% da PM foi a intensidade máxima para 15 voluntários (5 do GJ e 10 do GI), 70% da PM foi a intensidade máxima para 10 voluntários (8 do GJ e 2 do GI), e apenas 2 indivíduos atingiram 80% da PM (1 do GJ e 1 do GI).

Comportamento da lactacidemia durante o teste descontínuo e determinação do LL: O ponto de mudança metabólica determinada pelo lactato sanguíneo (LL) foi determinado para cada voluntário, e o valor médio relativo do LL foi de $30 \pm 7\%$ da PM no GJ e de $29 \pm 5\%$ da PM no GI (indicado pela seta na Figura 3). A Figura 3 ilustra o comportamento do lactato sanguíneo com o incremento em percentual da PM, sendo observada a interação entre os efeitos grupo e intensidade, ou seja, aumento significativo da lactacidemia a partir de 40% da PM em relação às condições de repouso (R), 10% e 20% da PM em ambos os grupos, no entanto, não houve diferença entre o GJ e o GI.

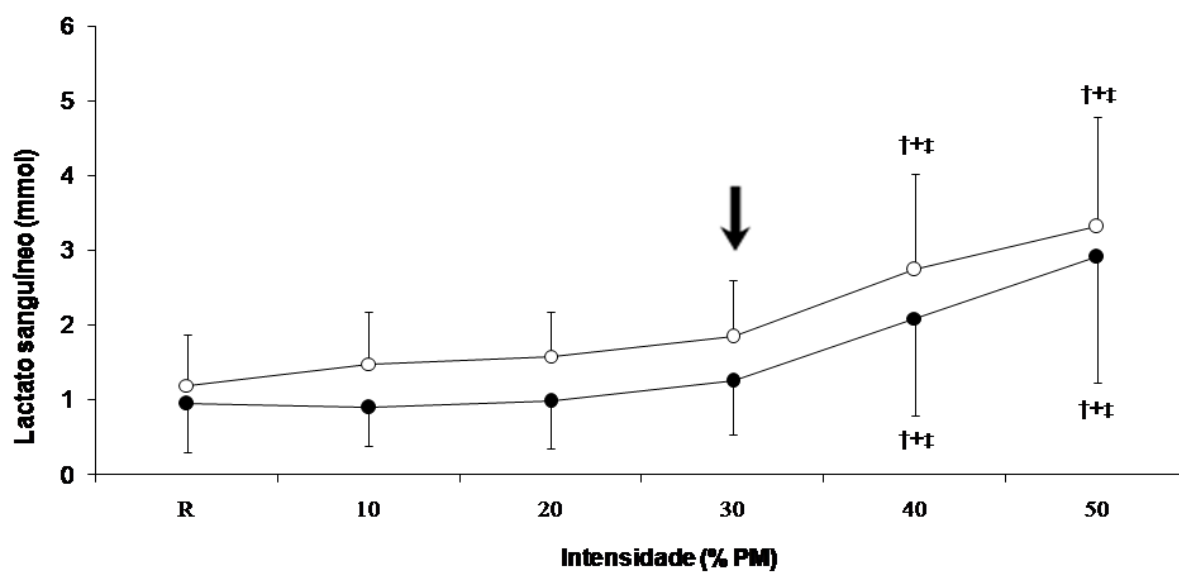


Figura 3. Comportamento do lactato sanguíneo em percentual da potência máxima (PM) durante o teste de exercício descontínuo (média \pm DP). R = repouso no equipamento; grupo de jovens (●); grupo de idosos (○). A seta indica o valor médio do limiar de lactacidemia. †Diferença significativa ($p < 0,05$) em relação ao R; †Diferença significativa ($p < 0,05$) em relação a 10%, †Diferença significativa ($p < 0,05$) em relação a 20% (ANOVA 2 fatores para medidas repetidas).

Respostas da cinética da FC e do VO₂: A Figura 4 ilustra as respostas cinéticas da FC e do VO₂ para o GJ e GI tanto durante a transição repouso-exercício (fase *on*) como durante a transição exercício-recuperação (fase *off*). Foi observado que o GI apresentou maiores valores do τ , TA e TRM em relação ao GJ nas fases *on* e *off* da cinética da FC (Figura 4 A, C e E) e do VO₂ (Figura 4 B, D e F), durante as duas intensidades aplicadas (abaixo e acima do LA). Além disso, o GJ apresentou maiores valores do τ e do TRM da cinética da FC e do VO₂ na carga acima do LA, tanto na transição *on* como *off* do exercício (Figura 4 A, B, E e F). Já os idosos apresentaram maiores valores de TA e TRM apenas para o VO₂ durante a cinética *on* (Figura 4 D e F).

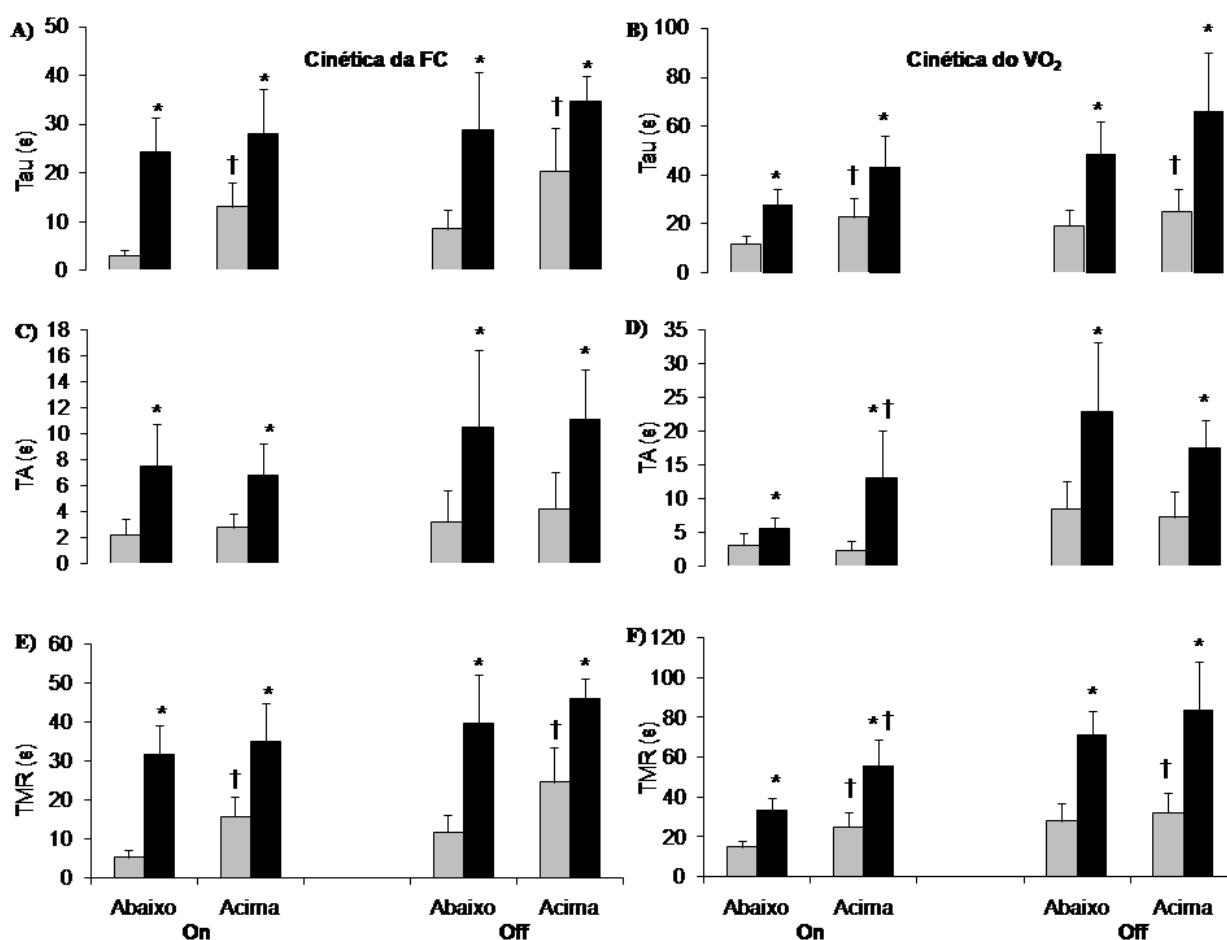


Figura 4. Variáveis da cinética *on* e *off* da frequência cardíaca (FC) e do consumo de oxigênio (VO₂) nas intensidades abaixo e acima do limiar de lactato do grupo de jovens (□) e idosos (■). Tau = constante de tempo; TA = tempo de atraso; TRM = tempo de resposta média. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos. †Diferença significativa ($p < 0,05$) entre as intensidades abaixo e acima do limiar de lactato (ANOVA 2 fatores para medidas repetidas).

DISCUSSÃO

Principais achados do estudo: (a) a cinética on e off da FC e do VO_2 foi mais lenta nos voluntários idosos quando comparada aos voluntários jovens durante o exercício de intensidade leve e moderada em cicloergômetro; (b) somente nos jovens, a cinética da FC e do VO_2 foi mais lenta na intensidade moderada em comparação com a intensidade leve; (c) os valores de lactato sanguíneo permaneceram relativamente estáveis até a intensidade de 30% da PM e aumentaram significativamente após esse percentual em ambos os grupos (GJ e GI).

Variáveis do teste de esforço incremental: Conforme esperado, o GI apresentou valores mais baixos de PM e de FC pico, bem como das variáveis ventilatórias e metabólicas quando comparadas ao GJ, fato que pode se explicado pelas conhecidas alterações musculares e cardiorrespiratórias causadas pelo envelhecimento (8,12), que são determinantes da interrupção precoce do exercício em comparação com sujeitos jovens (Tabela 2).

Respostas do lactato sanguíneo e do limiar de lactato durante o exercício descontínuo: O ponto de mudança metabólica determinado pelo lactato sanguíneo foi muito próximo entre os grupos, ou seja, o comportamento desta variável com o aumento das cargas ficou praticamente estável até 30% da PM em ambos os grupos, com aumento acentuado em seguida (Figura 3). Estes resultados indicam que após essa carga de trabalho (30% da PM) há uma predominância do metabolismo anaeróbio em relação ao metabolismo aeróbio, isto é, o lactato é produzido mais rapidamente do que ele pode ser removido (30,31).

Este aumento da produção de lactato sanguíneo após 30% da PM observado no protocolo descontínuo pode estar associado com o maior recrutamento de unidades motoras e com o tipo de fibras recrutadas. Com o aumento da intensidade no cicloergômetro, há inicialmente um recrutamento de fibras oxidativas, mas devido à possível exaustão do metabolismo aeróbio, uma

maior percentagem de fibras do tipo IIx (glicolítica) são recrutadas na tentativa de suprir as necessidades energéticas, resultando em aumento da glicogenólise e da produção de lactato (32,33). Outro fator que possivelmente pode influenciar o controle da produção de lactato é a estimulação beta-adrenérgica dos músculos ativos, conforme estudos prévios que mostraram uma correlação positiva entre a concentração de catecolaminas e lactato sanguíneo. Considerando que as catecolaminas estimulam a glicólise e glicogenólise, o aumento da atividade simpática é um mecanismo primário gerador da aceleração da glicólise, aumentando desta forma o lactato sanguíneo durante um esforço incremental (32,34).

Respostas da cinética da FC e do VO_2 e diferenças entre as intensidades: Os valores mais elevados de τ , TA e TRM no GI em relação ao GJ, tanto na transição repouso-exercício bem como na transição exercício-recuperação em intensidades abaixo e acima do LL (intensidades leve e moderada), demonstraram resposta lentificada da cinética da FC e do VO_2 com o envelhecimento (Figura 4). A fase de transição do repouso para o exercício dinâmico resulta em incrementos adaptativos da frequência e da contratilidade cardíaca para atender a demanda energética imposta pela musculatura ativa (3,12). A resposta da transição *on* durante o exercício dinâmico segue um padrão bem definido, que é essencialmente modulado pelo sistema nervoso autônomo (35), com a retirada vagal e um concomitante aumento da modulação autonômica simpática (1,2), resultando em uma cardioaceleração com a finalidade de aumentar o fluxo sanguíneo periférico e suprir a demanda energética do tecido muscular envolvido na tarefa (35,36).

Neste sentido, a resposta mais lenta da FC na transição *on* observada nos exercícios de intensidades leve e moderada no GI pode indicar diminuição da modulação vagal com o envelhecimento. Neste contexto, nossos resultados concordam com aqueles de outros estudos (7-

9) que demonstraram alterações na modulação autonômica cardíaca na população idosa por meio da análise de variabilidade da frequência cardíaca (VFC). Estes autores (7-9) relataram uma redução significativa da VFC com o envelhecimento, sendo esta redução atribuída principalmente à diminuição da modulação parassimpática. A resposta mais lenta da FC na transição exercício-recuperação encontrada em nossos resultados (Figura 4) é também outro importante fator observado em indivíduos idosos, uma vez que representa uma lenta reativação da modulação vagal no final do exercício, seguido por uma lenta redução da modulação simpática (8), reforçando o comprometimento da modulação autonômica cardíaca em idosos.

A resposta mais lenta do VO_2 durante a transição *on* e *off* observada nas intensidades leve e moderada no GI (Figura 4) está possivelmente ligada a fatores relacionados ao adequado fornecimento de O_2 e a atenuada resposta da cinética do VO_2 , um achado consistente com outros estudos anteriores que avaliaram a cinética do VO_2 em idosos (37-40). No entanto, a resposta atenuada da FC é um dos fatores que pode explicar a lentificação na resposta do VO_2 no GI, pois o envelhecimento provoca uma diminuição da aptidão cardiorrespiratória e atenua a resposta neuromuscular ao exercício (11). Neste sentido, nos idosos, diferentemente do que ocorre nos indivíduos jovens, a diminuição do débito cardíaco, da capacidade vascular e do fluxo sanguíneo para os músculos ativos, associados ao declínio da capacidade oxidativa muscular e à redução da diferença arteriovenosa de O_2 , entre outros fatores, diminui a eficácia de utilização do O_2 , explicando as diferenças dos resultados observados entre esses neste estudo (10).

Quanto aos maiores valores de τ e do TRM da cinética da FC e do VO_2 na carga acima do LA no GJ, tanto na transição *on* como *off* do exercício (Figura 4), nossos resultados mostraram que na intensidade moderada a velocidade das respostas destas variáveis é mais lenta quando comparada com a intensidade leve. Os maiores valores de τ na intensidade moderada podem ser

devidos ao componente lento normalmente presente neste nível de esforço, sendo que o estado estável é atingido mais lentamente, deslocando a constante de tempo para direita (5). Estudos prévios (6,41) sugeriram que em baixas intensidades de esforço, o incremento do débito cardíaco se deve ao aumento do volume sistólico e da FC; já em intensidades mais altas, este incremento do débito é mais dependente da FC, com menor contribuição do volume sistólico, proporcionando aumento mais lento do débito cardíaco, o que pode resultar em resposta cinética lentificada. Quanto aos idosos, houve aumento apenas do TA e TRM na cinética *on* do VO_2 na intensidade moderada em relação à leve, respostas essas que isoladamente não podem ser explicadas. No entanto, é possível que os fatores anteriormente descritos relacionados às alterações cardíacas e metabólicas sejam responsáveis por uma atenuação já acentuada destas respostas na intensidade mais leve, não apresentando maiores diferenças em relação à intensidade moderada nesta população.

Limitações e aplicações práticas: Algumas limitações devem ser consideradas neste estudo, como o tempo de execução de cada intensidade no protocolo descontínuo. Cada percentual da PM foi aplicada com duração de 180s, que é um período relativamente curto para análise do comportamento cinético das variáveis. No entanto, tempo semelhante tem sido proposto na literatura para análise da cinética do VO_2 e FC com achados consistentes (27). Além disso, não foi removida a fase I na análise da cinética da FC (fase cardiodinâmica) o que pode ter resultado em valores mais rápidos da constante de tempo, no entanto, a análise sem a exclusão deste período permite considerar as influências da retirada e retomada vagal rápida nas transições repouso-exercício-recuperação, o que torna interessante a comparação destas respostas entre jovens e idosos.

O protocolo descontínuo no cicloergômetro aplicado neste estudo foi adequado para análise do comportamento do lactato sanguíneo e, portanto, para a determinação do LL, além de ter se mostrado vantajoso na análise da cinética da FC e do VO_2 (28,42,43) durante a transição *on* e *off* do exercício. Neste contexto, destaca-se a importância da análise da cinética como uma ferramenta auxiliar na avaliação da *performance* e da integridade geral dos sistemas, dada a sua capacidade de refletir as respostas da modulação autonômica cardíaca e do metabolismo muscular. Outro importante fator metodológico do estudo foi a escolha de intensidades próximas do LL para a análise do comportamento cinético, que são intensidades amplamente utilizadas na prescrição de exercício dinâmico com o objetivo de melhorar o desempenho aeróbio de indivíduos idosos.

É necessário enfatizar que a prática de exercícios aeróbios tem grande relevância nas respostas metabólicas sistêmicas e, conseqüentemente, na cinética da FC e do VO_2 . Muitos estudos relataram melhora dessas variáveis cinéticas com o treinamento aeróbio em diferentes populações, como transplantados (44,45), obesos mórbidos (46) e indivíduos não treinados (47). A melhora da cinética da FC e do VO_2 com o treinamento aeróbio está possivelmente ligada às importantes alterações sistêmicas, como o aumento da contratilidade miocárdica, do volume sistólico e do débito cardíaco, além das adaptações musculares já amplamente conhecidas, como a melhora da *endurance* e da força muscular periférica (48), o aumento do fluxo sanguíneo, da densidade capilar e mitocondrial, do suprimento de O_2 e da atividade das enzimas oxidativas musculares (5,48).

CONCLUSÃO

Em conclusão, nossos dados demonstraram que os idosos, relativamente ao jovens, apresentaram respostas mais lentas da cinética da FC e do VO₂, tanto na transição *on* como *off* do exercício dinâmico no cicloergômetro. Já nos jovens, as respostas foram mais lentas na intensidade moderada que na intensidade leve do esforço. Adicionalmente, o protocolo descontínuo aplicado no presente estudo possibilitou avaliar o LL e a cinética do VO₂ e da FC, sendo esses parâmetros úteis na prescrição do exercício em protocolos descontínuos, bem como possíveis indicadores dos efeitos de treinamento físico usualmente utilizado na população idosa.

Agradecimento

Este estudo recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processos: 2009/51976-2 e 2009/01842-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, Padilla J, Cunningham DA (2001) A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Exp Physiol* 86:667-676.
2. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K (2003) On- and off-responses of heart rate to exercise: relations to heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging* 23:1-8.
3. Sietsema KE, Daly JA, Wasserman K (1989) Early dynamics of O₂ uptake and heart rate as affected by exercise work rate. *J Appl Physiol* 67:2535-2541.

4. Bearden S, Moffatt, RJ (2001) VO_2 and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. *J Appl Physiol* 90:2081-2087.
5. Koppo K, Bouckaert J, Jones AM (2004) Effects of training status and exercise intensity on phase II VO_2 kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 36:225-232.
6. Lepretre PM, Koralsztein JP, Billat VL (2004) Effect of exercise intensity on relationship between VO_2max and cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 36:1357-1363.
7. Melo RC, Santos MDB, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, et al (2005) Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. *Braz J Med Biol Res* 38:1331-1338.
8. Vandeput S, Verheyden B, Aubert AE, Van Huffel S (2008) Nonlinear heart rate variability in a healthy population: influence of age. *Comput Cardiol* 35:53–56.
9. Takahashi AC, Porta A, Melo RC, Quitério RJ, Silva E, Borghi-Silva A, et al (2012) Aging reduces complexity of heart rate variability assessed by conditional entropy and symbolic analysis. *Intern Emerg Med* 7:229-235.
10. Neder JA, Jones PW, Nery LE, Whipp BJ (2000) The effect of age on the power/duration relationship and the intensity-domain limits in sedentary men. *Eur J Appl Physiol* 82:326-332.
11. Xu F, Rhodes EC (1999) Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med* 27:313-327.
12. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, et al (2003) Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 95:1851–1860.
13. Deley G, Picard G, Taylor JA (2009) Arterial baroreflex control of cardiac vagal outflow in older individuals can be enhanced by aerobic exercise training. *Hypertension* 53:826-832.

14. Albinet CT, Boucard G, Bouquet CA, Audiffren M (2010) Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *Eur J Appl Physiol* 109:617-624.
15. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al (2008) Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 295:R264-272.
16. Demarie S, Koralsztein JP, Billat V (2000) Time limit and time at VO_2 max during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* 40:96-102.
17. Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, et al (2000) Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol* 89:1793-1803.
18. Pichot V, Roche F, Denis C, Garet M, Duverney D, Costes F, et al (2005) Interval training in elderly men increases both heart rate variability and baroreflex activity. *Clin Auton Res* 15:107-115.
19. Wisloff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognum O, Haram PM, et al (2007) Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 115:3086-3094.
20. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ (1983) Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 55:1558-1564.
21. Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14:377-381.
22. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.

23. Moreira SR, Arsa G, Oliveira HB, Lima LCJ, Campbell CSG, Simões HG (2008) Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. *J Strength Cond Res* 22:1108–1115.
24. Simões RP, Mendes RG, Castello V, Machado HG, Almeida LB, Baldissera V (2010) Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *J Strength Cond Res* 24:1313-1320.
25. De Sousa NM, Magosso RF, Pereira GB, Leite RD, Arakelian VM, Montagnolli AN, et al (2011) The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. *Clin Physiol Funct Imaging* 31:376-381.
26. Motulsky HJ, Ransnas LA (1987) Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *FASEB J* 1:365-374.
27. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, Carrascosa C, Oliveira CC, Maia J, et al (2008) Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J App Physiol* 104:1341-1350.
28. Engelen M, Porszasz J, Riley M, Wasserman K, Maehara K, Barstow TJ (1996) Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* 81:2500-2508.
29. World Health Organization (2000) Obesity: Preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 894:1-253.
30. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ (1990) Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 8:II14-30.

31. Simões HG, Campbell CS, Kushnick MR, Nakamura A, Katsanos CS, Baldissera V, et al (2003) Blood glucose threshold and the metabolic responses to incremental exercise tests with and without prior lactic acidosis induction. *Eur J Appl Physiol* 89:603-611.
32. Brooks GA (1991) Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc* 23:895-906.
33. Myers J, Ashley E (1997) Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest* 111:787–795.
34. Mazzeo RS, Marshall P (1989) Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol* 67:1319-1322.
35. Rowell LB, O’Leary DS (1990) Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 69:407-418.
36. Aubert AE, Seps B, Beckers F (2003) Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33:889-919.
37. Behnke BJ, Delp MD, Dougherty PJ, Musch TI, Poole DC (2005) Effects of aging on microvascular oxygen pressures in rat skeletal muscle. *Respir Physiol Neurobiol* 146:259–268.
38. DeLorey DS, Kowalchuk JM, Paterson DH (2004) Effects of prior heavy intensity exercise on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in young and older adult humans. *J Appl Physiol* 97:998–1005.
39. DeLorey DS, Kowalchuk JM, Paterson DH (2005) Adaptation of pulmonary O₂ uptake kinetics and muscle deoxygenation at the onset of heavy intensity exercise in young and older adults. *J Appl Physiol* 98:1697–1704.
40. Hughson RL, Tschakovsky ME, Houston ME (2001) Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 29:129–133.

41. Davies CT, Di Prampero PE, Cerretelli P (1972) Kinetics of cardiac output and respiratory gas exchange during exercise and recovery. *J Appl Physiol* 32:618-625
42. Ferreira LF, Lutjemeier BJ, Townsend DK, Barstow TJ (2005) Dynamics of skeletal muscle oxygenation during sequential bouts of moderate exercise. *Exp Physiol* 90:393-401.
43. Paterson DH, Whipp BJ (1991) Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *J Physiol* 443:575-586.
44. Tomczak CR, Warburton DE, Riess KJ, Jendzjowsky NG, Esch BT, Liang Y, et al (2008) Pulmonary oxygen uptake and heart rate kinetics during the six-minute walk test in transplant recipients. *Transplantation* 85:29-35.
45. Zoll J, N'Guessan B, Ribera F, Lampert E, Fortin D, Veksler V, et al (2003) Preserved response of mitochondrial function to short-term endurance training in skeletal muscle of heart transplant recipients. *J Am Coll Cardiol* 42:126-132.
46. Castello-Simões V, Simões RP, Beltrame T, Bassi D, Catai AM, Ross A, et al (2012) Effects of aerobic exercise training on variability and heart rate kinetic during submaximal exercise after gastric bypass surgery - a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* (Epub ahead of print).
47. Berger NJ, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM (2006) Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 38:504-512.
48. Beere PA, Russell SD, Morey MC, Kitzman DW, Higginbotham MB (1999) Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation* 100:1085-1094.

3. ESTUDO II

Análise do limiar de lactato e limiar da variabilidade da frequência cardíaca durante o exercício resistido progressivo em homens jovens e idosos saudáveis

Analysis of lactate and heart rate variability threshold during the progressive resistance exercise in healthy young and elderly men

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram investigar o comportamento das respostas da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) durante um protocolo de exercício resistido (ER) descontínuo e verificar se estas são concordantes com as respostas de lactacidemia na determinação do limiar anaeróbio (LA) em jovens e idosos aparentemente saudáveis. Foram avaliados 14 jovens (23 ± 3 anos) e 14 idosos (70 ± 4 anos) aparentemente saudáveis do sexo masculino, sendo submetidos aos testes: 1) de uma repetição máxima (1RM) no *leg press* 45°, e 2) de ER descontínuo iniciado com 10% da 1RM com incrementos subsequentes de 10% da 1RM até a exaustão, sendo a frequência cardíaca e a lactacidemia obtidas no repouso e durante o exercício. A carga correspondente ao LA foi de aproximadamente 30% da 1RM em ambos os grupos, e a determinação do LA pela VFC foi concordante com as respostas de lactacidemia. Os índices da VFC diminuíram com o aumento das cargas e permaneceram relativamente estáveis a partir da carga correspondente ao LA em ambos os grupos, no entanto, os idosos apresentaram menores valores nas cargas abaixo do LA ($p<0,05$). Adicionalmente, a lactacidemia aumentou acentuadamente após a carga do LA em ambos os grupos, sendo que os idosos apresentaram menores valores ($p<0,05$). Conclui-se que a determinação do LA pela VFC concordou com as respostas da lactacidemia, sendo que o LA no ER situou em torno de 30% da 1RM. Adicionalmente, com o aumento das cargas durante o ER descontínuo, ocorreu uma gradual retirada vagal seguida pela ativação simpática, tanto nos jovens quanto nos idosos. No entanto, estas respostas mostraram-se atenuadas pelo processo de envelhecimento.

Palavras-chaves: Envelhecimento. Exercício resistido. Variabilidade da frequência cardíaca. Lactato sanguíneo.

INTRODUÇÃO

O exercício resistido (ER), quando apropriadamente prescrito, promove diversas mudanças favoráveis ao organismo humano, proporcionando benefícios aos sistemas muscular, cardiovascular e metabólico, sendo amplamente utilizado em diversas populações com propostas reabilitadoras e preventivas (1-4). Na população de idosos, este tipo de exercício tem ganhado grande importância nos últimos anos, já que estudos (5,6) mostraram que devido ao processo de envelhecimento há marcante perda de massa muscular, sendo esta mais acentuada após os 50 anos, com taxa de redução em torno de 12 a 14% por década, comprometendo a força muscular, a mobilidade, a capacidade funcional e conseqüentemente a qualidade de vida da população idosa (7-9).

No entanto, outro fator de grande relevância são as mudanças na modulação autonômica cardíaca associada ao envelhecimento (10), fundamentais para o controle dos ajustes posturais e durante o exercício físico nestes indivíduos. Por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), que é uma ferramenta muito utilizada na avaliação da modulação autonômica cardíaca (11-15), estudos têm demonstrado que com o aumento da idade ocorre diminuição desta variável na condição de repouso, sendo esta redução atribuída principalmente à reduzida modulação vagal cardíaca nesta população (16-18). Adicionalmente, a atividade física regular parece exercer papel modulador positivo nos idosos, aumentando a atividade vagal e conseqüentemente atenuando os efeitos do processo de envelhecimento (16).

Neste contexto, mudanças nas respostas do sistema autonômico cardíaco são esperadas na transição do repouso para o exercício, como ocorre durante a própria atividade física, sendo estas dependentes da intensidade e da duração do esforço (19-21). No entanto, alterações metabólicas

que ocorrem na musculatura em atividade parecem estar intimamente envolvidas nos ajustes cardiovasculares mediados pelo sistema autonômico cardíaco (22,23). Recentemente, mostramos em um estudo prévio com idosos saudáveis submetidos a um protocolo relativamente longo de ER descontínuo, que estas respostas integradas entre o metabolismo muscular e o controle autonômico cardíaco são mais marcantes na transição do metabolismo aeróbio para o anaeróbio (24), nomeado limiar de anaerobiose (LA), ou seja, o momento no qual o metabolismo aeróbio passa a ser suplementado pelo metabolismo anaeróbio para produção de energia (25,26).

Considerando que o LA é um importante parâmetro na prescrição individual da atividade física e que tem sido utilizado em várias condições clínicas (27-30), desconhecemos a existência de estudos que tenham analisado a integração das respostas do controle autonômico cardíaco e do metabolismo muscular comparando indivíduos jovens e idosos, especialmente aqueles utilizando protocolos mais curtos, semelhantes àqueles aplicados em programas de ER.

Portanto, baseando-se no pressuposto que os ajustes cardiovasculares e metabólicos estão intimamente relacionados durante o ER, e que o entendimento destes ajustes integrados em diferentes intensidades em jovens e idosos possibilitaria a sua aplicabilidade de forma mais segura e controlada, o objetivo deste estudo foi testar as hipóteses de que: 1) as respostas de VFC são concordantes com as respostas de lactacidemia na determinação do LA em protocolo de ER descontínuo, tanto em jovens quanto em idosos e 2) o processo de envelhecimento associasse à atenuadas respostas da VFC e da lactacidemia durante o ER descontínuo.

METODOLOGIA

Sujeitos

Este estudo envolveu 28 homens aparentemente saudáveis sendo separados em dois grupos: 1) 14 homens jovens com idade entre 20 e 30 anos (grupo de jovens - GJ) e, 2) 14 homens idosos com idade entre 60 e 80 anos (grupo de idosos - GI). Além disso, todos os sujeitos foram considerados saudáveis baseado nos exames clínico, físico e laboratoriais. Os critérios de exclusão foram: 1) presença de condições ortopédicas e/ou neurológicas que impedissem a participação em um protocolo de exercício, 2) histórico consistente de doença cardíaca, diabetes, hipertensão não controlada, e/ou doenças respiratórias e 3) incapacidade de cumprir o protocolo de pesquisa. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento (ANEXO B) e o projeto de estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Carlos (ANEXO C).

Procedimentos e medidas

Preparação: Todos os sujeitos foram instruídos a: 1) evitar bebidas cafeinadas e/ou alcoólicas ou qualquer outro estimulante na noite anterior e nos dias de coleta de dados, 2) não realizar atividades que exigissem esforço físico moderado a intenso no dia anterior à aplicação dos protocolos, 3) evitar refeições pesadas e fazer uma refeição leve pelo menos duas horas antes dos testes e obter uma boa noite de sono na noite anterior a coleta de dados e 4) não falar desnecessariamente durante as avaliações para evitar interferência na captura do sinal do eletrocardiograma (ECG) e dos intervalos R-R (iR-R), e comunicar qualquer alteração no seu estado geral antes, durante ou após a aplicação dos protocolos. Além disso, todos os sujeitos

foram avaliados no mesmo período do dia, para evitar diferentes respostas das variáveis fisiológicas devido às alterações circadianas, e todos os experimentos foram realizados numa sala com temperatura a 22-24°C e umidade relativa do ar a 50-60% e realizados em dias diferentes separados por um intervalo de sete dias.

Avaliação clínica: A avaliação médica dos voluntários constou de: 1) anamnese, 2) exame físico, 3) ECG de repouso de 12 derivações e 4) teste de esforço incremental sintomático limitado (protocolo de rampa) no cicloergômetro. O protocolo de exercício foi realizado em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Quinton Corival 400, Groninger, Holanda) com análise dos gases e das variáveis ventilatórias processadas respiração a respiração por meio de um analisador de gases portátil (Oxycon Mobile, Viasys Healthcare, Hoechberg, Alemanha). O protocolo de exercício consistiu em: a) 1 min em repouso, b) 4 min com 4W a 60 rpm, c) fase incremental com 15 a 30W/min, e d) 4 min de recuperação. Durante a fase incremental, a potência (em Watts) foi progressivamente aumentada de modo que a duração desta fase do teste fosse entre 8 e 12 min e os sujeitos foram ativamente encorajados a manterem uma taxa de pedalada de 60 rpm (31).

A pressão arterial (PA) foi mensurada a cada 3 min da fase incremental do protocolo utilizando-se o método auscultatório (esfigmomanômetro Missouri, Embu, São Paulo, Brasil) e o nível de esforço (relacionado ao cansaço físico e dor nos membros inferiores - MMII) foi obtido usando a escala modificada de Borg (CR-10) (32). Além disso, os voluntários foram monitorizados continuamente pelo ECG de 12 derivações (Wincardio System, Micromed, Brasília, Brasil). Os critérios de interrupção do teste foram: pressão arterial sistólica (PAS) > 220 mmHg, atingir a frequência cardíaca (FC) máxima prevista para a idade (220-idade), presença de platô nas respostas do consumo de oxigênio (VO₂) mesmo com o aumento da carga de trabalho

(VO₂ máximo), taxa de troca respiratória (RER) > 1,2 aparecimento de arritmias cardíacas importantes ou alterações eletrocardiográficas significativas, incapacidade de manter a velocidade de pedalada em torno de 60 rpm e sinais e sintomas limitantes ao esforço.

Teste de 1 repetição máxima (1RM): Antes da realização do teste, os indivíduos foram submetidos a um período de adaptação no equipamento e foram ensinados a executar corretamente o movimento, evitando o componente isométrico, bem como executar a correta respiração durante o exercício (expirar durante a extensão dos quadris e joelhos) para evitar a manobra de Valsalva (33). O teste de 1RM foi aplicado com aumento gradual da resistência até que o voluntário conseguisse realizar não mais que uma repetição de exercício no *leg press* 45° (Pro-Fitness, São Paulo, Brasil) (Figura 1) (5). A carga de resistência para 1RM foi estimada (1RM-E) antes do teste através da multiplicação da massa corporal do voluntário por 4, com base em estudo prévio realizado por nosso grupo (24). A carga de resistência inicial aplicada para determinar 1RM foi de 80% da 1RM-E, e caso o voluntário fosse capaz de executar dois movimentos completos, a carga era aumentada em 10% da 1RM-E (após um intervalo de descanso de 5 min ou até o retorno dos valores basais da PA e FC) até que o voluntário conseguisse realizar não mais do que uma repetição completa (24). Baseado na 1RM-E, era esperado que 1RM fosse determinada em até 6 tentativas (34).

Teste de exercício resistido descontínuo: Antes da execução do protocolo, o voluntário permaneceu em repouso no equipamento por 10 min. O protocolo de exercício incremental foi então iniciado com uma carga de 10% da 1RM com aumentos subsequentes de 10% até a exaustão ou até atingir os critérios de interrupção. Em cada percentual de esforço, o voluntário foi submetido a 2 min de exercício a um ritmo de movimento de 12 repetições/min, mantendo a cadência respiratória (conforme orientado previamente durante o teste de 1RM), com cada

repetição realizada em 5 segundos (2 segundos de extensão e 3 segundos de flexão dos quadris e joelhos), com o ritmo controlado por comandos verbais; o período de recuperação entre os testes foi de 5 min ou até que a PA e FC retornassem aos valores basais. Durante todo o protocolo o sinal do ECG foi monitorizado, a PA foi registrada no período pré e pós-esforço, e a fadiga e dor nos MMII foi avaliada pela escala modificada de Borg (CR-10) (32) no final de cada percentual. Os critérios para interrupção do protocolo foram: a) incapacidade do voluntário em realizar o movimento dentro da mecânica estabelecida, b) aumento acentuado da PAS (maior que 200 mmHg), c) atingir a FC submáxima (85% da FC máxima), d) aparecimento de alterações eletrocardiográficas e e) sinais e sintomas limitantes ao esforço.

Durante o período de teste, a FC e os iR-R foram gravados através do sistema de telemetria Polar S810i (Polar Electro Oy, Kempele, Oulu, Finlândia). Além disso, amostras de sangue foram coletadas antes do primeiro esforço (após os primeiros 10 min de descanso no equipamento) e imediatamente após cada carga de ER descontínuo. As amostras de sangue foram obtidas por punção do lóbulo da orelha após esterilização da área com álcool, usando lancetas apropriadas e luvas descartáveis. As amostras foram analisadas no analisador de lactato sanguíneo (Yellow Springs Instruments - YSI 1500, Ohio, Estados Unidos da América), que fora previamente calibrado conforme as instruções do fabricante.



Figura 1. Ilustração do voluntário posicionado no equipamento de exercício resistido (*leg press* 45°) na posição inicial.

Análise dos dados

Análise da VFC: Os trechos para a análise da VFC foram selecionados durante o período de repouso inicial com o sujeito posicionado no equipamento e durante cada carga incremental (% do 1RM). Os dados de FC foram transferidos para o microcomputador e a série dos iR-R foram revistos e inspecionados visualmente utilizando o software *Polar Precision Performance* (versão 4.01.029, Kempele, Oulu, Finlândia) e apenas segmentos com > 90% de batimentos sinusais puros foram incluídos na análise final. Os dados foram analisados no programa *Kubios* de análise de VFC (MATLAB, versão 2 beta, Kuopio, Finlândia) (Figura 2). O trecho selecionado para análise da VFC foi a última porção do teste considerada mais estável com os primeiros 20 segundos descartados (período durante o qual ocorre retirada vagal rápida).

A VFC foi analisada com medidas estatísticas no domínio do tempo e medidas não-lineares. A raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os iR-R no registro, divididos pelo número de iR-R em um determinado tempo menos um (rMSSD), que fornece informações sobre a modulação parassimpática cardíaca (35), e a raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de iR-R em um determinado tempo (RMSM), considerado um marcador da VFC total (35), foram calculados como medidas no domínio do tempo. Além disso, medidas estatísticas não-lineares foram calculadas por meio da plotagem de Poincaré, que consiste na plotagem de cada iR-R em função do intervalo anterior. Através desta análise, foi possível obter o índice SD1 em milissegundos (ms), que forneceu informações sobre o desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento, que se caracteriza como um marcador parassimpático da modulação cardíaca (20,36).

HRV Analysis Results

LEOP - TCD 10.01 - xaxaxax - xaxaxax

Page 1/1

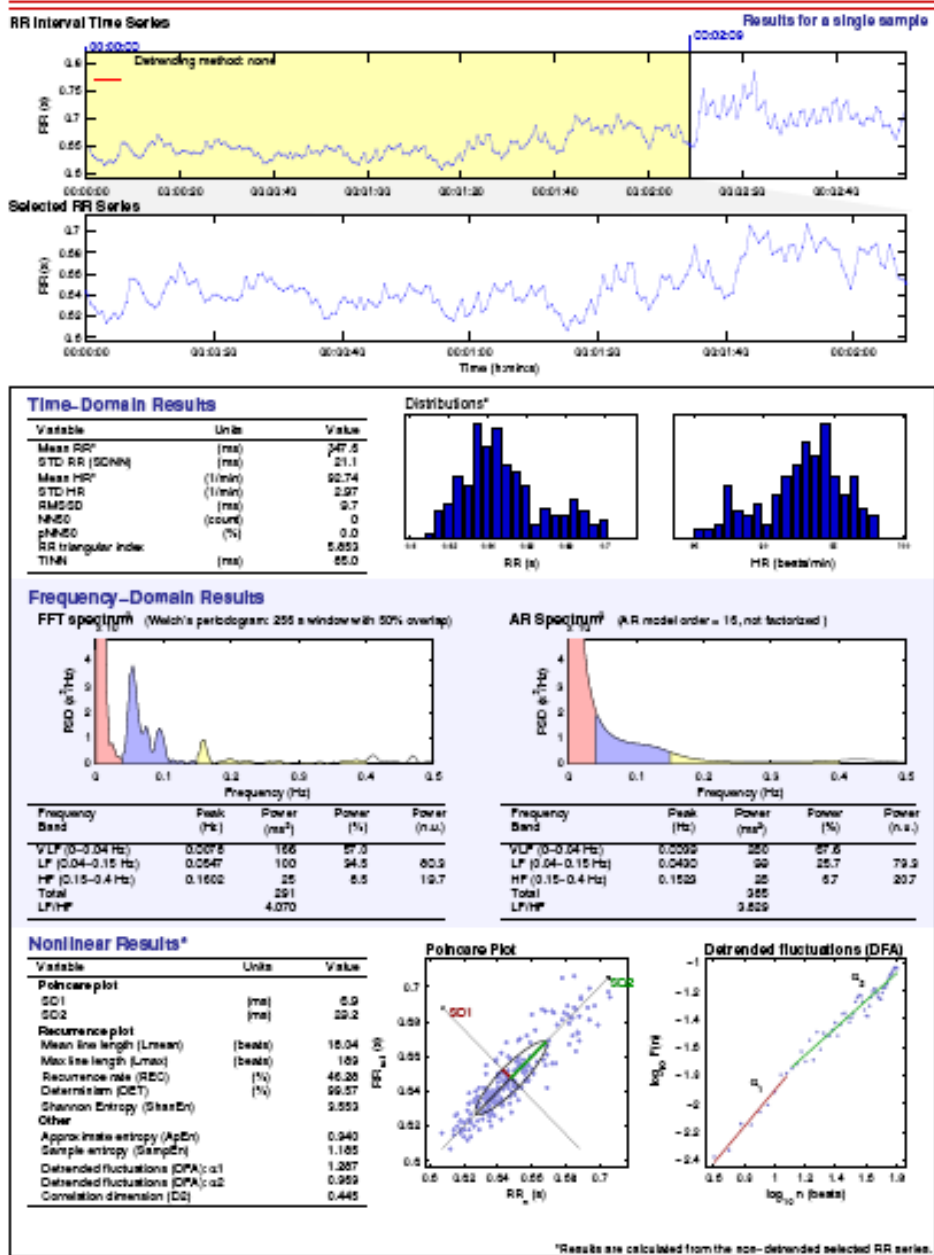


Figura 2. Ilustração da tela dos resultados da análise da variabilidade da frequência cardíaca pelo software *Kubios* de análise de VFC.

Determinação do limiar anaeróbio: Para determinar o limiar de lactato (LL), as curvas de lactato foram geradas para cada sujeito e dois investigadores independentes analisaram as curvas. O limiar foi definido como a intensidade onde o lactato sanguíneo aumentou exponencialmente (ponto de inflexão da curva) (24,37,38). O limiar de VFC a partir do índice SD1 (LSD1) foi definido como a intensidade em que houve uma menor diferença entre duas fases consecutivas (20,36), e o limiar da VFC obtido pelo índice rMSSD (LrMSSD) foi determinado pelo ponto em que o índice estabilizou entre as duas fases (24).

Análise estatística

O cálculo amostral foi obtido com base nos valores de rMSSD de um estudo prévio (24) e o tamanho amostral estimado para o presente estudo foi de 11 indivíduos em cada grupo para fornecer poder estatístico suficiente ($\beta = 0,8$) para detectar diferença significativa ($\alpha = 0,05$). A distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk e quando a normalidade foi confirmada os dados foram expressos como média e desvio padrão. O teste-*t* de *Student* não pareado foi utilizado para comparar as variáveis dos testes de 1RM entre jovens e idosos e, também, para comparar as variáveis obtidas no pico do teste de esforço incremental e aquelas obtidas no teste de ER descontínuo. ANOVA de dois fatores para medidas repetidas foi utilizada para comparar as respostas das variáveis durante o ER (nos diferentes percentuais da 1RM) e para comparar os diferentes métodos de identificação do LA (LL, LSD1 e LrMSSD) e o efeito da idade nestas variáveis (jovens vs idosos). Quando apropriado, foi aplicado o *post-hoc* de *Tukey-Kramer* para identificar as diferenças. As correlações entre LL e LSD1 e entre LL e LrMSSD foram feitas utilizando a correlação de Pearson, e, adicionalmente, o grau de concordância entre os métodos utilizados para determinar o LA foi avaliado pela análise de concordância de *Bland-*

Altman (39). A probabilidade de ocorrência do erro Tipo I foi estabelecida em 5% para todos os testes ($\alpha = 0,05$). Para o processamento dos dados, foram utilizados os programas estatísticos *SPSS* versão 13.0 (*SPSS*, Chicago, Iliinois, Estados Unidos da América) e *MedCalc for Windows*, versão 10.0.2.0 (*MedCalc* software, Mariakerke, Bélgica).

RESULTADOS

Fluxo de participantes: Dos 39 voluntários recrutados nesse estudo (19 jovens e 20 idosos), 11 foram excluídos (5 do GJ e 6 do GI): 6 indivíduos devido à dores musculares ou articulares (2 do GJ e 4 o GI), 4 se recusaram a continuar no estudo (2 GJ e 2 GI) e 1 jovem devido à limitações técnicas. Finalmente, 28 sujeitos foram avaliados e designados em cada grupo: GJ (14 jovens) ou GI (14 idosos).

Características antropométricas e teste de esforço incremental sintoma-limitado: Como mostrado na Tabela 1, o GJ apresentou maiores valores de altura e massa corporal do que o GI, porém o índice de massa corpórea (IMC) foi semelhante entre os grupos. Em relação às variáveis do teste de esforço incremental sintoma-limitado, o GI apresentou valores mais baixos de potência máxima, FC e VO_2 no pico do esforço (Tabela 1).

Tabela 1. Características antropométricas dos participantes e variáveis do teste de esforço incremental sintoma-limitado.

	GJ	GI
<i>n</i>	14	14
Idade, anos	23 ± 3	70 ± 4*
Altura, m	1,80 ± 0,08	1,67 ± 0,04*
Massa Corporal, kg	80 ± 10	74 ± 6*
IMC, kg/m ²	25 ± 3	26 ± 2
Potência Máxima, W	242 ± 57	152 ± 27*
PAS, mmHg	179 ± 22	176 ± 30
PAD, mmHg	83 ± 16	89 ± 9
FC, bpm	169 ± 25	138 ± 25*
VO ₂ pico (mL.kg.min ⁻¹)	36 ± 5	24 ± 5*
VO ₂ pico (mL.min ⁻¹)	2852 ± 462	1757 ± 389*

Dados apresentados como média ± DP. GJ = grupo jovem; GI = grupo idoso; *n* = número de participantes; IMC = índice de massa corpórea; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; VO₂ = consumo de oxigênio. *Diferença significativa (p<0,05) entre os grupos (teste-*t* não pareado).

Teste de 1RM e exercício resistido descontínuo: No teste de 1RM, como esperado, o GJ apresentou maiores valores de FC, de delta de FC (FC no pico do esforço menos FC de repouso antes do teste), bem como na carga de 1RM (Tabela 2). Em relação ao teste descontínuo, como também esperado, o GJ apresentou valores mais elevados de FC e de delta de FC que o GI no pico de esforço (Tabela 2). No entanto, o critério para interrupção do teste descontínuo para todos os voluntários foi a fadiga dos MMII e nenhum teste foi interrompido por causa de alterações eletrocardiográficas, aumento excessivo na PAS (>200 mmHg) ou por exceder a FC submáxima.

Tabela 2. Variáveis do teste de 1RM e do pico do teste de exercício resistido descontínuo.

	GJ	GI
Teste de 1RM		
PAS, mmHg	136 ± 9	144 ± 20
PAD, mmHg	79 ± 9	79 ± 7
FC, bpm	115 ± 12	93 ± 14*
Delta de FC, bpm	40 ± 16	19 ± 7*
Carga da 1RM	358 ± 57	306 ± 75*
Carga da 1RM/massa corporal total	4,52 ± 0,87	4,23 ± 1,2
Teste de ER descontínuo		
PAS, mmHg	172 ± 26	181 ± 29
PAD, mmHg	81 ± 16	90 ± 11
FC, bpm	142 ± 18	114 ± 20*
Delta de FC, bpm	75 ± 19	41 ± 15*

Dados apresentados como média ± DP. GJ = grupo jovem; GI = grupo idoso; 1RM = uma repetição máxima; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; delta de FC = FC do pico do esforço menos FC do repouso; ER = exercício resistido. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (teste-*t* não pareado).

Todos os sujeitos de ambos os grupos conseguiram atingir pelo menos 50% da 1RM durante o protocolo de ER, sendo que esta foi a carga máxima para 13 participantes (5 do GJ e 8 do GI), 60% da 1RM foi a carga máxima para 12 indivíduos (7 do GJ e 5 do GI) e apenas 3 indivíduos atingiram 70% da 1RM (2 do GJ e 1 do GI), mas apenas 1 sujeito do GJ completou as 24 repetições previamente estabelecidas. A Figura 3 demonstra o comportamento da VFC, do lactato sanguíneo, dos iR-R e do delta da FC com o aumento das cargas, partindo do repouso até a carga máxima comum realizada por todos os voluntários (50% de 1RM).

Houve uma progressiva diminuição do SD1 e rMSSD com o aumento das cargas, sendo esta diminuição significativa a partir de 20% em relação ao repouso e a partir de 30% em relação à 10% da 1RM para ambos os grupos. No entanto, foi observado que houve um comportamento estável a partir de 30% de 1RM tanto para rMSSD como para SD1 (Figura 3, A e B). Em relação às diferenças entre os grupos, o GJ apresentou maiores valores de SD1 e de rMSSD no repouso e nas cargas de 10% e 20% da 1RM, sem diferenças entre os grupos a partir de 30% da 1RM (Figura 3, A e B respectivamente). Em relação ao índice RMSM, representativo da VFC total, observou-se diminuição a partir de 10% da 1RM para o GJ e a partir de 30% da 1RM para o GI, e também mostrou comportamento estável a partir de 30% da 1RM em ambos os grupos. Além disso, o GJ apresentou maiores valores do índice RMSM em condições de repouso e nas cargas de 10% da 1RM e 20% da 1RM em relação ao GI (Figura 3 C).

Foi observado aumento significativo do lactato sanguíneo a partir de 40% da 1RM comparado com as cargas inferiores em ambos os grupos, além disso, os jovens apresentaram maiores valores nas cargas de 40% e 50% da 1RM (Figura 3 D). Em relação ao delta de FC, houve um aumento significativo a partir de 30% da 1RM para ambos os grupos e o GJ obteve valores mais elevados em todas as cargas (Figura 3 E). Finalmente, os iR-R apresentaram

redução progressiva com significativa diminuição a partir de 20% em ambos os grupos e o GJ apresentou menores valores a partir de 30% da 1RM em relação ao GI (Figura 3 F).

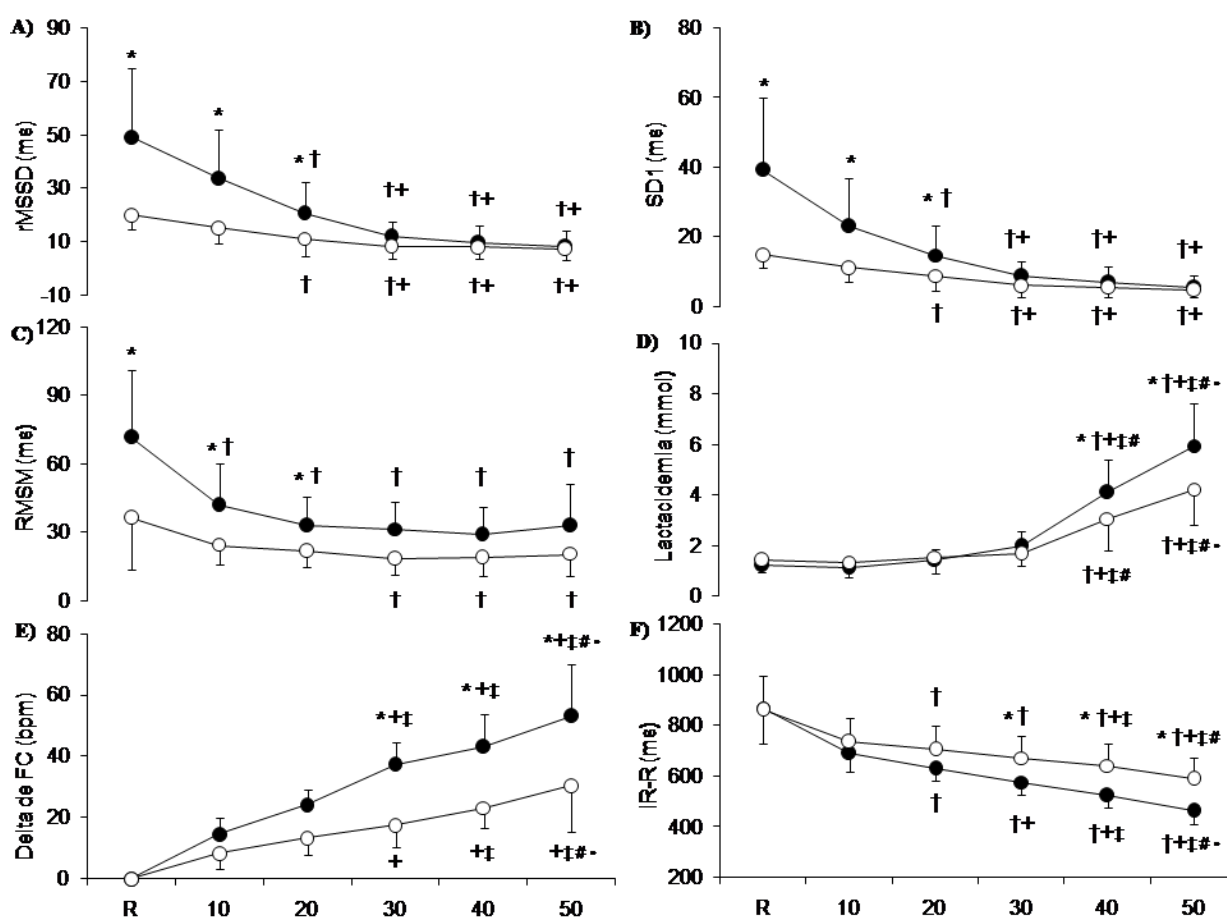


Figura 3. Dados apresentados como média \pm DP. Comportamento das variáveis no teste de exercício resistido descontínuo nas cargas em percentual da 1 repetição máxima (1RM) (eixo x do gráfico), iniciando do repouso (R) até a carga em comum para todos participantes (50% da 1RM). Grupo de jovens (●); Grupo de idosos (○); (A) rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os iR-R no registro, divididos pelo número de iR-R em um determinado tempo menos um; (B) SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento; (C) RMSM = raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de iR-R em um determinado tempo; (D) Lactacidemia; (E) Delta de FC = delta da frequência cardíaca (FC do pico do esforço menos FC do repouso); (F) iR-R = intervalos R-R. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre os grupos (jovens vs idosos); †diferença em relação ao repouso (R); ‡diferença em relação a 10% da 1RM; §diferença em relação a 20% da 1RM; #diferença em relação a 30% da 1RM; §diferença em relação a 40% da 1RM (ANOVA de dois fatores para medidas repetidas).

Limiar anaeróbio: O LA foi determinado em cada sujeito através da análise de lactato sanguíneo, rMSSD e SD1, na qual foram denominados LL, LrMSSD e LSD1 respectivamente, e expressos em valores relativos (percentual da carga de 1RM correspondente ao LA) e valores absolutos (peso da carga correspondente ao LA) (Tabela 3). Não houve diferença significativa em relação aos diferentes métodos de identificação do LA ($p = 0,86$), tal como o efeito da idade (jovem vs idosos) ($p = 0,51$) e interação entre métodos e idade ($p = 0,95$) (Tabela 3). Além disso, houve correlação moderada e significativa entre LL e rMSSD ($r = 0,60$, $p < 0,01$) e entre LL e LSD1 ($r = 0,56$, $p < 0,01$) (Figura 4 C e D, respectivamente).

Além disso, a análise de concordância entre os métodos para determinação do LA foi realizada pela plotagem de *Bland-Altman*, considerando a análise de lactato sanguíneo como "padrão ouro", foram plotados: LL vs LrMSSD e LL vs LSD1. Conforme mostrado na Figura 4 (A), a média das diferenças, ou seja, a concordância, para identificar o LA pelos métodos LL e LrMSSD, foi de $-1,9 \pm 24,0$ kg, já em relação à concordância de LL e LSD1 (Figura 4 B), a média das diferenças foi de $-0,2 \pm 26,3$ kg. Portanto, foi possível constatar concordância entre os métodos em ambas as análises realizadas, uma vez que os dados estavam dentro do intervalo de concordância.

Tabela 3. Comparação dos valores relativos e absolutos da carga correspondente ao limiar de anaerobiose por diferentes métodos de identificação (lactato sanguíneo e índices da variabilidade da frequência cardíaca).

	LL	LrMSSD	LSD1
GJ			
Valores relativos (%)	29 ± 6	29 ± 5	29 ± 6
Valores absolutos (kg)	92 ± 32	98 ± 28	96 ± 32
GI			
Valores relativos (%)	28 ± 4	28 ± 7	28 ± 5
Valores absolutos (kg)	96 ± 25	94 ± 23	95 ± 25

Dados apresentados como média ± DP. LL = limiar de lactato; LrMSSD = limiar de rMSSD (rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um); LSD1 = limiar de SD1 (SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento); GJ = grupo de jovens; GI = grupo de idosos. Não houve diferenças significativas entre os diferentes métodos de identificação do limiar de anaerobiose e nem entre os grupos (ANOVA de dois fatores para medidas repetidas).

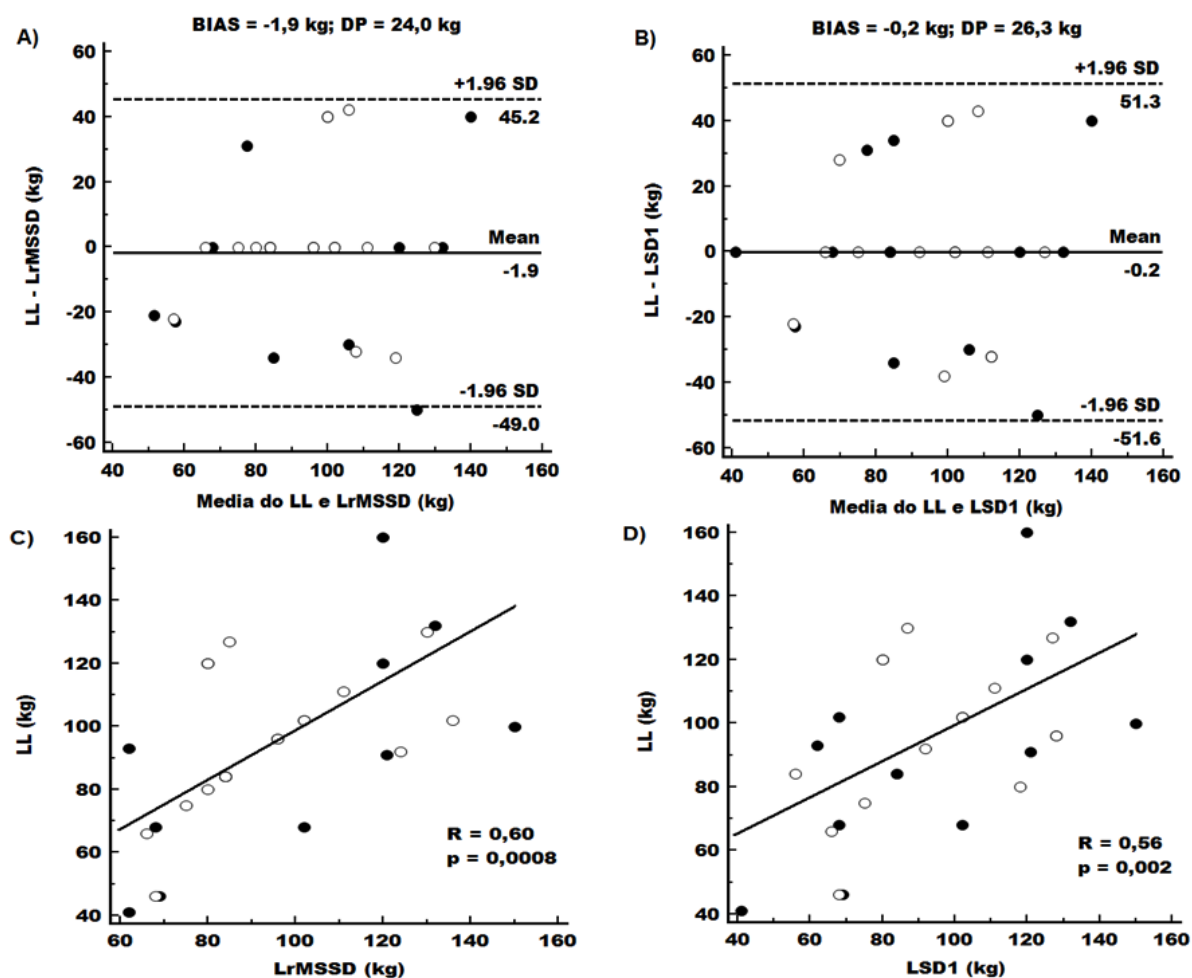


Figura 4. Plotagem de *Bland & Altman* mostra a concordância entre LL e LrMSSD (A) e entre LL e LSD1 (B). Bias = média das diferenças entre as médias; ± 1.96 = limite de concordância de 95%. Abaixo, a correlação positiva e significativa entre o LL e LrMSSD (C) e entre o LL e LSD1 (D). Grupo de jovens (●); Grupo de idosos (○); LL = limiar de lactato; LrMSSD = limiar de rMSSD (rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um); LSD1 = limiar de SD1 (SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento).

DISCUSSÃO

Principais achados: A) A carga correspondente ao LA no ER descontínuo foi de aproximadamente 30% da 1RM, tanto nos indivíduos jovens como nos idosos. B) A determinação do LA por meio dos índices da VFC (rMSSD e SD1) foi concordante e se relacionou com as respostas da lactacidemia em ambos os grupos. C) A modulação parassimpática reduziu com o incremento das cargas apresentando estabilidade a partir da carga correspondente ao LA nos dois grupos. D) A modulação parassimpática e a VFC total foram menores nos idosos durante o repouso pré-esforço e nas cargas inferiores ao LA.

Comportamento da FC, dos índices da VFC e do lactato sanguíneo nas diferentes intensidades do exercício resistido descontínuo: Os índices rMSSD, SD1 e RMSM inicialmente diminuíram com o aumento da carga no leg-press, seguido de estabilização em 30% da 1RM em ambos os grupos (Figura 3 A, B e C). Sabendo que os índices rMSSD e SD1 refletem a modulação autonômica cardíaca parassimpática (10,13,14,20,40), esta queda da modulação parassimpática em ambos os grupos tem sido observada também no exercício físico dinâmico, indicando que abaixo do LA ainda observa-se uma parcela de contribuição parassimpática na modulação autonômica cardíaca, estando suprimida no esforço acima do LA (41). Entretanto, até onde sabemos este é o primeiro estudo a avaliar a contribuição vagal durante o ER com cargas crescentes, demonstrando uma tendência de redução da modulação parassimpática com o aumento das cargas e de estabilização a partir da carga correspondente ao LA (30% da 1RM), tanto em jovens como em idosos. Demonstrou, ainda, que o RMSM, que é um índice que reflete a VFC total, ou seja, a modulação simpática e parassimpática cardíaca (13) apresentou marcada redução em ambos os grupos, o que pode estar relacionado à redução da modulação vagal principalmente nas cargas iniciais do protocolo descontínuo.

Os valores destes índices (rMSSD, SD1 e RMSM) foram menores nos idosos em relação ao grupo jovem tanto em repouso como nas cargas iniciais do protocolo (Figura 3 A, B e C). No entanto, estas diferenças entre os grupos desapareceram nas cargas maiores, uma vez que a retirada vagal foi mais pronunciada nos jovens em comparação com os idosos, que tiveram valores menores a partir do repouso, tornando os valores médios praticamente iguais a partir de 30% da 1RM. Esses menores valores dos índices da VFC em idosos podem ser explicados pela própria redução da VFC que ocorre com o envelhecimento. Vários estudos têm demonstrado redução significativa da VFC concomitantemente ao avançar da idade, constatação essa atribuída principalmente à diminuição da modulação parassimpática (16-18). Como já relatado, alterações estruturais e funcionais do sistema cardiovascular como mudanças na condução elétrica cardíaca do sistema baroreflexo e adaptações neuro-humorais, entre outras, podem ser os responsáveis pela redução do controle autonômico cardíaco nesta população (42-44). Por outro lado, não apenas a idade isoladamente, mas também a redução da capacidade aeróbia na população idosa pode ser responsável pela diminuição da VFC, já que estudos mostraram que por meio do treinamento físico ocorre melhora do VO_2 e consecutivamente da VFC nesta população (45,46), alcançando valores similares aos dos jovens (16).

Com relação aos iR-R, a progressiva diminuição com o incremento das cargas reflete o progressivo aumento da FC em ambos os grupos. No entanto, este incremento torna-se significativamente maior nos jovens em relação aos idosos a partir de 30% da 1RM (Figure 3 F), o que pode refletir maior ativação simpática a partir deste percentual. Além disso, o delta de FC aumentou significativamente em ambos os grupos a partir de 30% da 1RM, sendo mais expressivo nos jovens a partir deste percentual (Figure 3 E), reforçando o suposto aumento da modulação simpática a partir desta carga. Uma possível explicação para este fato, é que nesta

carga correspondente ao LA (30% da 1RM) as mudanças metabólicas que ocorrem na musculatura são detectadas por receptores periféricos, particularmente as fibras tipo III e IV, que enviam as informações para o sistema nervoso central, mediando as respostas autonômicas por meio do aumento da atividade simpática (como melhor detalhado mais adiante).

Quanto ao comportamento do lactato sanguíneo, tanto nos jovens como nos idosos, os valores permaneceram praticamente estáveis com o incremento das cargas até 30% da 1RM, sendo que após este percentual de carga houve um aumento acentuado dos níveis séricos em ambos os grupos (Figure 3 D). Este resultado pode estar relacionado às unidades motoras, já que é sabido que em cargas mais elevadas o recrutamento destas unidades aumenta com a finalidade de proporcionar maior força muscular para sustentar a maior demanda imposta pelo exercício. Além disso, há inicialmente maior recrutamento das fibras oxidativas e, posteriormente, devido ao esgotamento do metabolismo aeróbio, mais fibras do tipo IIx (glicolíticas) são recrutadas na tentativa de atender ao incremento da carga, resultando em aumento da glicogenólise e produção aumentada de lactato (47). Outro possível fator que pode influenciar na produção de lactato é a estimulação beta-adrenérgica dos músculos ativos, como mostrado em estudos prévios que demonstraram correlação positiva entre a concentração de catecolaminas e lactato sanguíneo (48). Considerando que as catecolaminas estimulam a glicólise e a glicogenólise, o aumento da atividade simpática é um mecanismo primário gerando a aceleração da glicólise, aumentando assim o lactato sanguíneo durante o exercício incremental (48,49).

Adicionalmente, os maiores valores de lactacidemia apresentados pelo GJ nas cargas acima do LL (Figura 3 D), podem ser explicados possivelmente pela maior massa muscular presente nos MMII destes indivíduos em relação aos idosos (principalmente das fibras do tipo II) (6), além da maior ativação simpática a partir da carga correspondente ao LL em relação aos

idosos, fato constatado pelo maior incremento da FC e do delta de FC dos jovens a partir da carga de 30% da 1RM (Figura 3, E e F), o que possivelmente pode ter causado aumento na concentração de catecolaminas circulantes, estimulando a aceleração do processo da glicólise e, conseqüentemente resultando em incremento do lactato sanguíneo (48,49).

Relação entre os índices da VFC e do lactato sanguíneo: Neste estudo, verificamos que o LA foi alcançado com carga próxima dos 30% da carga máxima atingida no teste de 1RM no *leg press* tanto nos jovens como nos idosos. Em relação à moderada correlação e boa concordância entre os métodos utilizados para determinação do LA (lactacidemia e VFC) (Figura 4), este fato possivelmente está atrelado à integração das respostas neuro-metabólicas da musculatura com as respostas do sistema nervoso central (22,50). As alterações mecânicas e metabólicas que acontecem nas fibras musculares durante o exercício nas intensidades acima de 30% da 1RM são detectadas por meio das fibras III e IV (mecanorreceptores e metaboreceptores) localizadas na musculatura (23), que enviam estas informações ao sistema nervoso central, que responde reduzindo a atividade vagal e aumentando a atividade simpática cardíaca na tentativa de suprir a demanda energética da musculatura (25,26).

Limitações, considerações metodológicas e aplicações práticas: As principais limitações deste estudo foram relacionadas à impossibilidade de avaliação da composição corporal dos nossos voluntários, o que forneceria informações acerca da massa magra e da massa gorda corporal, permitindo demonstrar possíveis diferenças das cargas corrigidas por estas variáveis. Além disso, apesar do exercício realizado no *leg press* ser caracterizado como multi-articular e envolver vários grupamentos musculares dos MMII, nossos resultados foram baseados somente neste tipo específico de exercício. Finalmente, apesar de o índice RMSM refletir tanto a modulação simpática e parassimpática, assim como o incremento da FC, as inferências quanto ao

stress simpático são meramente especulativas, uma vez que um índice representativo puro da modulação simpática não foi avaliado no presente estudo.

A aplicação de um protocolo de ER descontínuo baseado no incremento de cargas percentuais da máxima realizada no *leg press* 45° foi efetiva na determinação do LA em jovens e idosos aparentemente saudáveis, sendo eficaz para a aplicação de diferentes metodologias (lactato sanguíneo e VFC) para determinação do referido ponto de transição do metabolismo. Além disso, cada carga do protocolo foi realizada com 24 repetições em um período de 2 min, considerado uma série não muito longa, capaz de causar fadiga precoce nos voluntários, e nem muito curta, inviabilizando a correta análise da VFC, além da similaridade da série com protocolos usualmente aplicados na prática de ER para melhora da resistência muscular localizada.

Também é importante destacar que este estudo não tem como propósito determinar um valor fixo de identificação do ponto de transição do metabolismo, mas sim mostrar que esta transição foi factível de ser obtida em um protocolo de ER, e que ocorreu em aproximadamente 30% da carga máxima, desmistificando assim a característica do ER como um exercício puramente exaustivo e predominantemente anaeróbio. Adicionalmente, ressaltamos que a inovação do presente estudo está na praticidade de aplicar um método simples e de baixo custo, como a análise do comportamento da VFC, tanto em jovens como em idosos, para determinação da carga correspondente ao LA, uma vez que este é um importante parâmetro para a prescrição de exercícios, e que o mesmo pode ser aplicado em protocolos de ER, considerando os objetivos de melhora da resistência muscular localizada ou da força.

CONCLUSÃO

Concluimos que as respostas da VFC foram concordantes com as respostas da lactacidemia em relação à determinação do LA durante o ER descontínuo no *leg press* 45° em jovens e idosos, sendo que o LA foi determinado em aproximadamente 30% da 1RM em ambos os métodos nos dois grupos. Além disso, com o incremento das cargas durante o protocolo de ER descontínuo, houve uma gradual retirada vagal seguida pela ativação simpática tanto nos jovens como nos idosos, estando estas respostas mais atenuadas com o processo de envelhecimento.

Agradecimento

Este estudo recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processos: 2009/51976-2 e 2009/01842-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pollock ML, Franklin BA, Balady GJ, Chaitman BL, Fleg JL, Fletcher B, et al (2000) AHA Science Advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association; Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation* 101:828-833.
2. Rhea MR, Alvar BA, Burkett IN, Ball SD (2003) A Meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 35:456-464.

3. Hunter GR, McCarthy JP, Bamman MM (2004) Effects of resistance training on older adults. *Sports Med* 34:329-348.
4. Mayer F, Scharhag-Rosenberger F, Carlsohn A, Cassel M, Müller S, Scharhag J (2011) The intensity and effects of strength training in the elderly. *Dtsch Arztebl Int* 108:359-64
5. American College Sports Medicine Position Stand (1998) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:975-991.
6. Mazzeo RS, Tanaka H (2001) Exercise prescription for the elderly - current recommendations. *Sports Med* 31:809-818.
7. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A et al (2003) Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 95:1851–1860.
8. Rosenberg IH (2011) Sarcopenia: origins and clinical relevance. *Clin Geriatr Med* 27:337-339.
9. Visser M, Schaap LA (2011) Consequences of sarcopenia. *Clin Geriatr Med* 27:387-399.
10. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV (1998) Vagal modulation of heart rate during exercise: Effects of age and physical fitness. *Am J Physiol* 274:424–429.
11. Van-ravenswaaij-arts CMA, Kollée LAA, Hopman CW, Stoeling GBA, Geijn HP (1993) Heart rate variability. *Ann Intern Med* 18:436-447.

12. Stein PK, Boisner MS, Kleiger RE, Conger BM (1994) Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J* 127:1376-1381.
13. Task Force of European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93:1043-1065.
14. Malliani A, Montano N (2002) Heart rate variability as a clinical tool. *Ital Heart J* 3:439-445.
15. Achten J, Jeukendrup AE (2003) Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med* 30:517-538.
16. Melo RC, Santos MDB, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, et al (2005) Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. *Braz J Med Biol Res* 38:1331-1338.
17. Vandeput S, Verheyden B, Aubert AE, Van Huffel S (2008) Nonlinear heart rate variability in a healthy population: Influence of age. *Comput Cardiol* 35:53–56.
18. Takahashi AC, Porta A, Melo RC, Quitério RJ, Silva E, Borghi-Silva A, et al (2012) Aging reduces complexity of heart rate variability assessed by conditional entropy and symbolic analysis. *Intern Emerg Med* 7:229-235.
19. Yamamoto Y, Hughson RL, Peterson JC (1991) Autonomic control of heart rate during exercise studied by heart rate variability spectral analysis. *J Appl Physiol* 71:1136-1142.
20. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Takala TES, Seppänen T, Huikuri, HV (1996) Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol* 271:244–252.

21. Miyamoto T, Oshima O, Ikuta K, Kinoshita H (2006) The heart rate increase at the onset of intensity exercise is accelerated by central blood volume loading. *Eur J Appl Physiol* 96:86-96.
22. Iwamoto GA Kaufman MP (1987) Characteristics of caudal ventrolateral medullary cells responsive to muscular contraction. *J Appl Physiol* 62:149–157.
23. Mitchell JH (1990) Neural control of the circulation during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22:141–154.
24. Simões RP, Mendes RG, Castello V, Machado HG, Almeida LB, Baldissera V, et al (2010) Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *J Strength Cond Res* 24:1313-1320.
25. Rowell LB, O'Leary DS (1990) Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 69:407-418.
26. Rowell LB (1992) Reflex control of the circulation during exercise. *Int J Sports Med* 13:S25-S27.
27. Svedahl K, MacIntosh BR (2003) Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 28:299-323.
28. Marães VR, Silva E, Catai AM, Novais LD, Moura MA, Oliveira L, et al (2005) Identification of anaerobic threshold using heart rate response during dynamic exercise. *Braz J Med Biol Res* 38:731-735.
29. Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM, Carizzi MT, Pham PH (2007) Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging* 27:381-384.

30. Beckers PJ, Possemiers NM, Van Craenenbroeck EM, Van Berendoncks AM, Wuyts K, Vrints CJ, et al (2012) Comparison of three methods to identify the anaerobic threshold during maximal exercise testing in patients with chronic heart failure. *Am J Phys Med Rehabil* 91:148-155
31. Neder JA, Andreoni S, Castelo-Filho A, Nery LE (1999) Reference values for lung function tests. I. Static volumes. *Braz J Med Biol Res* 32:703-717.
32. Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14:377-381.
33. Wilborn C, Greenwood M, Wyatt F, Bowden R, Grose D (2004) The effects of exercise intensity and body position on cardiovascular variables during resistance exercise. *J Appl Physiol* 7:9–35.
34. Kraemer WJ, Fry AC (1995) Strength testing: development and evaluation of methodology. *Physiological assessment of human fitness*. Champaign IL, Human Kinetics pp115–138.
35. Antila K (1979) Quantitative characterization of heart rate during exercise. *Scand J Clin Lab Invest* 8:153–155.
36. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J (2004) Quantitative Poincaré plot analysis of heart variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol* 91:79–87.
37. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.

38. Moreira SR, Arsa G, Oliveira HB, Lima LCJ, Campbell CSG, Simões HG (2008) Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. *J Strength Cond Res* 22:1108–1115
39. Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307-10.
40. Sztajzel F (2004) Heart rate variability: A noninvasive electrocardiographic method to measure the autonomic nervous system. *Swiss Med Wkly* 134:514–522.
41. Marães VRFS, Teixeira LCA, Catai AM, Milan LA, Rojas FAR, Oliveira L, et al (2003) Determinação e validação do limiar de anaerobiose a partir de métodos de análise de frequência cardíaca e de sua variabilidade. *Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo* 13:1-16.
42. Antelmi I, Paula RS, Shinzato AR, Peres CA Mansur Aj, Grupi CJ (2004) Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *Am J Cardiol* 93:381-385.
43. Tasaki H, Serita T, Ueyama C, Kitano K, Seto S, Yano K (2006) Long-term follow-up of the circadian rhythm of heart rate and heart rate variability in healthy elderly patients. *Circ J* 70:889-895.
44. Zang J (2007) Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *J Manipulative Physiol Ther* 30:374-379.
45. De Meersman RE, Reisman SS, Daum M, Zorowitz R, Leifer M, Findley T (1995) Influence of respiration on metabolic, hemodynamic, psychometric, and R-R interval power spectral parameters. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 239:1437-1440.

46. Levy WC, Cerqueira MD, Harp GD, Johannessen KA, Abrass IB, Schwartz RS, et al. (1998) Effect of endurance exercise training on heart rate variability at rest in healthy young and older men. *Am J Cardiol* 82:1236-1241.
47. Petrofsky JS, Phillips CA, Sawka MN, Hanpeter D, Stafford D (1981) Blood flow and metabolism during isometric contractions in cat skeletal muscle. *J Appl Physiol* 50:493-502.
48. Mazzeo RS, Marshall P (1989) Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol* 67:1319-1322.
49. Brooks GA (1991) Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc* 23:895-906
50. Victor RG, Bertocci LA, Pryor SL, Nunnally RL (1988) Sympathetic nerve discharge is coupled to muscle cell pH during exercise in humans. *J Clin Invest* 82:1301–1305.

4. ESTUDO III

Identificação do limiar de anaerobiose por meio da variabilidade da frequência cardíaca em protocolo de exercício descontínuo dinâmico e resistido em homens idosos saudáveis

Identification of anaerobic threshold by analysis of heart rate variability during discontinuous dynamic and resistance exercise protocol in healthy older men

RESUMO

Os objetivos deste estudo foram determinar o limiar de anaerbiose (LA) em protocolo de exercício descontínuo dinâmico e resistido por meio da análise da lactacidemia e da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) em idosos saudáveis e comparar as variáveis cardiovasculares, metabólicas e autonômicas obtidas nessas duas modalidades de exercício. Foram avaliados 14 idosos (70 ± 4 anos) aparentemente saudáveis do sexo masculino, submetidos aos seguintes testes: 1) incremental do tipo rampa em cicloergômetro; 2) de uma repetição máxima (1RM) no *leg press* 45°; 3 e 4) teste de exercício descontínuo em cicloergômetro (TED-C) e no *leg press* (TED-L) iniciado com 10% da intensidade máxima atingida nos testes 1 e 2 respectivamente, com incrementos subsequentes de 10% da intensidade máxima até a exaustão, sendo os valores de frequência cardíaca, pressão arterial e lactacidemia obtidas durante cada incremento de intensidade de esforço. Não houve diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os métodos na determinação do LA (lactacidemia e VFC) e nem da intensidade relativa correspondente ao LA (30% da intensidade máxima) entre os tipos de exercício (TED-C e TED-L). Além disso, não houve diferenças ($p > 0,05$) entre os valores de VFC obtidos no TED-C e no TED-L, sendo que, no entanto, o TED-L proporcionou maiores valores da pressão arterial sistólica e da lactacidemia ($p < 0,05$) a partir da intensidade correspondente ao LA. Concluímos que a VFC foi eficaz na determinação do LA e que as respostas da modulação parassimpática obtidas no protocolo dinâmico e no resistido foram semelhantes quando comparadas na mesma intensidade relativa. No entanto, o exercício realizado no *leg press* proporcionou maiores valores pressóricos e de lactacidemia em cargas superiores ao LA.

Palavras-chaves: Limiar de anaerbiose. Exercício resistido. Exercício dinâmico. Envelhecimento. Sistema nervoso autonômico.

INTRODUÇÃO

O limiar anaeróbio (LA) é um importante parâmetro que tem sido muito utilizado na avaliação da capacidade física, já que representa a intensidade de esforço na qual a concentração de lactato sanguíneo aumenta progressivamente induzindo à fadiga (1-3). Por este motivo, o LA é considerado um ótimo indicador de *performance* com grande importância na prescrição de exercícios físicos em diversas populações (4-7), como nos idosos, que apresentam grande declínio de suas funções orgânicas, com resultante redução da mobilidade e da autonomia, o que, consecutivamente, resulta em piora da qualidade de vida (8,9).

Diferentes modalidades de exercícios e protocolos têm sido aplicados nestes indivíduos com o objetivo de avaliar a capacidade física e identificar a intensidade de esforço correspondente ao LA (1,10,11). Os exercícios denominados dinâmicos, como aqueles realizados em esteiras e cicloergômetros, são os mais utilizados, sendo o protocolo incremental do tipo rampa o mais frequentemente aplicado. No entanto, os protocolos descontínuos possibilitam a avaliação funcional e a identificação do LA em intensidades de esforço submáximas, reduzindo os riscos inerentes às intensidades de esforço máximas e conseqüentemente, permitindo sua aplicação sem a presença de um profissional médico.

Adicionalmente, nos últimos anos o exercício resistido tem alcançado papel relevante nos programas de treinamento físico e de reabilitação, principalmente nos idosos, devido aos grandes benefícios relacionados ao ganho de *endurance* e força muscular (12-14). Além disso, estudos recentes têm mostrado viabilidade na identificação do LA por meio da análise da lactacidemia (5,15) e da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) (4,11) em protocolos descontínuos neste mesmo tipo de exercício.

Neste sentido, a prática de exercícios físicos, tanto dinâmicos quanto resistidos, são importantes para a população de idosos, já que os dinâmicos favorecem o aumento da capacidade cardiorrespiratória (14,16) e os exercícios resistidos, por outro lado, proporcionam melhorias funcionais relacionadas ao ganho de equilíbrio e coordenação motora (8,9). No entanto, existe uma crescente preocupação quanto à segurança relacionada à prática de exercícios resistidos em idosos, uma vez que este tipo de exercício pode proporcionar maiores valores pressóricos e desencadear arritmias cardíacas devido ao componente isométrico envolvido no trabalho de força (17,18). No entanto, não é de nosso conhecimento estudos que tenham comparado estes diferentes tipos de exercício em idosos avaliando as respostas metabólicas, cardiovasculares e autonômicas cardíacas em uma mesma intensidade relativa, o que possibilitaria o melhor entendimento destas variáveis nos diferentes protocolos e permitiria a prescrição de maneira mais segura destes exercícios para esta população.

Portanto, o objetivo deste estudo foi testar as hipóteses de que, nos idosos: 1) há relação entre os ajustes metabólicos e cardiovasculares tanto no exercício dinâmico como no exercício resistido, sendo possível determinar o LA, seja por meio da análise da lactacidemia, seja por meio da VFC; 2) as variáveis cardiovasculares, metabólicas (lactacidemia) e da VFC são diferentes nessas duas modalidades de exercício.

METODOLOGIA

Participantes

Foram avaliados neste estudo quatorze homens idosos com idade entre 60 e 80 anos, aparentemente saudáveis baseado nos exames clínico, físico e laboratoriais. Os critérios de

exclusão foram: 1) presença de condições ortopédicas e/ou neurológicas que impedissem a participação em um protocolo de exercício, 2) histórico de doença cardíaca, diabetes, hipertensão não controlada, ou doenças respiratórias e, 3) o não cumprimento do protocolo de pesquisa. Todos os participantes assinaram um termo de consentimento (Anexo B) e o projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética da Universidade Federal de São Carlos (Anexo C).

Orientações pré-teste

Todos os sujeitos foram orientados a: 1) não ingerir bebidas cafeinadas e alcoólicas na noite anterior aos testes e no dia da coleta de dados, 2) não realizar atividades físicas moderadas a intensas no dia antes da aplicação dos protocolos, 3) evitar refeições copiosas e fazer uma refeição leve pelo menos duas horas antes dos testes e ter uma boa noite de sono na noite anterior à coleta de dados e 4) não falar desnecessariamente durante as avaliações para evitar interferência na captação do eletrocardiograma (ECG), e comunicar qualquer alteração no seu estado geral antes, durante ou após a aplicação dos protocolos.

Procedimentos metodológicos e avaliação clínica

Todos os sujeitos foram avaliados no mesmo período do dia para evitar diferentes respostas das variáveis fisiológicas devido às mudanças circadianas, e todos os experimentos foram realizados numa sala climatizada ,com temperatura e umidade relativa do ar entre 22–24°C e 50–60%, respectivamente. Além disso, os testes foram realizados em diferentes dias com intervalo de sete dias. A avaliação médica consistiu de: 1) anamnese, 2) medidas antropométricas

(altura e massa corporal), 3) registro do ECG de 12 derivações em repouso e 4) teste de esforço incremental.

Protocolos experimentais no cicloergômetro

Teste de esforço incremental: Este teste foi realizado para assegurar uma resposta fisiológica ao esforço e para determinar a potência máxima (PM) individual para posteriormente aplicar o teste descontínuo. O protocolo foi realizado em posição ereta em um cicloergômetro de frenagem eletromagnética (Quinton Corival 400, Groninger, Holanda), com análise dos gases expirados respiração a respiração por meio de um analisador de gases portátil (Oxycon Mobile, Viasys Healthcare, Hoechberg, Alemanha). O protocolo de exercício consistiu de: a) 1 min de repouso, b) 4 min de esforço com intensidade de 4W a 60 rpm, c) fase incremental com incrementos subseqüentes de carga de 15 a 30 W/min (usando um protocolo de rampa), e d) 4 min de recuperação. Durante a fase incremental, a potência (em Watts) foi progressivamente aumentada de modo que a duração desta fase fosse entre 8 e 12 min e durante todo o teste os sujeitos foram ativamente encorajados a manter uma taxa de pedalada de 60 rpm (19). Os voluntários foram monitorizados pelo ECG de 12 derivações (Wincardio System, Micromed, Brasília, Brasil) e a frequência cardíaca (FC) e os intervalos R-R (iR-R) foram gravados por um cardiófrequencímetro (Polar S810i, Kempele, Oulu, Finlândia). A pressão arterial (PA) foi mensurada a cada 3 min na fase incremental do protocolo utilizando o método auscultatório (esfigmomanômetro Missouri, Embu, São Paulo, Brasil) e os sintomas foram avaliados por meio da escala modificada de Borg CR-10 (Borg, 1982). Os critérios de interrupção do teste foram: pressão arterial sistólica (PAS) > 220 mmHg, alcançar a FC máxima prevista para a idade (220-

idade), presença de platô nas respostas de consumo de oxigênio (VO_2) mesmo com aumento da intensidade de trabalho (VO_2 máximo), aparecimento de arritmias cardíacas importantes e/ou alterações do ECG significativas e incapacidade de manter a velocidade de pedalada em 60 rpm.

Teste de exercício descontínuo no cicloergômetro (TED-C): Inicialmente, os indivíduos permaneceram em repouso no equipamento durante 5 min, e após esse período, o protocolo de exercício descontínuo foi iniciado com intensidade de 10% da PM obtida durante o protocolo incremental, com aumentos subsequentes da intensidade equivalente a 10% da PM. Cada fase durou 3 min e os sujeitos foram instruídos a manterem uma velocidade de pedalada de 60 rpm durante o teste e relatar a presença de quaisquer sintomas que impedissem a continuação do teste (tontura, mal-estar, fadiga, etc.) A PA e o nível de esforço percebido conforme a escala modificada de Borg CR-10 (20) foram determinados ao final de cada fase. Além disso, os sujeitos foram monitorizados por meio de um ECG de 12 derivações e os iR-R foram gravados por meio de um cardiófrequencímetro. O período de recuperação entre as intensidades foi de 5 min ou até que as variáveis de PA e FC retornassem aos valores basais e os critérios para interrupção do teste foram: a) incapacidade do voluntário de realizar o movimento dentro da mecânica estabelecida, b) aumento acentuado da PAS (maior que 200 mmHg), c) FC submáxima atingida (85% da FC máxima), d) aparecimento de alterações no ECG e e) não sustentar a velocidade de pedalada de 60 rpm. As amostras de sangue foram obtidas por punção do lóbulo da orelha usando lancetas adequadas após a esterilização da área com álcool sendo coletadas antes do primeiro esforço (após 5 min do repouso inicial) e imediatamente após o final de cada intensidade de esforço. As amostras foram analisadas em um analisador de lactato sanguíneo (Yellow Springs Instruments - YSI 1500, Ohio, Estados Unidos da América), previamente calibrado de acordo com as instruções do fabricante.

Protocolos experimentais no leg press

Teste de uma repetição máxima (1RM): Antes da realização do teste, os indivíduos foram submetidos a um período de adaptação no equipamento e foram ensinados a executar corretamente o movimento para evitar o componente isométrico, e respirar adequadamente durante o exercício (expirar durante a extensão dos quadris e joelhos) para evitar a manobra de Valsalva (21). O teste de 1RM consistiu em aumentos graduais da resistência até que o voluntário conseguisse realizar não mais que uma repetição do exercício no *leg press* 45° (Pro-Fitness, São Paulo, Brasil) (22). A intensidade de 1RM foi estimada (1RM-E) antes do teste pela multiplicação da massa corporal do voluntário por 4, com base no nosso estudo anterior (11). A intensidade inicial aplicada para determinar 1RM foi de 80% da 1RM-E e, se o voluntário fosse capaz de executar dois movimentos completos, a intensidade era aumentada em 10% da 1RM-E (depois de um intervalo de descanso de 5 min entre os testes) até que o voluntário pudesse realizar não mais do que uma repetição completa (11). Com base nas intensidades estimadas de 1RM, era esperado que a 1RM fosse determinada em até 6 tentativas (23).

Teste de exercício descontínuo no leg press (TED-L): Antes da execução do protocolo, o voluntário permaneceu em repouso no equipamento por 10 min. O protocolo de exercício incremental foi então iniciado com uma intensidade de carga equivalente a 10% da 1RM, com aumentos progressivos de carga de 10% da 1RM até a exaustão ou até atingir os critérios de interrupção. Em cada incremento de carga, o voluntário foi submetido a 2 min de exercício a um ritmo de movimento de 12 repetições por min, mantendo a cadência respiratória (como orientado previamente no teste de 1RM), com cada repetição realizada em 5 segundos (2 segundos de extensão e 3 segundos de flexão dos quadris e joelhos) sendo o ritmo controlado por comandos verbais. O período de recuperação entre os testes foi de 5 min ou até que os valores de PA e FC

retornassem aos valores basais. Durante todo o protocolo o sinal do ECG e os iR-R foram obtidos, a PA foi registrada no período pré e pós-esforço, e a fadiga e dor nos membros inferiores (MMII) foram avaliadas por meio da escala modificada de Borg CR-10 (20) no final de cada percentual. Os critérios de interrupção foram os mesmos descritos previamente no TED-C. Além disso, as amostras de sangue foram coletadas imediatamente ao final de cada período de incremento de esforço (descrito em TED-C).

Análise dos dados

Análise da VFC: Os trechos selecionados para a análise da VFC foram obtidos durante o período de repouso inicial com o sujeito posicionado no equipamento e durante cada incremento de carga (% da 1RM). Os dados de FC foram transferidos para o microcomputador e a série dos iR-R foram revistos e inspecionados visualmente utilizando o software *Polar Precision Performance* (versão 4.01.029, Kempele, Oulu, Finlândia) e apenas segmentos com > 90% de batimentos sinusais puros foram incluídos na análise final. Os dados foram analisados por meio do software *Kubios* de análise de VFC (MATLAB, versão 2 beta, Kuopio, Finlândia). O trecho selecionado para análise da VFC foi a última porção do teste considerado mais estável com os primeiros 20 segundos descartados (período durante o qual ocorre uma retirada vagal rápida).

A VFC foi analisada com medidas estatísticas no domínio do tempo e medidas não-lineares. A raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os iR-R no registro, divididos pelo número de iR-R em um determinado tempo menos um (rMSSD), que fornece informações sobre a modulação parassimpática cardíaca (24), e a raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de iR-R em um

determinado tempo (RMSM), caracterizado como um marcador da VFC total (24), foram calculados como medidas no domínio do tempo. Além disso, medidas estatísticas não-lineares foram calculadas por meio da análise quantitativa da plotagem de *Poincaré*, que consiste na plotagem de cada iR-R em função do intervalo anterior. Por essa análise, foi possível obter o índice SD1 em milissegundos (ms), capaz de fornecer informações sobre o desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento, caracterizando-se como um marcador parassimpático da modulação cardíaca (1,25,26).

Determinação do limiar anaeróbio: Para determinar o LA durante o teste de esforço incremental, três avaliadores independentes identificaram o limiar anaeróbio ventilatório (LAV). O LA foi determinado durante o teste de exercício descontínuo (cicloergômetro e *leg press*) pelo limiar de lactato (LL). Para isso as curvas de lactato foram geradas para cada sujeito e dois investigadores independentes analisaram as curvas. O LL foi definido como a intensidade de esforço na qual o lactato sanguíneo aumentou exponencialmente (ponto de inflexão da curva) (1,4,5,11). O limiar de VFC a partir do índice SD1 (LSD1) foi definido como intensidade de carga que houve uma menor diferença entre duas fases consecutivas (25,26) e o limiar da VFC obtido pelo índice de rMSSD (LrMSSD) foi determinado pelo ponto em que o índice estabilizou entre duas fases (11).

Análise estatística

Baseado nos valores do índice rMSSD de um estudo prévio (11), o cálculo amostral para o atual estudo sugeriu a inclusão de 9 sujeitos para se garantir um poder estatístico suficiente ($\beta = 0,8$ e $\alpha = 0,05$). A distribuição dos dados foi verificada pelo teste de Shapiro-Wilk, e quando

verificada a distribuição normal dos dados, esses foram expressos como média e desvio padrão. O teste-*t* de Student pareado foi utilizado para comparar as variáveis entre cicloergômetro e *leg press*, e para comparar as variáveis entre as condições de repouso e pico. A análise de variância (ANOVA) de dois fatores para medidas repetidas foi utilizada para comparar as variáveis obtidas durante os testes de exercício descontínuo em diferentes percentuais da intensidade máxima, para comparar os diferentes métodos de identificação do LA (LL, LSD1 e LrMSSD), e a interação dessas variáveis com a modalidade de exercício (cicloergômetro *vs leg press*). Quando apropriado foi aplicado o *post-hoc* de Tukey-Kramer para identificar as diferenças. As correlações entre LL e LrMSSD e entre LL e LSD1 tanto no cicloergômetro como no *leg press* foram realizadas utilizando a correlação de Pearson e, adicionalmente, o grau de concordância entre os métodos utilizados para determinar o LA foi avaliada pela análise de concordância de Bland-Altman (27). A probabilidade de ocorrência de erro Tipo 1 foi estabelecida em 5% para todos os testes ($\alpha = 0,05$). Os dados foram analisados utilizando o software estatístico *SPSS* versão 13.0 (*SPSS*, Chicago, Illinois, Estados Unidos da América) e *MedCalc* for Windows, versão 10.0.2.0 (*MedCalc* software, Mariakerke, Bélgica).

RESULTADOS

Fluxo de participantes e características demográficas: Dos 20 homens idosos recrutados por cumprirem os critérios de inclusão no estudo, 6 foram excluídos: 4 indivíduos devido à dor muscular ou articular e 2 se recusarem a continuar no estudo. No entanto, 14 sujeitos consentiram a participar deste estudo e foram avaliados, sendo que suas características antropométricas estão apresentados na Tabela 1.

Teste de esforço incremental no cicloergômetro e teste de 1RM: A Tabela 1 mostra as variáveis nas condições de repouso e de pico no teste de esforço incremental no cicloergômetro e no teste de 1RM no *leg press*, demonstrando valores mais elevados de PAS e FC no pico do exercício em comparação com a fase de repouso pré-esforço.

Tabela 1. Características antropométricas e variáveis do teste de esforço incremental no cicloergômetro e do teste de uma repetição máxima (1RM) no *leg press*, nas condições de repouso e pico.

	Repouso	Pico
Características antropométricas		
Idade, anos	70 ± 4	-
Altura, m	1,67 ± 0,04	-
Massa Corporal, kg	74 ± 6	-
IMC, kg/m ²	26 ± 2	-
Cicloergômetro		
Potência máxima, W	-	152 ± 27
Intensidade do LA, W	-	74 ± 13
PAS, mmHg	130 ± 11	176 ± 30 [†]
PAD, mmHg	86 ± 7	89 ± 9
FC, bpm	85 ± 13	138 ± 25 [†]
Delta de FC, bpm	-	53 ± 25
VO ₂ (mL.kg.min ⁻¹)	-	24 ± 5
Leg Press		
Intensidade máxima, kg	-	306 ± 75
PAS, mmHg	138 ± 12	144 ± 20 [†]
PAD, mmHg	80 ± 7	79 ± 7
FC, bpm	75 ± 13	93 ± 14 [†]
Delta de FC, bpm	-	19 ± 7

Dados apresentados em média ± DP. IMC = índice de massa corpórea; LA = limiar de anaerobiose; PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; delta de FC = FC do pico do esforço menos FC do repouso; VO₂ = consumo de oxigênio. [†]Diferença significativa (p<0,05) entre as condições de repouso e pico (teste-t pareado).

Teste de exercício descontínuo em cicloergômetro (TED-C) e no leg press (TED-L): Em relação ao teste descontínuo, como era esperado, observou-se maiores valores de PAS, de PAD e de FC que na condição de repouso, e menores índices de VFC foram verificados em ambos os protocolos de exercício (cicloergômetro e *leg press*) (Tabela 2). Além disso, o percentual de intensidade máxima e a de FC pico foram maiores no cicloergômetro quando comparado com o teste no *leg press*. No entanto, o critério para interrupção do esforço em ambos os protocolos para todos os voluntários foi a exaustão física ou a fadiga de MMII e nenhum teste foi interrompido por causa de alterações do ECG, por aumento excessivo da PAS (> 200 mmHg) ou por exceder a FC submáxima.

Em ambos os testes de exercício descontínuo (TED-C e TED-L), todos os sujeitos conseguiram atingir pelo menos 50% da PM ou da 1RM, sendo a intensidade máxima alcançada por um sujeito no TED-C e por 8 sujeitos no TED-L; 60% da PM ou da 1RM foi a intensidade máxima para 10 indivíduos no TED-C e para 5 sujeitos no TED-L; 70% da PM ou da 1RM foi a intensidade máxima para 2 sujeito no TED-C e para 1 sujeito no TED-L (que não completou as 24 repetições previamente estabelecidas), e apenas 1 sujeito no TED-C alcançou 80% da PM.

Tabela 2. Variáveis do teste de exercício descontínuo no cicloergômetro e no *leg press* nas condições de repouso e pico.

	Cicloergômetro		<i>Leg Press</i>	
	Repouso	Pico	Repouso	Pico
Potência/Intensidade máxima, W/kg	-	95 ± 21	-	170 ± 53
Potência/Intensidade máxima, %		63 ± 8		55 ± 6*
PAS, mmHg	126 ± 15	182 ± 22 [†]	125 ± 11	181 ± 29 [†]
PAD, mmHg	81 ± 8	90 ± 11 [†]	82 ± 7	90 ± 11 [†]
FC, bpm	75 ± 14	124 ± 17 [†]	72 ± 11	114 ± 20 ^{†*}
Delta de FC, bpm	-	49 ± 14	-	41 ± 15
rMSSD, ms	15 ± 7	4 ± 3 [†]	20 ± 5 [†]	6 ± 3 [†]
RMSM, ms	33 ± 19	21 ± 11 [†]	37 ± 23 [†]	23 ± 8 [†]
SD1, ms	15 ± 8	3 ± 2 [†]	15 ± 3 [†]	4 ± 2 [†]

Dados apresentados como média ± DP. PAS = pressão arterial sistólica; PAD = pressão arterial diastólica; FC = frequência cardíaca; delta de FC = FC do pico do esforço menos FC do repouso; rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R (iR-R) no registro, divididos pelo número de iR-R em um determinado tempo menos um; RMSM = raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de iR-R em um determinado tempo; SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento. [†]Diferença significativa (p<0,05) entre as condições de repouso e pico (test-t pareado). *Diferença significativa (p<0,05) entre cicloergômetro e *leg press* (test-t pareado).

A Figura 1 mostra o comportamento das variáveis de VFC e do lactato sanguíneo nos testes de exercícios descontínuos em percentual da intensidade máxima para o teste em cicloergômetro e percentual de 1RM para o teste de *leg press*, partindo do repouso no equipamento até a intensidade em comum para todos os sujeitos (50% da PM/1RM). Houve diminuição progressiva do rMSSD e SD1 com o incremento das intensidades de carga em ambos os testes (TED-C e TED-L) sendo esta significativa a partir de 10% da PM em relação ao repouso e a partir de 20% em relação a 10% da PM no TED-C, e foi significativa a partir de 20% em relação ao repouso e a partir de 30% em relação a 10% da 1RM no TED-L. No entanto, foi observado um comportamento estável a partir dos 30% da intensidade máxima para rMSSD e SD1 em ambos os protocolos, e não houve diferenças entre os testes no cicloergômetro e no *leg press* para estas variáveis (Figura 1, A e B). Em relação ao índice RMSM foi observada diminuição a partir de 30% da intensidade máxima em relação ao repouso e mostrou comportamento estável a partir desta intensidade (30%) em ambos os testes (TED-C e TED-L), e também houve diferença entre cicloergômetro e *leg press* para este índice (Figura 1 C). Aumento significativo foi observado no lactato sanguíneo em 40% da intensidade máxima em comparação com as intensidades mais baixas tanto para TED-C como para TED-L, em adição, os idosos apresentaram maiores valores em 40% e 50% da intensidade máxima no *leg press* em relação ao cicloergômetro (Figura 1 D).

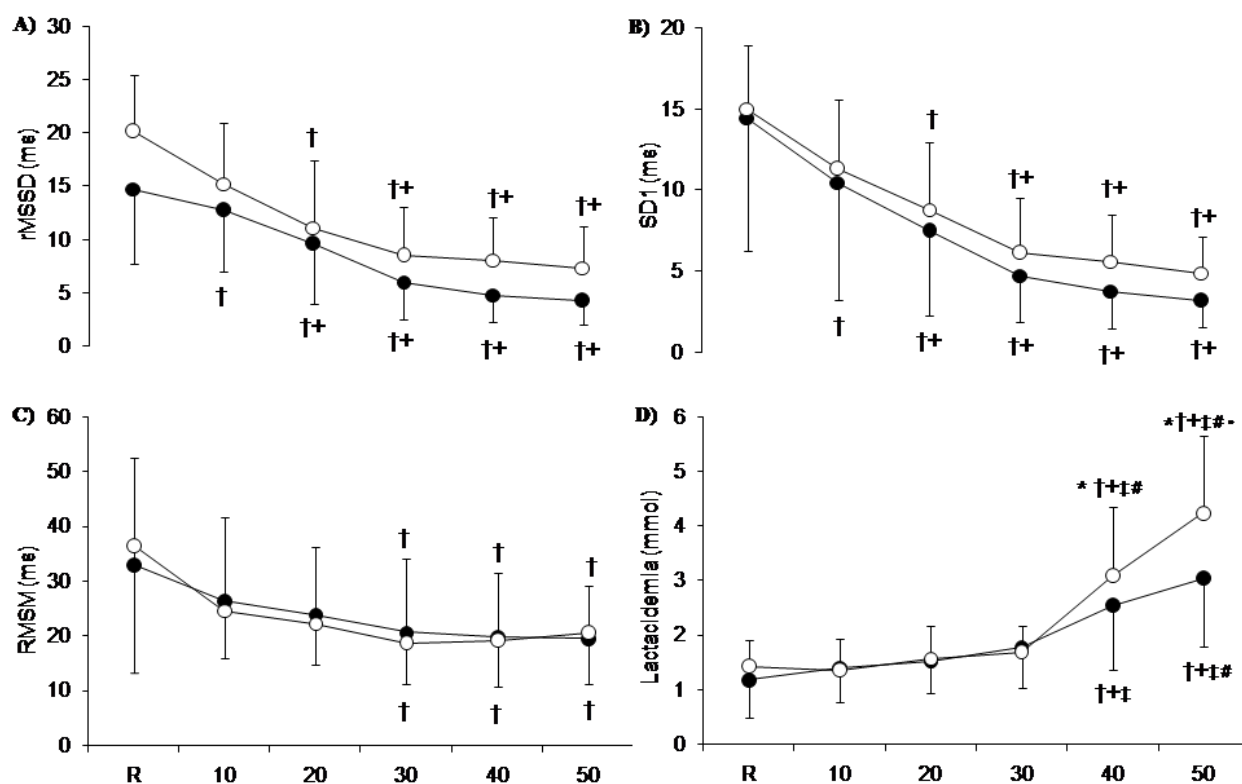


Figura 1. Dados apresentados como média \pm DP. Comportamento das variáveis da variabilidade da frequência cardíaca e lactacidemia durante o teste de exercício descontínuo em percentual da potência máxima no cicloergômetro (●) e em percentual da 1 repetição máxima (1RM) no *leg press* (○) (eixo x do gráfico), iniciando do repouso (R) até a intensidade em comum para todos os participantes (50% da PM/1RM). (A) rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R (iR-R) no registro, divididos pelo número de iR-R em um determinado tempo menos um; (B) SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento; (C) RMSM = raiz quadrada da diferença dos valores individuais em relação ao valor médio, dividido pelo número de iR-R em um determinado tempo; (D) Lactacidemia. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre cicloergômetro e *leg press*; †diferença em relação ao repouso (R); †diferença em relação a 10%; †diferença em relação a 20%; †diferença em relação a 30%; †diferença em relação a 40% (ANOVA de dois fatores para medidas repetidas).

Em relação às variáveis cardiovasculares, em ambos os testes descontínuos foram observados um aumento progressivo da PAS com incremento das intensidades e os valores no *leg press* foram maiores a partir de 30% da intensidade máxima em relação ao cicloergômetro (Figura 2 A). Com relação à PAD, foi verificado aumento significativo a partir de 40% da intensidade máxima apenas no *leg press*, e não foram encontradas diferenças entre os protocolos (Figura 2 B). Em relação aos iR-R, estes mostraram redução progressiva com diminuição significativa a partir de 20% em ambos os testes descontínuos, e não foram encontradas diferenças entre os protocolos (Figura 2 C). Finalmente, o delta de FC (FC do pico do esforço da intensidade menos a FC pré-esforço) aumentou a partir de 30% da intensidade máxima em ambos os protocolos não mostrando diferença entre eles (cicloergômetro e *leg press*) (Figura 2 D).

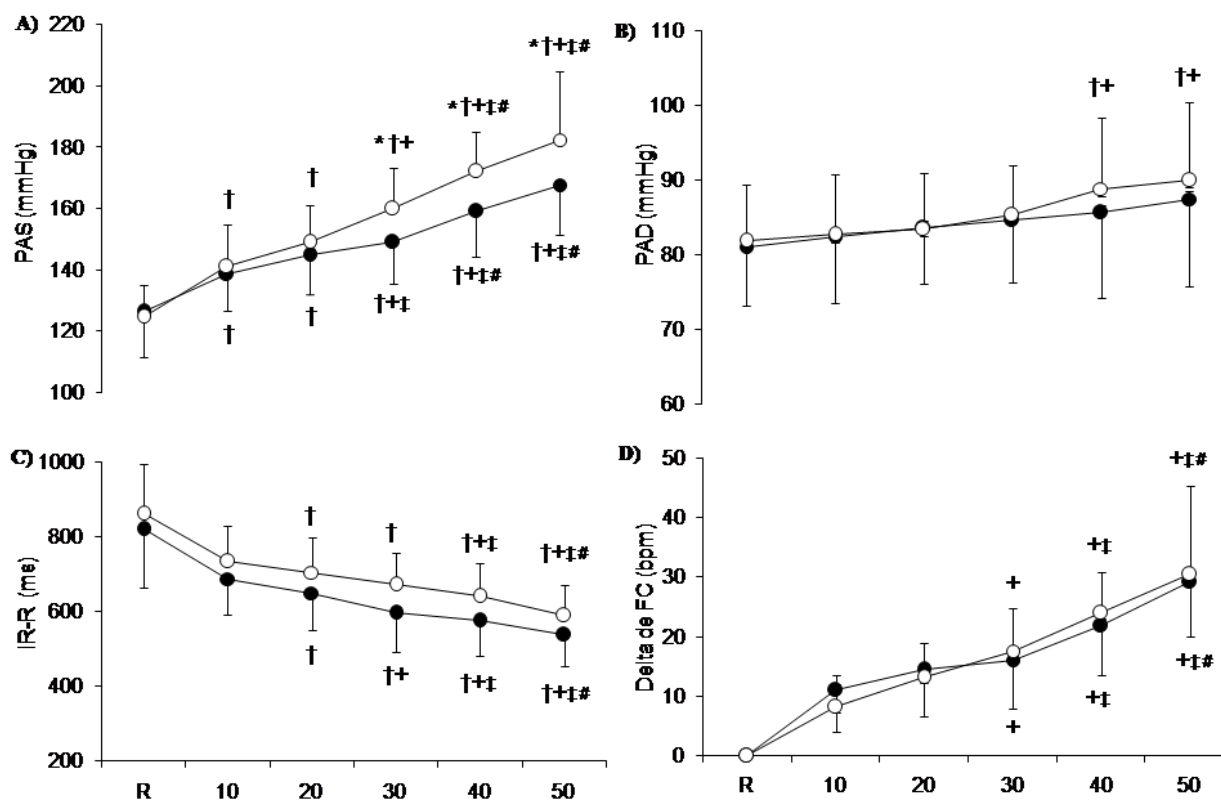


Figura 2. Dados apresentados como média \pm DP. Comportamento das variáveis cardiovasculares durante o teste de exercício descontínuo em percentual da potência máxima no cicloergômetro (●) e em percentual da 1 repetição máxima (1RM) no *leg press* (○) (eixo x do gráfico), iniciando do repouso (R) até a intensidade em comum para todos os participantes (50% da PM/1RM). (A) PAS = pressão arterial sistólica; (B) PAD = pressão arterial diastólica; (C) iR-R = intervalos R-R; (D) delta de FC = frequência cardíaca do pico do esforço menos FC do repouso. *Diferença significativa ($p < 0,05$) entre cicloergômetro e *leg press*; †diferença em relação ao repouso (R); ‡diferença em relação a 10%; #diferença em relação a 30% (ANOVA de dois fatores para medidas repetidas).

Limiar anaeróbio: O LA foi determinado em cada sujeito em ambas modalidades (dinâmico e resistido) pela análise de lactato sanguíneo, rMSSD e SD1, que foram denominados LL, LrMSSD e LSD1 respectivamente, e expressos em valores relativos (percentual da PM no cicloergômetro e percentual da 1RM no *leg press*, correspondente ao LA) e valores absolutos (potência em W e peso em kg, correspondente ao LA) (Tabela 3). Não houve diferença significativa em relação aos diferentes métodos de identificação do LA ($p = 0,81$), tais como entre as modalidades de exercício (cicloergômetro vs *leg press*) ($p = 0,33$) e da interação entre métodos e modalidade de exercício ($p = 0,55$) (Tabela 3).

Além disso, a análise de concordância entre os métodos para determinar o LA foi realizada pela plotagem de Bland-Altman, considerando as análises sanguíneas de lactato como "padrão ouro", LL vs LrMSSD e LL vs LSD1 foram plotados para os testes em cicloergômetro e *leg press*. Como mostrado na Figura 3 (A) em relação ao exercício descontínuo no cicloergômetro, a média das diferenças, ou a concordância, para identificar o LA pelo LL e LrMSSD foi de $-3,3 \pm 10,5$ W (Figura 3 B), e em relação a diferença média entre LL e LSD1 foi de $-0,5 \pm 11,1$ W, e em ambos, os valores foram distribuídos dentro do limite de concordância de 95%. Além disso, houve correlações positivas moderadas e significativas entre LL e LrMSSD ($r = 0,55$, $p = 0,04$) e entre LL e LSD1 ($r = 0,58$, $p = 0,02$) (Figura 3 C e D, respectivamente).

Em relação ao exercício descontínuo no *leg press*, a média das diferenças, ou a concordância, para identificar o LA por meio do LL e LrMSSD foi de $2,4 \pm 24,1$ kg (Figura 4 A), e em relação a diferença média entre LL e LSD1 foi de $1,1 \pm 23,1$ kg (Figura 4 B), e em ambos, os valores foram distribuídas dentro do limite de concordância de 95%. Além disso, houve correlações positivas moderadas e significativas entre LL e LrMSSD ($r = 0,58$, $p = 0,03$) e entre LL e LSD1 ($r = 0,59$, $p = 0,02$) (Figura 4 C e D, respectivamente).

Tabela 3. Comparação dos valores relativos e absolutos da intensidade correspondente ao limiar de anaerbiose por diferentes métodos de identificação durante os testes de exercício descontínuo no cicloergômetro e no *leg press*.

	Cicloergômetro			<i>Leg Press</i>		
	LL	LrMSSD	LSD1	LL	LrMSSD	LSD1
Valores relativos (%)	29 ± 6	31 ± 5	29 ± 5	28 ± 4	28 ± 7	29 ± 5
Valores absolutos (w/kg)	44 ± 8	47 ± 12	44 ± 14	96 ± 25	94 ± 23	95 ± 25

Dados apresentados como média ± DP. LL = limiar de lactato; LrMSSD = limiar de rMSSD (rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um); LSD1 = limiar de SD1 (SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento). Não houve diferenças significativas em relação aos três diferentes métodos de identificação do limiar de anaerbiose, tal como entre as modalidades de exercício (ANOVA de dois fatores para medidas repetidas).

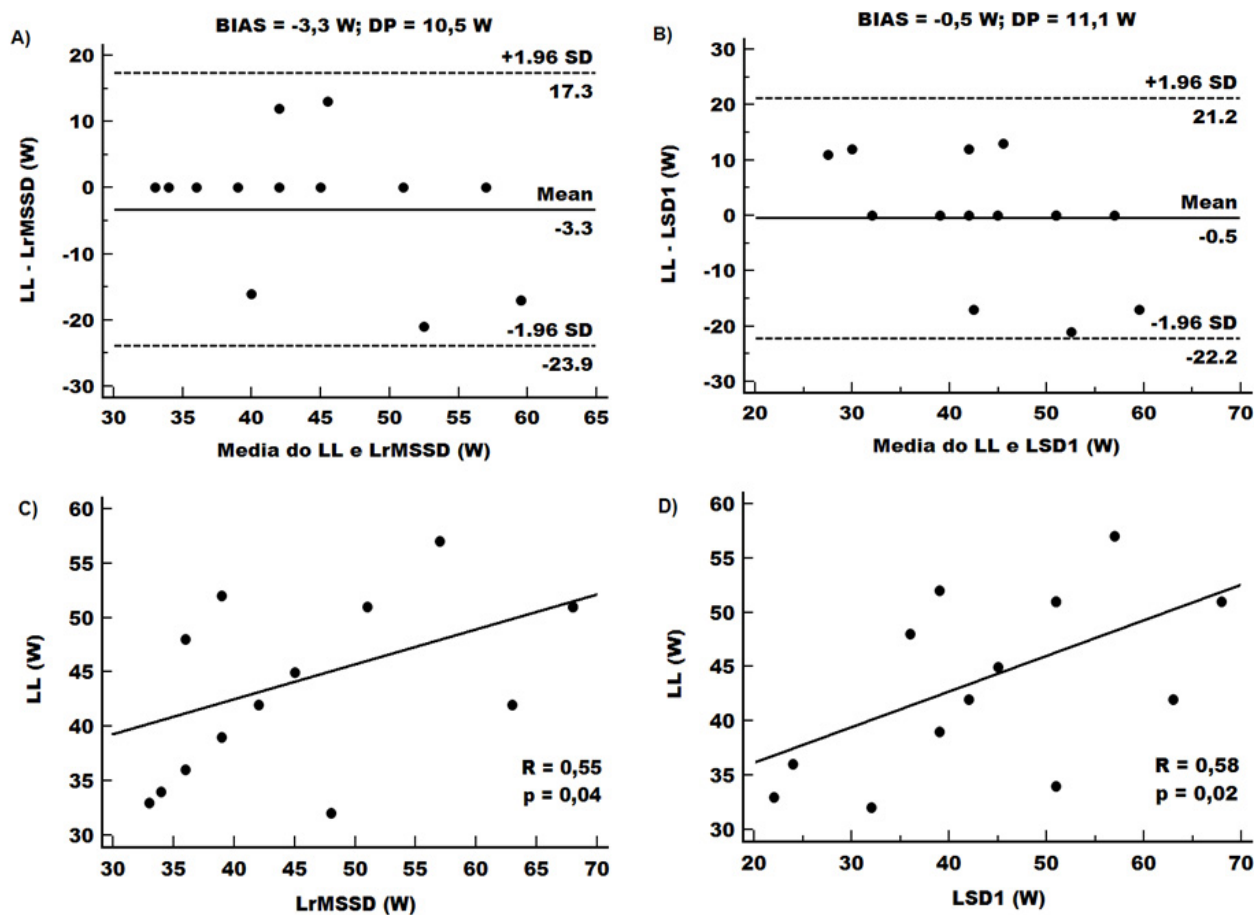


Figura 3. Plotagem de Bland & Altman mostra a concordância entre LL e LrMSSD (A) e entre LL e LSD1 (B) no teste de exercício descontínuo em cicloergômetro. Bias = média das diferenças entre as médias; ± 1.96 = limite de concordância de 95%. Abaixo, a correlação positiva e significativa entre o LL e LrMSSD (C) e entre o LL e LSD1 (D). LL = limiar de lactato; LrMSSD = limiar de rMSSD (rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um); LSD1 = limiar de SD1 (SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento).

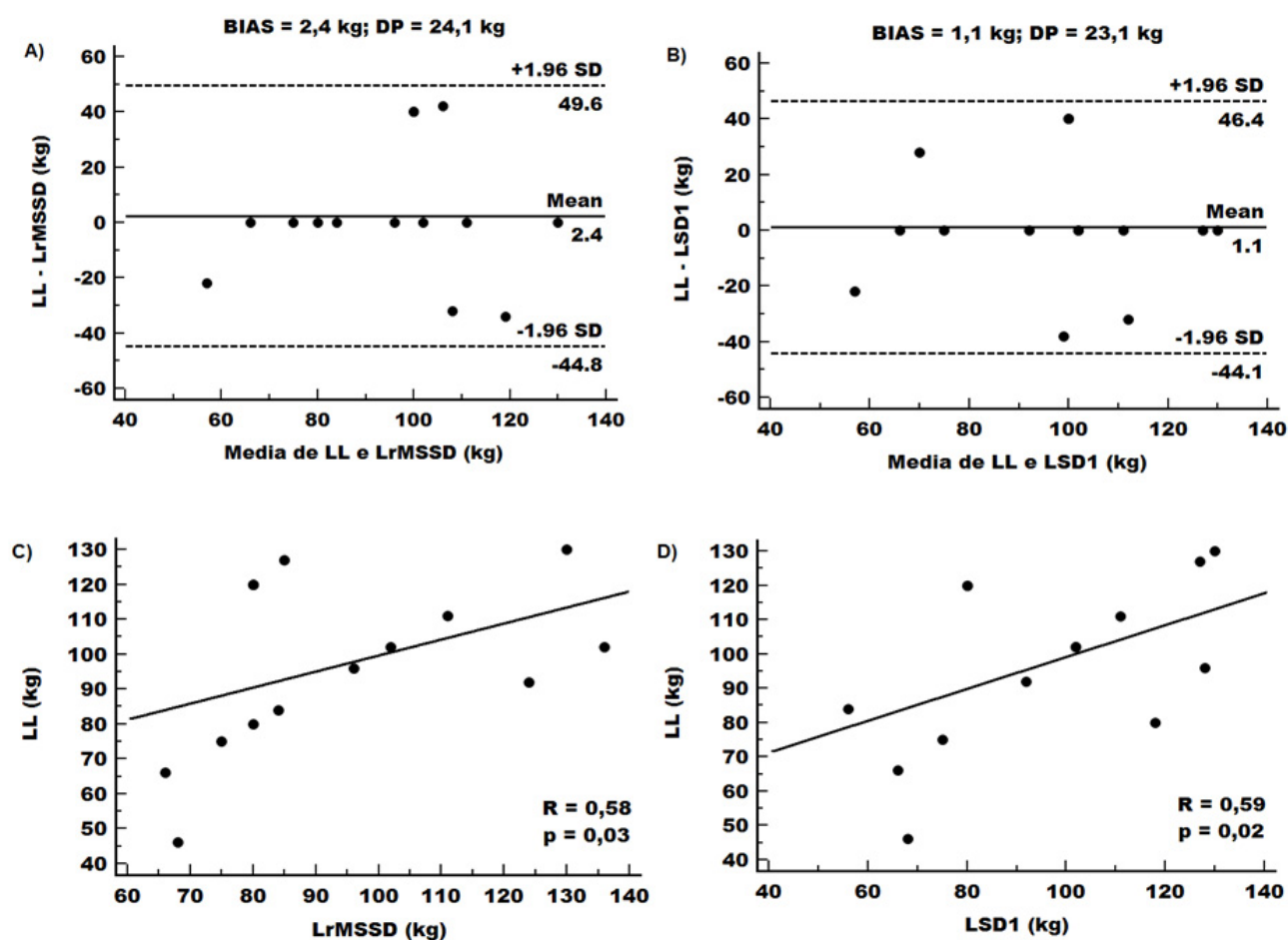


Figura 4. Plotagem de Bland & Altman mostra a concordância entre LL e LrMSSD (A) e entre LL e LSD1 (B) no teste de exercício descontínuo no *leg press*. Bias = média das diferenças entre as médias; ± 1.96 = limite de concordância de 95%. Abaixo, a correlação positiva e significativa entre o LL e LrMSSD (C) e entre o LL e LSD1 (D). LL = limiar de lactato; LrMSSD = limiar de rMSSD (rMSSD = raiz quadrada da somatória do quadrado das diferenças entre os intervalos R-R no registro, divididos pelo número de intervalos R-R em um determinado tempo menos um); LSD1 = limiar de SD1 (SD1 = desvio padrão da variabilidade instantânea batimento-a-batimento).

DISCUSSÃO

Principais achados do estudo: A) Para o grupo de idosos, a intensidade de carga correspondente ao LA em um protocolo de exercício descontínuo realizado no cicloergômetro e no *leg press* 45° foi de aproximadamente 30% da intensidade máxima em ambos os protocolos. B) A determinação do LA por meio da VFC foi factível e associada com as respostas de lactacidemia, tanto no cicloergômetro como no *leg press*. C) Os sujeitos apresentaram similaridade no comportamento dos índices da VFC com o incremento da intensidade em ambos os protocolos. D) O *leg press* proporcionou aumento mais acentuado da PAS a partir da intensidade correspondente ao LA, bem como aumento da lactacidemia após esta intensidade, em relação ao exercício dinâmico.

Variáveis durante o exercício descontínuo no cicloergômetro vs leg press: Quanto aos maiores valores das variáveis cardiovasculares (PAS, PAD e FC) e menores valores dos índices da VFC (rMSSD, SD1 e RMSM) no pico do exercício em relação ao repouso, no exercício realizado tanto no cicloergômetro como no *leg press* (Tabela 2), mostrou que em ambas modalidades ocorrem ajustes hemodinâmicos, metabólicos e autonômicos da FC na tentativa de suprir a demanda causada pela atividade física (14).

Tanto no exercício realizado no cicloergômetro como no *leg press*, os índices da VFC (rMSSD, SD1 e RMSM) diminuíram com o incremento da intensidade, seguido pela estabilização a partir de 30% da intensidade máxima (Figura 1 A, B e C, respectivamente). Portanto, este comportamento dos índices rMSSD e SD1 refletem redução da modulação parassimpática (28-30) com o incremento das intensidades seguido pela estabilização na intensidade correspondente ao LA, já o índice RMSM que reflete a VFC total (modulação simpática e parassimpática) (29,31), também apresentou comportamento semelhante em ambos

os protocolos possivelmente devido à retirada vagal. Quanto aos índices da VFC, não foram verificadas diferenças entre os protocolos, sugerindo que além do comportamento semelhante das respostas autonômicas cardíacas, não houve diferenças dessas respostas durante o exercício realizado seja no cicloergômetro, seja no *leg press*. Portanto, estes resultados indicam que, em relação à modulação autonômica cardíaca, o exercício resistido realizado no *leg press* apresenta a mesma magnitude de resposta no controle autonômico da FC, quando comparados nas mesmas intensidades relativas em protocolos descontínuos. Estes aspectos podem, assim, indicar segurança na realização desses protocolos, uma vez que os índices representativos da atividade vagal são importantes indicadores de risco cardiovascular (32,33).

Quanto ao comportamento do lactato sanguíneo, os valores obtidos em ambos os protocolos foram praticamente os mesmos até 30% da intensidade máxima, aumentando de forma acentuada após esta intensidade no exercício realizado seja no cicloergômetro, seja no *leg press* (Figura 1 D). Nesse limite ocorre a transição do metabolismo aeróbio para o anaeróbio (1,2), predominando o fornecimento de energia via metabolismo anaeróbio acima desse ponto, o que pode ser justificado seja pelo maior recrutamento de unidades motoras, seja pelo maior recrutamento de fibras do tipo IIx (glicolíticas), seja pela maior concentração de catecolaminas circulantes (34,35).

Quanto aos maiores valores de lactacidemia no protocolo resistido nas intensidades acima de 30% da 1RM quando comparados ao protocolo em cicloergômetro (Figura 1 D), este fato possivelmente está relacionado com as alterações hemodinâmicas diferenciadas entre estes dois tipos de exercício. Apesar de ambos os protocolos (cicloergômetro e *leg press*) serem realizados de forma dinâmica, o exercício de *leg press* apresenta componente isométrico nas transições das fases concêntrica-excêntrica e excêntrica-concêntrica, sendo este componente estático mais

acentuado principalmente quando executado nas intensidades mais elevadas, promovendo alterações hemodinâmicas da musculatura, semelhantes às do exercício estático (36). Quando a tensão muscular aumenta significativamente, ocorre colapso dos vasos sanguíneos devido ao aumento da pressão intramuscular ser maior que a do capilar, acarretando uma redução do fluxo sanguíneo e, portanto, da oxigenação da musculatura em atividade, desencadeando alterações do metabolismo muscular que resultam em maior produção de lactato sanguíneo (36-38). Entretanto, este acúmulo mais acentuado de lactato sanguíneo nas intensidades acima de 30% da intensidade máxima durante o exercício no *leg press*, quando comparado ao exercício no cicloergômetro, resultou em maior fadiga e interrupção mais precoce do exercício, como mostrado na Tabela 2, pelo menor valor médio em percentual da intensidade máxima atingida pelos voluntários durante o protocolo descontínuo no *leg press* ($55 \pm 6 \%$) em comparação com o cicloergômetro ($63 \pm 8\%$).

Tanto no exercício realizado no cicloergômetro como no *leg press*, foi observado aumento progressivo da PAS com o incremento das intensidades (Figura 2 A), o que era esperado, já que o valor da PAS aumenta proporcionalmente à intensidade do esforço e à massa muscular mobilizada (39). Além disso, estudos relataram que o aumento da PAS durante o exercício é mediado principalmente pelo aumento da modulação simpática, que atua não só nos ajustes cardíacos, mas, também, nos vasculares periféricos (resistência vascular periférica) (37). O aumento da modulação simpática com o incremento das intensidades de carga pode ser verificado pela progressiva redução dos iR-R em ambos os protocolos, bem como pelo significativo aumento do delta de FC a partir de 30% da intensidade máxima tanto no cicloergômetro como no *leg press* (Figura 2 C e D, respectivamente).

O aumento mais acentuado da PAS no protocolo resistido em relação ao cicloergômetro a partir de 30% da intensidade máxima, reforça a hipótese de que há maior compressão capilar na musculatura em atividade durante o protocolo no *leg press*, devido ao maior componente estático neste tipo de exercício em intensidades mais altas que promovem o aumento da resistência vascular periférica (18,39), além disso, alguns autores (18,40) relatam que a PAS tende a aumentar principalmente na fase concêntrica do exercício de força. A compressão capilar dos músculos ativos, aliada ao aumento no débito cardíaco durante o exercício de resistência, pode aumentar significativamente a PAD nesse tipo de exercício (41), fato também observado em nosso estudo pelo aumento da PAD a partir dos 40% da intensidade máxima no protocolo em *leg press*. Como esperado, a PAD pouco variou durante o exercício no cicloergômetro, uma vez que, como é sabido, tende a permanecer próxima dos níveis de repouso durante exercícios de natureza aeróbia (42).

Limiar de anaerobiose: Como mostrado na Tabela 3, o LA foi próximo de 30% da intensidade máxima em ambos os protocolos não havendo diferenças entre os métodos de análise: lactacidemia e VFC (rMSSD e SD1). Além disso, os métodos utilizando os índices da VFC mostraram-se concordantes com a lactacidemia tanto no exercício descontínuo no cicloergômetro (Figura 3 A e B) como no *leg press* (Figura 4 A e B), além de apresentarem moderadas correlações (Figura 3 C e D e Figura 4 C e D). Desta forma, é possível inferir uma estreita relação entre as respostas metabólicas e do controle autonômico da FC em ambos os tipos de exercícios, e que possíveis fatores periféricos como: 1) o aumento do recrutamento de unidades motoras, 2) o maior recrutamento de fibras do tipo IIx, 3) o aumento de catecolaminas circulantes e, 4) a redução do fluxo sanguíneo da musculatura ativa, sejam detectados por receptores periféricos denominados de mecanorreceptores e metaborreceptores (fibras do tipo III

e tipo IV), transmitindo essas informações ao sistema nervoso central, desencadeando respostas eferentes por meio das modulações vagal e simpática (37,43,44).

Limitações e considerações metodológicas do estudo: Algumas limitações devem ser consideradas neste estudo, como a diferença de posicionamento dos voluntários para a realização do exercício dinâmico no cicloergômetro e do exercício resistido em *leg press* 45° nos quais foram aplicados os testes de exercício. No cicloergômetro utilizado neste estudo os sujeitos permaneceram na posição sentada com os MMII posicionados abaixo da linha do quadril. Já no *leg press*, os sujeitos permaneceram na posição semi inclinada, com angulação do tronco de 45° em relação ao solo e com os MMII posicionados acima da linha do quadril. Apesar de não encontrarmos diferenças entre os valores de FC, VFC e PA na condição de repouso no equipamento, não é possível afirmar que estas diferenças no posicionamento não tenham influenciado a magnitude das respostas observadas.

Outro fator metodológico importante a ser considerado foi a diferença no tempo de realização de cada percentual de esforço entre o protocolo descontínuo no cicloergômetro e no *leg press*. O protocolo resistido proposto neste estudo foi realizado com 24 repetições em um período de 2 min, similarmente aos protocolos propostos na prática de exercícios resistidos (principalmente de *endurance*) enquanto que no cicloergômetro o tempo foi de 3 min. Por outro lado, acreditamos que o aumento do número de repetições em cada intensidade percentual da 1RM poderia ser um fator limitador ainda maior para a aplicabilidade clínica do mesmo, conforme constatamos em estudos prévios (11).

Consideramos importante o contraste entre estes dois tipos de exercícios (dinâmicos e resistidos) para o melhor entendimento das respostas fisiológicas e para a prescrição destas modalidades de exercício, uma vez que cada uma delas tem sua especificidade em relação aos

benefícios para a saúde dos idosos. Neste sentido, é necessário ressaltar que estudos têm mostrado (45-47) que os maiores benefícios são obtidos com a associação destes dois tipos de exercício, uma vez que melhorias relacionadas com a força muscular, coordenação motora e equilíbrio estão associadas com a melhora da capacidade aeróbia (8,9,14).

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste estudo verificamos que as respostas de VFC foram concordantes com as respostas de lactacidemia na determinação do LA nos protocolos de exercícios descontínuos, tanto no exercício físico dinâmico como no exercício resistido de MMII em idosos aparentemente saudáveis, podendo a VFC ser considerada uma ferramenta útil na prática clínica para determinação da intensidade correspondente ao LA. Além disso, o protocolo resistido apresentou semelhantes valores e comportamento da modulação parassimpática cardíaca com o incremento das intensidades em um protocolo descontínuo, fracionado em intensidades relativas da máxima. Tais resultados podem ter impacto na prescrição de exercício físico nesta população, uma vez que a modulação vagal cardíaca é um importante indicador de proteção cardiovascular. No entanto, precauções devem ser tomadas em relação aos valores pressóricos que esta modalidade de exercício proporciona, principalmente nas intensidades de esforço acima do LA.

Agradecimento

Este estudo recebeu apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (Processos: 2009/51976-2 e 2009/01842-0).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.
2. Svedahl K, MacIntosh BR (2003) Anaerobic threshold: the concept and methods of measurement. *Can J Appl Physiol* 28:299-323.
3. Davis JA, Rozenek R, DeCicco DM, Carizzi MT, Pham PH (2007) Comparison of three methods for detection of the lactate threshold. *Clin Physiol Funct Imaging* 27:381-384.
4. Moreira SR, Arsa G, Oliveira HB, Lima LCJ, Campbell CSG, Simões HG (2008) Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. *J Strength Cond Res* 22:1108–1115.
5. de Sousa NM, Magosso RF, Pereira GB, Leite RD, Arakelian VM, Montagnolli AN, et al (2011) The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. *Clin Physiol Funct Imaging* 31:376-381.
6. Beckers PJ, Possemiers NM, Van Craenenbroeck EM, Van Berendoncks AM, Wuyts K, Vrints CJ, et al (2012) Comparison of three methods to identify the anaerobic threshold during maximal exercise testing in patients with chronic heart failure. *Am J Phys Med Rehabil* 91:148-155.
7. Marques-Neto SR, Maior AS, Maranhão Neto GA, Santos EL (2012) Analysis of heart rate deflection points to predict the anaerobic threshold by a computerized method. *J Strength Cond Res* 26:1967-1974.

8. Brill PA, Macera CA, Davis DR, Blair SN, Gordon N (2000) Muscular strength and physical function. *Med Sci Sports Exerc* 32:412-416.
9. Andrews GR (2001) Promoting health and function in an ageing population. *BMJ* 322:728-729.
10. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60:2020-2027.
11. Simões RP, Mendes RG, Castello V, Machado HG, Almeida LB, Baldissera V, et al (2010) Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *J Strength Cond Res* 24:1313-1320.
12. Morrissey MC, Harman EA, Johnson MJ (1995) Resistance training modes: Specificity and effectiveness. *Med Sci Sports Exerc* 27:648–660.
13. Kraemer WJ, Adams KJ, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al (2002) Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exer* 34:364–380.
14. Lambert CP, Evans WJ (2005) Adaptations to aerobic and resistance exercise in the elderly. *Rev Endocr Metab Disord* 6:137-143.
15. de Sousa NM, Magosso RF, Pereira GB, Souza MV, Vieira A, Marine DA, et al (2012) Acute cardiorespiratory and metabolic responses during resistance exercise in the lactate threshold intensity. *Int J Sports Med* 33:108-113.
16. Beere PA, Russell SD, Morey MC, Kitzman DW, Higginbotham MB (1999) Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation* 100:1085-1094.

17. Atkins JM, Matthews OA, Blomqvist CG, Mullins CB (1976) Incidence of arrhythmias induced by isometric and dynamic exercise. *Br Heart J* 38:465-471.
18. MacDougall JD, Tuxen D, Sale DG, Moroz JR, Sutton JR (1985) Arterial blood pressure response to heavy resistance exercise. *J Appl Physiol* 58:785-790.
19. Neder JA, Andreoni S, Castelo-Filho A, Nery LE (1999) Reference values for lung function tests. I. Static volumes. *Braz J Med Biol Res* 32:703-717.
20. Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14:377-381.
21. Wilborn C, Greenwood M, Wyatt F, Bowden R, Grose D (2004) The effects of exercise intensity and body position on cardiovascular variables during resistance exercise. *J Appl Physiol* 7: 9–35.
22. American College Sports Medicine Position Stand (1998) The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 30:975-991.
23. Kraemer WJ, Fry AC (1995) Strength testing: development and evaluation of methodology. *Physiological assessment of human fitness*. Champaign IL, Human Kinetics pp115–138.
24. Antila K (1979) Quantitative characterization of heart rate during exercise. *Scand J Clin Lab Invest* 8:153–155.
25. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Takala TES, Seppänen T, Huikuri, HV (1996) Quantitative beat-to-beat analysis of heart rate dynamics during exercise. *Am J Physiol* 271:244–252.
26. Mourot L, Bouhaddi M, Perrey S, Rouillon JD, Regnard J (2004) Quantitative Poincaré plot analysis of heart variability: effect of endurance training. *Eur J Appl Physiol* 91:79–87.

27. Bland JM, Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1:307-310.
28. Stein PK, Boisner MS, Kleiger RE, Conger BM (1994) Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J* 127:1376-1381.
29. Task Force of European Society of Cardiology and North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996) Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 93:1043-1065.
30. Tulppo MP, Mäkikallio TF, Seppänen T, Laukkanen RT, Huikuri HV (1998) Vagal modulation of heart rate during exercise: Effects of age and physical fitness. *Am J Physiol* 274:424-429.
31. Van-ravenswaaij-arts CMA, Kollée LAA, Hopman CW, Stoeling GBA, Geijn HP (1993) Heart rate variability. *Ann Intern Med* 18:436-447.
32. Schwartz PJ, La Rovere MT, Vanoli E (1992) Autonomic nervous system and sudden cardiac death. Experimental basis and clinical observations for post-myocardial infarction risk stratification. *Circulation* 85:177-91.
33. Cole CR, Blackstone EH, Pashkow FJ, Snader CE, Lauer MS (1999) Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *N Engl J Med* 341:1351-1357.
34. Brooks GA (1991) Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc* 23:895-906.
35. Mazzeo RS, Tanaka H (2001) Exercise prescription for the elderly – current recommendations. *Sports Med* 31:809-818.
36. Petrofsky JS, Phillips CA, Sawka MN, Hanpeter D, Stafford D (1981) Blood flow and metabolism during isometric contractions in cat skeletal muscle. *J Appl Physiol* 50:493-502.

37. Mitchell JH (1990) Neural control of the circulation during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 22:141-154.
38. Mitchell JH, Victor RG (1996) Neural control of the cardiovascular system: insights from muscle sympathetic nerve recordings in humans. *Med Sci Sports Exerc* 28:S60-69.
39. Haslam DRS, McCartney N, McKelvie RS, MacDougall JD (1988) Direct measurements of arterial blood pressure during formal weightlifting in cardiac patients. *J Cardiopul Rehabil* 8:213-225.
40. Falkel JE, Fleck SJ, Murray TF (1992) Comparison of central hemodynamics between powerlifters and body builders during resistance exercise. *J Appl Sport Sci Res* 6:24-35.
41. Benn SJ, McCartney N, McKelvie RS (1996) Circulatory responses to weight lifting, walking, and stair climbing in older males. *J Am Geriatr Soc* 44:121-125.
42. Pollock ML, Franklin BA, Balady GJ, Chaitman BL, Fleg JL, Fletcher B, et al (2000) AHA Science Advisory. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: benefits, rationale, safety, and prescription: An advisory from the Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention, Council on Clinical Cardiology, American Heart Association; Position paper endorsed by the American College of Sports Medicine. *Circulation* 101:828-833.
43. Rowell LB, O'Leary DS (1990) Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 69:407-418.
44. Rowell LB (1992) Reflex control of the circulation during exercise. *Int J Sports Med* 13:S25-S27.
45. Fahlman M, Morgan a, McNevin N, Topp R, Boardley D (2007) Combination training and resistance training as effective interventions to improve functioning in elders. *J Aging Phys Act* 15:195-205.

46. Brennan B (2012) Combined resistance and aerobic training is more effective than aerobic training alone in people with coronary artery disease. *J Physiother* 58:129
47. Marzolini S, Oh PI, Brooks D (2012) Effect of combined aerobic and resistance training versus aerobic training alone in individuals with coronary artery disease: a meta-analysis. *Eur J Prev Cardiol* 19:81-94.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS E
DESDOBRAMENTOS FUTUROS**

CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESDOBRAMENTOS FUTUROS

O presente estudo trouxe importantes considerações relacionadas às respostas cardiovasculares e metabólicas em idosos aparentemente saudáveis durante modalidades distintas de exercícios (dinâmico e resistido) em protocolo descontínuo, bem como, contribuições relacionadas à determinação do limiar anaeróbio utilizando metodologia simples e prática:

- Demonstramos que os idosos têm respostas mais lentas da cinética da FC e do VO_2 nas transições repouso-exercício-recuperação durante o exercício dinâmico, refletindo em ajustes centrais e periféricos mais lentos na adaptação do organismo à estas diferentes situações. Portanto, consideramos estes parâmetros importantes na avaliação destes indivíduos podendo ser utilizados para estabelecer metas na prescrição de protocolos de treinamento, tal como indicadores dos efeitos do treinamento físico.

- Demonstramos que as respostas da VFC foram concordantes com as respostas da lactacidemia em relação à determinação do LA durante o protocolo descontínuo de exercício resistido, tanto nos jovens como nos idosos, indicando que a VFC foi capaz de determinar o LA, além disso, mostrou respostas atenuadas da modulação autonômica cardíaca durante o incremento das cargas nos idosos.

- Por fim, ao compararmos o protocolo descontínuo de exercício dinâmico com o exercício resistido, demonstramos que as respostas da modulação autonômica cardíaca foram iguais em ambas as modalidades de exercício, no entanto, o exercício resistido proporcionou valores mais altos da PA nas intensidades acima do LA. Além disso, as respostas da VFC foram

concordantes com as respostas de lactacidemia na determinação do LA, tanto no exercício dinâmico como no resistido.

Diante das considerações finais apresentadas, pesquisas futuras devem ser conduzidas relevando os seguintes aspectos:

- As respostas verificadas em nosso estudo foram baseadas em um único tipo de exercício resistido (*leg press*) e dinâmico (*cicloergômetro*), portanto, estudos envolvendo outros tipos de equipamento, como esteira rolante e outros tipos de exercício resistido, como cadeira extensora ou mesa flexora, contribuiria para mostrar se os mesmos resultados seriam obtidos com outros exercícios também envolvendo os membros inferiores.

- Aplicar protocolos de treinamento de exercício dinâmico e resistido nas populações estudadas e avaliar o efeito do treinamento destas duas modalidades de exercício sobre as variáveis analisadas, comparando os efeitos entre elas.

- Aplicar os protocolos utilizados neste estudo em outras populações, como por exemplo, pacientes cardiopatas, avaliando a aplicabilidade deste modelo na determinação do LA, e, portanto, na prescrição de exercícios nesta população.

6. APÊNDICES

APÊNDICE A

Versão em inglês do estudo I: “Slower responses of heart rate and oxygen consumption kinetics in on and off transient during discontinuous incremental exercise: effect of aging”

Manuscrito aceito na Revista Brasileira de Fisioterapia / Brazilian Journal of Physical Therapy

Abstract

The purpose of this study was to investigate the effect of aging on heart rate (HR) and oxygen consumption (VO_2) kinetics during the rest-exercise transition (*on*-transient) and the exercise-recovery transition (*off*-transient), in addition to investigating the influence of exercise intensity (mild and moderate) on the kinetic parameters of these variables. A total of 14 young (23 ± 3 years) and 14 elderly (70 ± 4 years) healthy men performed an incremental exercise testing on cycle-ergometer (linear ramp protocol) to determine the maximal power (MP). Discontinuous exercise testing was initiated at 10% of the MP with subsequent increases of 10% until exhaustion. The measurement of HR, ventilatory and metabolic variables and blood lactate were obtained at rest and during exercise. The lactate threshold was determined in each subject and was similar between the groups ($30 \pm 7\%$ of MP in young and $29 \pm 5\%$ of MP in elderly, $p > 0.05$). Blood lactate levels were stable until 30% of MP in both groups, with a marked increase ($p < 0.05$) once this threshold was surpassed. The HR and VO_2 kinetics (*on* and *off*-transient) were slower in elderly subjects compared to the younger cohort ($p < 0.05$), and the values were higher in moderate compared to the mild in young group. We conclude that elderly presented slower kinetics of HR and VO_2 in relation to young group, both *on* and *off* transition of dynamic exercise on a cycle ergometer. Moreover, the kinetic responses were slower in moderate intensity in relation to mild intensity in young subjects.

Keywords: Aging. Exercise. Kinetics. Blood lactate.

Introduction

Both the rest-exercise transition (*on*-transient) and exercise-recovery transition (*off*-transient) results in cardiac and metabolic changes in order to meet the energy demand of the organism and maintain homeostasis. However, not all individuals respond in a similar fashion as these responses are influenced by the health of various physiologic systems. These physiological adaptations can be non-invasively quantified by the kinetic behavior of certain variables, such as heart rate (HR) and oxygen consumption (VO_2) (1,2).

The analysis of the exercise kinetic response through these variables is becoming increasingly recognized as an important tool for the evaluation of exercise performance and health, given their ability to reflect cardiac autonomic modulation and aerobic metabolism (1-3). Faster HR and VO_2 kinetics are observed in young and athletes and is reflective of the good health status generally seen in these individuals (2). Delayed kinetic responses in both of these variables, both during the initial and final transient of exercise, reflecting increased risk of cardiovascular mortality (2,4). In this sense, factors that can induce changes in the central and peripheral responses against a physical exercise, such as the intensity level of effort, seem to influence the kinetic responses of these variables (5,6).

Previous studies show that elderly subjects have changes in cardiac autonomic control related to the aging process itself, and these changes show a particularly marked reduction in parasympathetic modulation (7-9). Reduction in cardiac output, peripheral blood capillaries and muscle metabolism, which can promote changes related to transport and use of oxygen by the body, which are important when taken into consideration the individual's ability to perform some physical activity (10-12).

These aforementioned factors which are related to the aging process can be positively improved by aerobic physical training (13,14). In this context, there are different training protocols proposed with the goal to optimally improve the aerobic performance (15). One type of training that have shown success in relation to aerobic adaptations is the discontinuous protocol, which is associated with training intensities near the anaerobic threshold (AT), promoting a significant improvement in the oxidative resynthesis of adenosine triphosphate (ATP) (16,17). Furthermore, this type of protocol may be used for evaluation in submaximal intensity and is

useful for non-medical health care professionals, as it does not produce maximum stress, and thus the potential for cardiovascular events. Therefore, the discontinuous protocol can be an alternative to the prescription of physical activity in healthy subjects and patients with pathologies (18,19).

Considering the systemic changes that occur with aging and the importance of better understanding the metabolic and the cardiovascular system adjustments during the transition rest-exercise and exercise-recovery in this population, the aim of this study was to test the hypothesis that elderly subjects have impairment in the kinetics of HR and VO_2 in both *on* and *off* stages of discontinuous cycle ergometer exercise, and that the exercise intensity (mild and moderate) can influence the kinetic parameters of these variables

Methods

Study design and population

This was a prospective, cross-sectional, controlled study involving 28 men separated into two groups: 1) 14 healthy young men aged between 20 and 30 years (young group – YG) and, 2) 14 healthy elderly men aged between 60 and 80 years (elderly group – EG). Additionally all subjects were considered to be in good health based on clinical, physical examination and laboratory tests. Subjects were excluded if they had skeletal muscle and/or joint pain, cardiopulmonary, metabolic or neurologic diseases, or difficulty in performing the exercise protocol used in this study. All participants signed a written informed consent and the study protocol was approved by the University Ethics Committee.

Experimental Procedures

General procedures and orientations: All subjects were evaluated in the same period of the day to avoid different responses of physiological variables due to circadian changes. The experiments were carried out in a climatically controlled room at 22-24°C and relative air humidity at 50-60%, and performed on different days separated by a seven day interval. Each

subject was instructed to avoid caffeinated, alcoholic or other stimulants on the night before and day of the tests, to not perform moderate or heavy exercise on the day before the application of the protocols, to avoid heavy meals within two hours of the tests and to get a good night's sleep the night before data collection. Before beginning the test on each experimental day, the subjects were interviewed and examined to confirm their state of good health and the occurrence of a normal night's sleep. The volunteers were oriented not to speak unnecessarily during the evaluation to avoid interfering with the capture of the electrocardiograph signal, and to communicate any alteration whatsoever in the general state before, during or after the application of the protocols.

Anthropometric evaluation: Height and body weight were measured with volunteers barefoot and lightly clothed, being used for this scale with an estadiometer (Welmy R-110, Santa Barbara do Oeste, SP, Brazil). The body mass index (BMI) was calculated by dividing the body weight in kilograms by height in meters squared (kg/m^2).

Incremental exercise testing: Previously, the volunteers were evaluated by a physician and this examination consisted of anamnesis, resting 12-lead electrocardiography (ECG) (Win Cardio System, Micromed, Brasília, Brazil), and symptom-limited exercise testing on a cycle ergometer. This exercise test was performed to ensure a normal physiologic response to exertion and to determine the maximal power to subsequently apply during the discontinuous exercise test. The protocol was performed in an erect position on an calibrated, electromagnetically braked, cycle ergometer (Quinton Corival 400, Groninger, Netherlands) with gas exchange and ventilator variables being analyzed breath-by-breath through a tightly fitted facial mask, using a portable telemetric system (Oxycon Mobile, Viasys Healthcare, Hoechberg, Germany). The exercise protocol consisted of: a) 1 min at rest; b) 4 min with 4W at 60 rpm; c) an incremental phase with 15 to 30 Watts/min (using a ramping protocol); and d) 4 min of recovery period. During the incremental phase, power (in Watts) was progressively increased so that the duration of this phase of the test was between 8 and 12 min (20). The subjects were actively encouraged throughout the test to maintain a pedaling rate of 60 rpm by observing a pedal rate meter. They pedaled to the limit of tolerance with active encouragement from the investigators (20).

The volunteers were monitored constantly by 12-lead ECG and R-R intervals (R-Ri) were recorded by a heart beat monitor (Polar S810i, Kempele, Oulu, Finland). The blood pressure (BP) was measured every 3 min of incremental phase of the protocol using the auscultatory method (sphygmomanometer Missouri, Embu, Sao Paulo, Brazil) and exertional symptoms were assessed by the modified Borg Scale (21). The criteria for test interruption were: systolic blood pressure (SBP) > 220 mmHg, HR predicted by age (220 - age), presence of plateau in VO_2 responses even with the increased workload (VO_2 maximum), onset important cardiac arrhythmias or significant ECG changes, and inability to maintain pedaling speed around 60 rpm.

Discontinuous exercise testing: Initially the subjects remained at rest on the equipment for 5 minutes, and after this period, the discontinuous exercise protocol was initiated at 10% of the maximal power (MP) achieved during the incremental protocol, with subsequent increases of 10%. Each phase lasted 3 minutes and the subjects were instructed to maintain a pedaling rate of 60 rpm during the test and report the presence of any symptoms that would preclude the continuation of the test (dizziness, malaise, fatigue, etc). Blood pressure and perceived level of exertion obtained using the modified Borg Scale (21) was determined at the end of each phase. In addition, the subjects were monitored by ECG and the R-Ri recorded by the heart beat monitor throughout the test period.

The recovery periods between load changes was 5 min or until BP and HR variables returned to baseline. The criteria for interruption of the test were: incapacity of the volunteer to perform the movement within the mechanics established, accentuated increase in systolic blood pressure – SBP (greater than 200 mmHg), reaching submaximum HR (85% of maximum HR), appearance of electrocardiograph alterations and / or inability to maintain a pedaling rate of around 60 rpm.

Blood samples were taken before the first effort (after an initial 5 minutes of rest) and immediately after the end of each load effort. Blood samples were obtained via earlobe puncture after sterilizing the area with alcohol using appropriate lancets and disposable gloves. Samples were analyzed by a blood lactate analyser (Yellow Springs Instruments – YSI 1500 Sports Lactate Analyzer, Ohio, USA), which was calibrated according to the manufacturer's instructions before each testing session.

Data Analysis

To perform the analysis of the kinetic variables in mild and moderate intensities, the anaerobic threshold (AT) was determined during the discontinuous protocol by analyzing of blood lactate, thereby considering the lactate threshold (LT)

Lactate threshold: To determine LT, the lactate curves were generated for each subject and two investigators independently analyzed the curves. The LL was defined as the intensity where blood lactate increased substantially (inflection point of the curve) (22-25).

Definition of intensities: Based on the load corresponding to the LT for each volunteer, the intensity of effort called as mild and moderate intensity was defined as less than the LT (less than 10% of MP) and how the intensity above the LT (over 10% of MP), respectively.

Kinetics analysis: The HR and VO₂ data obtained during the discontinuous exercise testing were filtered and entered to SigmaPlot 10.0 software to be analyzed. The model used for fitting the kinetic response in the rest-exercise transition (60s of rest condition + 180s of exercise) and in exercise-recovery transition (60s of exercise condition + 180s of rest) was respectively:

$$\text{on-transient: } Y_{(t)} = Y_{(BL)} + A (1 - e^{-(t-TD)/\tau})$$

$$\text{off-transient: } Y_{(t)} = (A \cdot e^{-(t-TD)/\tau}) + Y_{(BL)}$$

Where Y represents the variable under analysis at any time (*t*); Y_(BL) is the baseline value of HR or VO₂; A is the amplitude; TD is the time delay, and τ is the time constant of the exponential response of interest, i.e., the time taken to reach 63% of the steady state response. The A and BL describe the parameters related to the primary component of Y axis (HR or VO₂), the τ and TD describe the parameter related to x axis (time) (26). For VO₂ analysis, we deleted the data relative to the first 20s after onset, i.e. the cardio-dynamic on phase (27). The overall kinetics of HR and VO₂ was determined by the mean response time (MRT). To determine the parameters of the best curve fitting a nonlinear algorithm of least squares was used. It adopts the minimization of the sum of square errors as a criterion for convergence (28).

Statistics

Based on time constant values of VO_2 of the control group in a previously published manuscript (27), a sample size for the current study was estimated using the GraphPad StatMate software, version 1.01. Indeed, to have 80% chance of detecting a significant difference in time constant at an α level of 0.05, the power calculation indicates that each of two groups needed a sample of 8 subjects. The data distribution was verified by the Shapiro-Wilk test, and when normality had been confirmed the data were expressed in mean and standard deviation. The unpaired Student *t*-test was utilized to compare the anthropometrics variables between YG and EG, as to compare the variables at rest and peak between the groups of the incremental exercise test. Since the paired Student *t*-test was used to compare the variables obtained in the rest and peak conditioning in each group during the incremental testing. Two-way ANOVA for repeated measurements was used to compare the responses of blood lactate considering the group effects (YG vs. EG), intensity (resting and percentage of MP) and the interaction between effect and intensity to the discontinuous exercise protocol. The effects of group (YG vs. EG), intensity (above vs. below of the AT) and the interaction between them (group vs. intensity) was used in comparisons of kinetic variables *on* and *off*, both of the HR and VO_2 . Tukey-Kramer *post-hoc* was utilized to identify differences. The probability of Type 1 error occurrence was established at 5% for all tests ($\alpha = 0.05$). The data were analyzed utilizing the SPSS version 13.0 statistical software package (SPSS, Chicago, Illinois, USA).

Results

Flow of participants and anthropometric characteristics: Of 39 volunteers recruited to fulfill the inclusion criteria of the study (19 YG and 20 EG), 11 were excluded (5 YG and 6 EG): 6 individuals due to muscle or joint pain (2 YG and 4 EG), 4 refused to continue (2 YG and 2 EG) in the study once enrolled and 1 young due to technical limitations. Finally, 28 subjects were evaluated and assigned to either the YG (14 young) or EG (14 elderly). The anthropometric characteristics for both groups are presented in Table 1. The YG presented a lower height and body mass than the EG, however, BMI was similar between groups, and the subjects in both groups had a BMI between 18.5 and 29.9 kg/m^2 and were classified as eutrophic or overweight according to the criteria of the World Health Organization (29).

Cardiovascular, ventilatory and metabolic variables of incremental exercise testing: Regarding the cardiovascular variables during the symptom-limited test, we found that only diastolic blood pressure (DBP) did not increase significantly from rest to maximal exertion. However, the comparison between groups showed a higher maximal HR in the YG when compared to the EG, as well as, the MP achieved on cycle ergometer at peak exercise (Table 2). The ventilatory and metabolic variables increased significantly from rest to peak exercise, and with exception of breath rate (BR), all values were higher in YG compared to EG (Table 2).

Discontinuous exercise testing: All subjects achieved at least 50% of MP during discontinuous exercise testing, which was the maximal power for 1 participants (of EG); 60% was the maximal power for 15 participants (5 of YG and 10 of EG); 70% was the maximal power for 10 participants (8 of YG and 2 of EG), therefore, just 2 subjects reached 80% of maximal power (1 of YG and 1 of EG).

Blood lactate response during discontinuous exercise testing and lactate threshold: The metabolic shift point determined by blood lactate (LT) was determined in each subject, and the mean value relative of lactate threshold in YG was $30 \pm 7\%$ and in EG was $29 \pm 5\%$ (showed by arrow in Figure 1). Figure 1 illustrates the behavior of blood lactate with the increments in percentage of MP and showed a significant increase from 40% MP in relation to the rest condition (R), 10% and 20% MP in both groups, however there was no difference between the YG and EG.

Kinetics responses of HR and VO₂: Figure 4 shows the kinetic responses of HR and VO₂ for YG and EG, both during rest-exercise transition (*on* transient) and during exercise-recovery transition (*off* transient). It was observed that the EG presented higher values of τ , TA and MRT in relation to YG on stages *on* and *off* the kinetics of the HR (Figure 4 A, C and E) and VO₂ (Figure 4 B, D and F) for the two applied intensities (below and above the AT). In addition, YG showed higher values of τ and the MRT of the kinetics of HR and VO₂ in the load above the AT, both *on* and *off* transition of exercise (Figure 4 A, B, E and F). Since the elderly showed higher values of TD and MRT only during the VO₂ during *on* transient of kinetics (Figure 4 D and F).

Discussion

Summary of findings: Our main findings are summarized as follows: (a) the *on* and *off* kinetic of HR and VO₂ were slower in elderly subjects compared to their younger counterparts

during mild-moderate intensity exercise on a cycle ergometer; (b) only in the young, the kinetics of HR and $\dot{V}O_2$ was slower in the moderate compared with mild intensity; (c) average blood lactate remained relatively stable until a workload of 30% of MP and increased significantly after this percentage in both groups (YG and EG).

Variables of incremental exercise testing: As was expected, the EG showed lower values for MP and HR peak as well as ventilatory and metabolic variables compared to the YG, which can be explained by the known muscular and cardiorespiratory changes caused by aging (8,12). These age-related physiologic changes are key determinants of the earlier termination of incremental exercise in comparison with young subjects.

Blood lactate response and lactate threshold in discontinuous exercise: The metabolic shift point determined by blood lactate was very close between the groups, ie, the behavior of this variable with increasing loads was practically stable until 30% of MP in both groups, with a marked increase thereafter (Figure 1). These results reflect that after this workload (30% of MP) there is a predominance of anaerobic metabolism in relation to aerobic metabolism, ie, the lactate is produced faster than it can be removed (30,31).

This increased production of blood lactate after 30% of MP observed in a discontinuous protocol may be associated with a higher recruitment of motor units and an increase in muscle fiber recruitment with greater anaerobic characteristics. With increase of intensity in cycle ergometer, there is initially recruitment of oxidative fibers, but due to possible exhaustion of aerobic metabolism, a greater percentage type IIx (glycolytic) fibers are recruited in an attempt to meet the required energy demands, resulting in an increase in glycogenolysis and lactate production (32,33). Another possible factor that may influence the control of lactate production is the beta-adrenergic stimulation of active muscle, as previous studies have shown a positive correlation between the concentration of catecholamines and blood lactate. Whereas catecholamine stimulates glycolysis and glycogenolysis, increased sympathetic activity is a primary mechanism generating the acceleration of glycolysis, thereby increasing blood lactate during incremental exercise (32,34).

Slower HR and $\dot{V}O_2$ kinetics responses and differences between intensities: The higher values of τ , TD and MRT in the EG in relation to the YG, both in the rest-exercise transition as well as the exercise-recovery transition in intensities below and above of LT (mild and moderate

intensities), demonstrates a slowing response of HR and VO_2 kinetics with aging (Figure 4). The transition phase from rest to dynamic exercise results in adaptive changes in HR and increased cardiac contractility, in order to meet the energy demand imposed by the active musculature (3,12). The response of the on-transient in dynamic exercise follows a well-defined pattern, which is primarily modulated by the autonomic nervous system (35), with vagal withdrawal and a concomitant increase in sympathetic autonomic modulation (1,2) resulting in a cardioacceleration directed toward increasing peripheral blood flow and supply the energy demand of muscle tissue involved in the task (35,36).

In this sense, the slower response of HR in the *on*-transient observed at mild and moderate exercise intensities in EG may indicate impairment of vagal modulation with aging. In this context, our results corroborate other studies (7-9) that found changes in cardiac autonomic modulation in the elderly by analysis of heart rate variability (HRV); these authors (7-9) reported a significant reduction in HRV concomitant to aging and this reduction was attributed to decreased parasympathetic modulation. The slower response of HR in the exercise-recovery transition in our results (Figure 4) is also another important factor observed in elderly subjects, since it represents a sluggish reactivation of vagal modulation at the end of exercise, followed by a slower reduction of the sympathetic modulation (8), reinforcing the impairment of cardiac autonomic modulation in elderly.

The slower response of VO_2 during the *on* and *off*-transient observed at mild-moderate intensities in EG (Figure 4) is possibly linked to factors related to adequacy of O_2 delivery, ie, there is a relationship between the limitation of O_2 delivery and an attenuated VO_2 kinetics response, a findings consistent with several previous studies assessing VO_2 kinetics in the elderly (37-40). However, the attenuated response of HR is one of the factors that may explain the slowness in the response of VO_2 in the EG, as aging causes a decrease in both cardiorespiratory fitness and attenuates the neuromuscular response to exercise (11). In this sense, the decrease in cardiac output, vascular capacity and blood flow to active muscles in the elderly, coinciding with a decline in muscle oxidative capacity and reduction of the arteriovenous difference of O_2 , among other factors, decreases the ability of the elderly to use the oxygen as effectively as younger individuals, explaining the differences in our results between these cohorts (10).

As for higher values of YG of τ and MRT of HR and VO_2 kinetics in the load above the AT, both *on* and *off* transition of exercise (Figure 4), our results showed that in moderate intensity the speed of responses of these variables is slower compared to the mild intensity. The highest values of τ in the moderate intensity may be due to the slow component normally present in this effort level, and the steady state is reached more slowly, moving the time constant to right (5). Previous studies (6,41) suggested that at low exercise intensities, the increase in cardiac output occurs with great contribution to the increase in stroke volume and heart rate, already at higher intensities, this increase is more dependent of the HR with lower contribution of stroke volume, giving slower increase in cardiac output, which can result in response slowed kinetics. As for the elderly, increased only TD and MRT in the *on* transition kinetics of VO_2 at moderate intensity in relation to mild, response that alone can not be explained, however, it is possible that the factors described above related to cardiac and metabolic changes are responsible by an already marked attenuation of these responses in the milder intensities and did not show major differences compared to moderate intensity in this population.

Limitations and practical applications: Some limitations should be considered in this study as the execution time of each intensity in the discontinuous protocol. Each percentage of PM was applied with duration of 180 seconds, which is a relatively short period for analysis of the kinetic behavior of the variables. However, similar time has been proposed in the literature for the kinetic analysis of VO_2 and HR with consistent findings (27). Furthermore, it was not removed phase I in the kinetic analysis of HR (cardiodynamic phase) which may have resulted in values of the faster time constant, however, the analysis without the exclusion of this period allows us consider the influence of withdrawal and resumption fast vagal activity in transitions rest-exercise-recovery, which makes it interesting to compare these responses between young and old.

We note that the discontinuous protocol using a cycle ergometer in this study was effective to analysis of behavior of blood lactate, and thus to determination of the LT in both younger and older cohorts. Furthermore, this type of protocol has proved advantageous in the analysis of HR and VO_2 kinetics (28,42,43) during the *on* and *off*-transient of exercise. In this context, we highlight the importance of the kinetic analysis as a tool in assessing the performance and overall health systems, given its ability to reflect the responses of the

autonomic modulation of heart and muscle metabolism. Another important methodological factor of study was the choice of intensities close to LT for the analysis of kinetic behavior, as it has been widely used in dynamic exercise prescription with the aim of improving aerobic performance in this subpopulation elderly.

It is necessary to emphasize that the practice of aerobic exercise has great relevance in systemic metabolic responses and consequently on HR and VO_2 kinetics. Many studies have reported an improvement in these kinetic variables with aerobic training in different populations such as transplant recipients (44,45), morbid obesity (46) and untrained subjects (47). The improvement in HR and VO_2 kinetics with aerobic training are possibly linked to important systemic changes such as enhanced myocardial contractility and therefore increased systolic stroke volume and cardiac output. In addition to the already widely known muscular adaptations such as improved endurance and peripheral muscle strength (48), increase of blood flow, of capillary and mitochondrial density, O_2 supply and improvement of muscle oxidative enzyme activity (5,48)

Conclusion

In conclusion, our data showed that the elderly have slower response kinetics of HR and VO_2 in relation to young people both in *on* and *off* transition of dynamic exercise on a cycle ergometer, and the kinetic responses were slower to moderate intensity in relation the mild on young subjects. In addition, the discontinuous protocol used in the present study evaluates the LT and the kinetics of VO_2 and HR, which are useful parameters for prescribing exercise in discontinuous protocols, as well as possible indicators of the effects of physical training, usually used in the elderly.

Acknowledgements

The authors thank all colleagues from the Unit of Cardiopulmonary Physiotherapy, Federal University of Sao Carlos (UFSCar), Brazil for their friendly collaboration. More importantly, however, they are indebted to the volunteers for their effort and enthusiastic cooperation

throughout the study. This study was supported by a Research Grant from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), São Paulo, Brazil (no. 2009/51976-2; no 2009/01842-0).

Ethical standards

This study was approved by the appropriate University Ethics Committee and all procedures are in accordance with the laws of the country and were performed in accordance with the ethical standards laid down in Declaration of Helsinki.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

References

1. Bell C, Paterson DH, Kowalchuk JM, Padilla J, Cunningham DA (2001) A comparison of modeling techniques used to characterize oxygen uptake kinetics during the on-transient of exercise. *Exp Physiol* 86:667-676.
2. Javorka M, Zila I, Balhárek T, Javorka K (2003) On- and off-responses of heart rate to exercise: relations to heart rate variability. *Clin Physiol Funct Imaging* 23:1-8.
3. Sietsema KE, Daly JA, Wasserman K (1989) Early dynamics of O₂ uptake and heart rate as affected by exercise work rate. *J Appl Physiol* 67:2535-2541.
4. Bearden S, Moffatt, RJ (2001) VO₂ and heart rate kinetics in cycling: transitions from an elevated baseline. *J Appl Physiol* 90:2081-2087.
5. Koppo K, Bouckaert J, Jones AM (2004) Effects of training status and exercise intensity on phase II VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 36:225-232.
6. Lepretre PM, Koralsztein JP, Billat VL (2004) Effect of exercise intensity on relationship between VO₂max and cardiac output. *Med Sci Sports Exerc* 36:1357-1363.

7. Melo RC, Santos MDB, Silva E, Quitério RJ, Moreno MA, Reis MS, et al (2005) Effects of age and physical activity on the autonomic control of heart rate in healthy men. *Braz J Med Biol Res* 38:1331-1338.
8. Vandeput S, Verheyden B, Aubert AE, Van Huffel S (2008) Nonlinear heart rate variability in a healthy population: influence of age. *Comput Cardiol* 35:53–56.
9. Takahashi AC, Porta A, Melo RC, Quitério RJ, Silva E, Borghi-Silva A, et al (2012) Aging reduces complexity of heart rate variability assessed by conditional entropy and symbolic analysis. *Intern Emerg Med* 7:229-235.
10. Neder JA, Jones PW, Nery LE, Whipp BJ (2000) The effect of age on the power/duration relationship and the intensity-domain limits in sedentary men. *Eur J Appl Physiol* 82:326-332.
11. Xu F, Rhodes EC (1999) Oxygen uptake kinetics during exercise. *Sports Med* 27:313-327.
12. Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, et al (2003) Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol* 95:1851–1860.
13. Deley G, Picard G, Taylor JA (2009) Arterial baroreflex control of cardiac vagal outflow in older individuals can be enhanced by aerobic exercise training. *Hypertension* 53:826-832.
14. Albinet CT, Boucard G, Bouquet CA, Audiffren M (2010) Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *Eur J Appl Physiol* 109:617-624.
15. Daussin FN, Zoll J, Dufour SP, Ponsot E, Lonsdorfer-Wolf E, Doutreleau S, et al (2008) Effect of interval versus continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 295:R264-272.
16. Demarie S, Koralsztein JP, Billat V (2000) Time limit and time at VO_2 max during a continuous and an intermittent run. *J Sports Med Phys Fitness* 40:96-102.
17. Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, et al (2000) Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol* 89:1793-1803.
18. Pichot V, Roche F, Denis C, Garet M, Duverney D, Costes F, et al (2005) Interval training in elderly men increases both heart rate variability and baroreflex activity. *Clin Auton Res* 15:107-115.

19. Wisloff U, Støylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo O, Haram PM, et al (2007) Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 115:3086-3094.
20. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ (1983) Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 55:1558-1564.
21. Borg GA (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc* 14:377-381.
22. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol* 35:236-243.
23. Moreira SR, Arsa G, Oliveira HB, Lima LCJ, Campbell CSG, Simões HG (2008) Methods to identify the lactate and glucose thresholds during resistance exercise for individuals with type 2 diabetes. *J Strength Cond Res* 22:1108–1115.
24. Simões RP, Mendes RG, Castello V, Machado HG, Almeida LB, Baldissera V (2010) Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *J Strength Cond Res* 24:1313-1320.
25. De Sousa NM, Magosso RF, Pereira GB, Leite RD, Arakelian VM, Montagnolli AN, et al (2011) The measurement of lactate threshold in resistance exercise: a comparison of methods. *Clin Physiol Funct Imaging* 31:376-381.
26. Motulsky HJ, Ransnas LA (1987) Fitting curves to data using nonlinear regression: a practical and nonmathematical review. *FASEB J* 1:365-374.
27. Chiappa GR, Borghi-Silva A, Ferreira LF, Carrascosa C, Oliveira CC, Maia J, et al (2008) Kinetics of muscle deoxygenation are accelerated at the onset of heavy-intensity exercise in patients with COPD: relationship to central cardiovascular dynamics. *J App Physiol* 104:1341-1350.
28. Engelen M, Porszasz J, Riley M, Wasserman K, Maehara K, Barstow TJ (1996) Effects of hypoxic hypoxia on O₂ uptake and heart rate kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol* 81:2500-2508.
29. World Health Organization (2000) Obesity: Preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation. *World Health Organ Tech Rep Ser* 894:1-253.
30. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ (1990) Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation* 8:II14-30.

31. Simões HG, Campbell CS, Kushnick MR, Nakamura A, Katsanos CS, Baldissera V, et al (2003) Blood glucose threshold and the metabolic responses to incremental exercise tests with and without prior lactic acidosis induction. *Eur J Appl Physiol* 89:603-611.
32. Brooks GA (1991) Current concepts in lactate exchange. *Med Sci Sports Exerc* 23:895-906.
33. Myers J, Ashley E (1997) Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest* 111:787-795.
34. Mazzeo RS, Marshall P (1989) Influence of plasma catecholamines on the lactate threshold during graded exercise. *J Appl Physiol* 67:1319-1322.
35. Rowell LB, O'Leary DS (1990) Reflex control of the circulation during exercise: chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol* 69:407-418.
36. Aubert AE, Seps B, Beckers F (2003) Heart rate variability in athletes. *Sports Med* 33:889-919.
37. Behnke BJ, Delp MD, Dougherty PJ, Musch TI, Poole DC (2005) Effects of aging on microvascular oxygen pressures in rat skeletal muscle. *Respir Physiol Neurobiol* 146:259-268.
38. DeLorey DS, Kowalchuk JM, Paterson DH (2004) Effects of prior heavy intensity exercise on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in young and older adult humans. *J Appl Physiol* 97:998-1005.
39. DeLorey DS, Kowalchuk JM, Paterson DH (2005) Adaptation of pulmonary O₂ uptake kinetics and muscle deoxygenation at the onset of heavy intensity exercise in young and older adults. *J Appl Physiol* 98:1697-1704.
40. Hughson RL, Tschakovsky ME, Houston ME (2001) Regulation of oxygen consumption at the onset of exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 29:129-133.
41. Davies CT, Di Prampero PE, Cerretelli P (1972) Kinetics of cardiac output and respiratory gas exchange during exercise and recovery. *J Appl Physiol* 32:618-625
42. Ferreira LF, Lutjemeier BJ, Townsend DK, Barstow TJ (2005) Dynamics of skeletal muscle oxygenation during sequential bouts of moderate exercise. *Exp Physiol* 90:393-401.
43. Paterson DH, Whipp BJ (1991) Asymmetries of oxygen uptake transients at the on- and offset of heavy exercise in humans. *J Physiol* 443:575-586.
44. Tomczak CR, Warburton DE, Riess KJ, Jendzjowsky NG, Esch BT, Liang Y, et al (2008) Pulmonary oxygen uptake and heart rate kinetics during the six-minute walk test in transplant recipients. *Transplantation* 85:29-35.

45. Zoll J, N'Guessan B, Ribera F, Lampert E, Fortin D, Veksler V, et al (2003) Preserved response of mitochondrial function to short-term endurance training in skeletal muscle of heart transplant recipients. *J Am Coll Cardiol* 42:126-132.
46. Castello-Simões V, Simões RP, Beltrame T, Bassi D, Catai AM, Ross A, et al (2012) Effects of aerobic exercise training on variability and heart rate kinetic during submaximal exercise after gastric bypass surgery - a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil* (Epub ahead of print).
47. Berger NJ, Tolfrey K, Williams AG, Jones AM (2006) Influence of continuous and interval training on oxygen uptake on-kinetics. *Med Sci Sports Exerc* 38:504-512.
48. Beere PA, Russell SD, Morey MC, Kitzman DW, Higginbotham MB (1999) Aerobic exercise training can reverse age-related peripheral circulatory changes in healthy older men. *Circulation* 100:1085-1094.

Table 1. Age and anthropometric measures.

	YG (n=14)	EG (n=14)
Age (years)	23 ± 3	70 ± 4*
Height (m)	1.80 ± 0.08	1.67 ± 0.04*
Weight (kg)	80 ± 10	74 ± 6*
BMI (kg/m ²)	25 ± 3	26 ± 2

Data are presented as mean ± SD. YG = young group; EG = elderly group; BMI = body mass index. *Significant difference ($p < 0.05$) between groups (unpaired *t*-test).

Table 2. Cardiovascular, ventilatory and metabolic variables obtained at rest and peak of dynamic incremental exercise testing.

Variables	YG (n=14)		EG (n=14)	
	Rest	Peak	Rest	Peak
Maximal Power (W)	-	242 ± 57	-	152 ± 27 [*]
<i>Cardiovascular</i>				
SBP (mmHg)	126 ± 8	179 ± 22 [†]	130 ± 11	176 ± 30 [†]
DBP (mmHg)	81 ± 7	83 ± 16	86 ± 7	89 ± 9
HR (bpm)	87 ± 12	169 ± 25 [†]	85 ± 13	138 ± 25 ^{†*}
<i>Ventilatory and Metabolic</i>				
BR (rpm)	19 ± 9	38 ± 9 [†]	20 ± 8	34 ± 7 [†]
V _T (L)	681 ± 285	2270 ± 563 [†]	802 ± 330	2116 ± 600 ^{†*}
V _E (L.min ⁻¹)	12 ± 4	103 ± 27 [†]	15 ± 5	70 ± 14 ^{†*}
VO ₂ (mL.kg.min ⁻¹)	4 ± 2	36 ± 5 [†]	5 ± 2	24 ± 5 ^{†*}
VO ₂ (mL.min ⁻¹)	337 ± 124	2852 ± 462 [†]	350 ± 115	1757 ± 389 ^{†*}
VCO ₂ (mL.min ⁻¹)	309 ± 97	3568 ± 616 [†]	321 ± 98	2191 ± 415 ^{†*}

Data are presented as mean ± SD. YG = young group; EG = elderly group; SBP = systolic blood pressure; DBP = diastolic blood pressure; HR = heart rate; BR = breath rate; V_T = tidal volume; V_E = minute ventilation; VO₂ = oxygen consumption. VCO₂ = carbonic gas production. [†]Significant difference (p<0.05) between rest and peak conditions (paired *t*-test). ^{*}Significant difference (p<0.05) between groups (unpaired *t*-test).

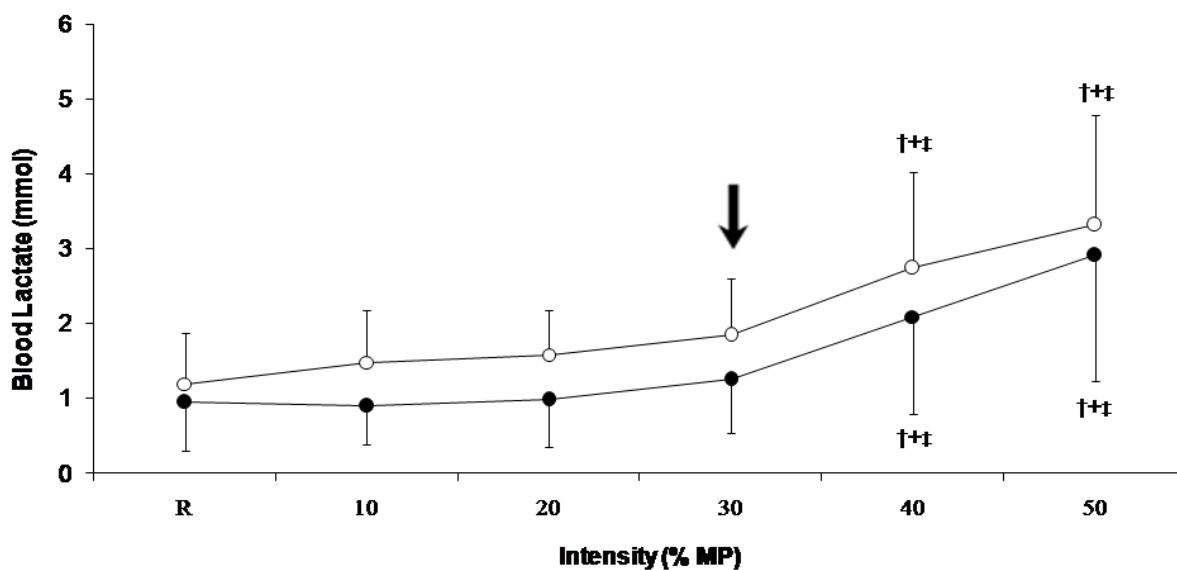


Figure 1. Data are presented as mean \pm SD. Behavior of blood lactate with the increments in percentage of maximum power (MP) achieved in incremental exercise test. R = rest condition; young group (\circ); elderly group (\bullet). Arrow indicates the mean value of the metabolic shift point. † Significant difference ($p < 0.05$) in relation to rest condition (R); †† $p < 0.05$ in relation to 10%; ††† $p < 0.05$ in relation to 20% (two-way ANOVA repeated measures).

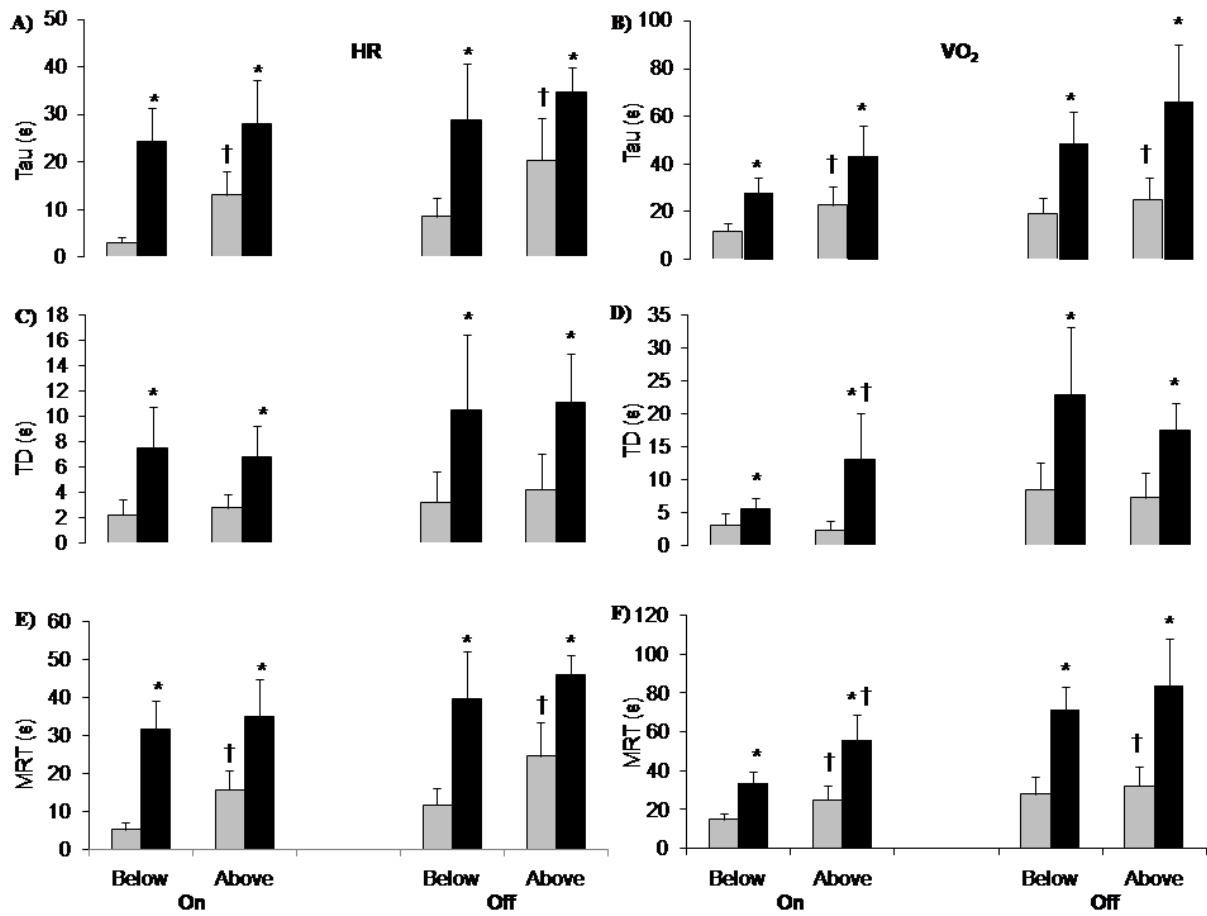


Figure 2. *on* and *off* kinetics variables of heart rate (HR) and oxygen consumption (VO₂) at intensities below and above the lactate threshold in the young group (■) and elderly group (■). Tau = time constant; TD = time delay; MRT = mean response time (MRT = Tau + TD). *Significant difference (p<0.05) between groups. †Significant difference (p<0.05) between the intensities below and above the lactate threshold (two-way ANOVA for repeated measures).

7. ANEXOS

ANEXO A

Carta de aceite do artigo (Estudo I)

São Carlos, 20 de Agosto de 2012.

Prezados(as) Senhores(as)

Informamos V.Sas. que o manuscrito nº Sci-1525 (186/2012), título **“Slower responses of heart rate and oxygen consumption kinetics in on and off transient during discontinuous incremental exercise: effect of aging”** de *Rodrigo Polaquini Simões, José Carlos Bonjorno Jr., Thomas Beltrame, Aparecida Maria Catai, Ross Arena, Audrey Borghi e Silva* foi aceito para publicação na Revista Brasileira de Fisioterapia em 20/08/2012.

Atenciosamente

Débora Bevilaqua Grossi

Revista Brasileira de Fisioterapia

Editor

ANEXO B

Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa (UFSCar)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
 PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
 Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos
 Via Washington Luís, km. 235 - Caixa Postal 676
 Fones: (016) 3351.8109 / 3351.8110
 Fax: (016) 3361.3176
 CEP 13560-970 - São Carlos - SP - Brasil
propq@power.ufscar.br - <http://www.propg.ufscar.br/>

CAAE 0001.0.135.000-10

Título do Projeto: Análise da cinética on e off da frequência cardíaca durante o exercício físico dinâmico versus resistido em idosos e jovens

Classificação: Grupo III

Procedência: Departamento de Fisioterapia

Pesquisadores (as): Rodrigo Polaquini Simões, Audrey Borqui e Silva (orientadora), Sérgio Luiz Brasileiro Lopes (colaborador)

Processo nº.:

Parecer Nº. 008/2010

1. Normas a serem seguidas

- O sujeito da pesquisa tem a liberdade de recusar-se a participar ou de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma e sem prejuízo ao seu cuidado (Res. CNS 196/96 – Item IV.1.f) e deve receber uma cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, na íntegra, por ele assinado (Item IV.2.d).
- O pesquisador deve desenvolver a pesquisa conforme delineada no protocolo aprovado e descontinuar o estudo somente após análise das razões da descontinuidade pelo CEP que o aprovou (Res. CNS Item III.3.z), aguardando seu parecer, exceto quando perceber risco ou dano não previsto ao sujeito participante ou quando constatar a superioridade de regime oferecido a um dos grupos da pesquisa (Item V.3) que requeiram ação imediata.
- O CEP deve ser informado de todos os efeitos adversos ou fatos relevantes que alterem o curso normal do estudo (Res. CNS Item V.4). É papel do pesquisador assegurar medidas imediatas adequadas frente a evento adverso grave ocorrido (mesmo que tenha sido em outro centro) e enviar notificação ao CEP e à Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA – junto com seu posicionamento.
- Eventuais modificações ou emendas ao protocolo devem ser apresentadas ao CEP de forma clara e sucinta, identificando a parte do protocolo a ser modificada e suas justificativas. Em caso de projetos do Grupo I ou II apresentados anteriormente à ANVISA, o pesquisador ou patrocinador deve enviá-las também à mesma, junto com o parecer aprobatório do CEP, para serem juntadas ao protocolo inicial (Res. 251/97, item III.2.e).
- Relatórios parciais e final devem ser apresentados ao CEP, inicialmente em ___/___/___ e ao término do estudo.

2. Avaliação do projeto

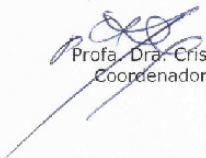
O Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Universidade Federal de São Carlos (CEP/UFSCar) analisou o projeto de pesquisa acima identificado e considerando os pareceres do relator e do revisor DELIBEROU:

A proposta de estudo apresentada atende às exigências éticas e científicas fundamentais previstas na Resolução 196/96, do Conselho Nacional de Saúde.

3. Conclusão:

Projeto aprovado

São Carlos, 11 de fevereiro de 2010.


 Profa. Dra. Cristina Paiva de Sousa
 Coordenadora do CEP/UFSCar

ANEXO C

Termo de consentimento livre e esclarecido



ANEXO 2

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO DE PARTICIPAÇÃO NO PROJETO DE PESQUISA:

"ANÁLISE DA CINÉTICA ON E OFF DA FREQUÊNCIA CARDÍACA DURANTE O EXERCÍCIO FÍSICO DINÂMICO VERSUS RESISTIDO EM IDOSOS E JOVENS"

Responsáveis:

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Audrey Borghi e Silva

Orientando: Rodrigo Polaquini Simões

Eu, _____, _____
 anos de idade, portador do RG n. _____, residente à
 Rua (Av): _____,
 n. _____, Bairro: _____,
 Cidade de: _____, Estado: _____, fui convidado
 a participar e voluntariamente concordo em participar do projeto de pesquisa
 acima mencionado que será realizado no Laboratório de Fisioterapia
 Cardiovascular – Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico do Departamento de
 Fisioterapia da Universidade Federal de São Carlos.

A pesquisa tem por finalidade avaliar as respostas da frequência cardíaca e do metabolismo e comparar entre indivíduos jovens e idosos.

Antes do início dos testes em questão, serei submetido a uma avaliação clínica, realizado por médico cardiologista, constando de exames físicos, eletrocardiograma em repouso nas posições deitado e sentado, bem como a um teste de exercício físico. O objetivo de tal avaliação é identificar qualquer manifestação de intolerância ao esforço (exercício) que contra-indique minha participação nesta pesquisa.

Após a avaliação clínica, serei submetido a uma série de testes de exercícios físicos (realizados em bicicleta ergométrica e de musculação para as pernas), sem a utilização de drogas medicamentosas ou de procedimentos



invasivos. Os testes servirão para avaliar a frequência cardíaca e as respostas do metabolismo muscular durante os exercícios realizados em bicicleta e musculação com as pernas.

Antes do início dos testes, serei instruído sobre os sinais e sintomas (falta de ar, vista embaçada, tremor, dor no peito, dor nas pernas, tontura) que devem me alertar a parar a seqüência teste. Durante a realização dos mesmos, serei observado por uma equipe treinada que estará alerta a qualquer alteração que possa sugerir a interrupção do esforço.

Com relação aos riscos, serei submetido a um teste de esforço físico limitado por sintomas, o qual apresenta critérios para a interrupção do mesmo (falta de ar, vista embaçada, tremor, dor no peito, dor nas pernas, tontura, ou ao meu pedido), reduzindo desta forma qualquer possível intercorrência. O teste será realizado na presença de um médico cardiologista e de equipe responsável pela pesquisa, sendo que no local de execução do teste (Núcleo de Pesquisa em Exercício Físico) existe material necessário em caso de intercorrência clínica cardiovascular durante atividades de esforço.

Quanto aos benefícios que terei com tais procedimentos, terei direito aos resultados de meus testes clínicos, sendo eles a avaliação cardíaca clínica realizada por um médico, exames laboratoriais (exames de sangue e urina), entre outros, todos com finalidades de avaliar a condição de meu coração. Além disso, será fornecido a mim o resultado dos testes de exercício para as pernas que eu realizar.

As informações obtidas durante as avaliações e os exames serão mantidas em sigilo e não poderão ser consultadas por pessoas leigas sem minha expressa autorização por escrito. Estas informações, no entanto, poderão ser utilizadas para divulgação dos resultados deste estudo em reuniões, eventos e congressos científicos, como também para publicação dos dados em revistas e jornais científicos, porém, sempre resguardando minha privacidade, não divulgando nenhum dado pessoal que possibilite minha identificação.

Eu li e entendi as informações precedentes. Além disso, todas as dúvidas que me ocorreram já foram esclarecidas, e quaisquer outras que surgirem no decorrer do trabalho serão questionadas aos pesquisadores. Além disso, atesto que foi me informado o telefone do laboratório o qual poderei

entrar em contato com qualquer um dos pesquisadores responsáveis pela pesquisa.

Estou ciente da importância dos testes de que participarei e procurarei seguir com o programa, no entanto, tenho a liberdade de abandonar o programa a qualquer momento, como também de retirar este termo de consentimento por mim assinado, caso seja de minha vontade. Receberei uma cópia deste termo de consentimento e outra cópia ficará disponível aos pesquisadores.

São Carlos, _____ de _____ de 2010.

Assinatura do voluntário

Responsáveis:

Profª. Drª. Audrey Borghi e Silva
Orientadora

Rodrigo Polaquini Simões
Orientando

Laboratório: (16) 3351-8705.

Comissão de ética da UFSCar: (16) 3351-8109.