



CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA (UNISUAM)

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciências da Reabilitação - PPGCR
Mestrado Acadêmico em Ciências da Reabilitação

GIOVANNA CARUSO GUIMARÃES

VALIDADE DAS RELAÇÕES ENTRE OS PERCENTUAIS DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA DE RESERVA E CONSUMO DE OXIGÊNIO DE RESERVA NA
PRESCRIÇÃO DO EXERCÍCIO DE CICLISMO E CORRIDA

RIO DE JANEIRO

2017

GIOVANNA CARUSO GUIMARÃES

VALIDADE DAS RELAÇÕES ENTRE OS PERCENTUAIS DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA DE RESERVA E CONSUMO DE OXIGÊNIO DE RESERVA NA
PRESCRIÇÃO DO EXERCÍCIO DE CICLISMO E CORRIDA

Dissertação de mestrado apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Ciências da
Reabilitação, do Centro Universitário Augusto
Motta, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Ciências da
Reabilitação.

Orientador: PROF. DR. FELIPE AMORIM DA CUNHA

RIO DE JANEIRO

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas UNISUAM

- 612.76 Guimaraes, Giovanna Caruso.
G963v Validade das relações entre percentuais da frequência cardíaca de reserva e consumo de oxigênio de reserva na prescrição do exercício de ciclismo e corrida./ Giovanna Caruso Guimaraes. - Rio de Janeiro, 2017.
99p.
- Dissertação (Mestrado em Ciências da Reabilitação). Centro Universitário Augusto Motta, 2017.
1. Teste de exercício cardiopulmonar. 2. Exercício isocalórico. 3. Quilocalorias.
4. Intensidade de treinamento. I. Título.

CDD 22 ed.

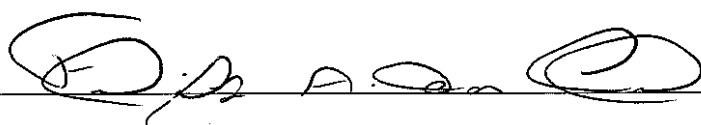
GIOVANNA CARUSO GUIMARÃES

VALIDADE DAS RELAÇÕES ENTRE OS PERCENTUAIS DA FREQUÊNCIA
CARDÍACA DE RESERVA E CONSUMO DE OXIGÊNIO DE RESERVA NA
PRESCRIÇÃO DO EXERCÍCIO DE CICLISMO E CORRIDA

Dissertação de mestrado apresentado ao
Programa de Pós-graduação em Ciências
da Reabilitação, do Centro Universitário
Augusto Motta, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Mestre em
Ciências da Reabilitação.

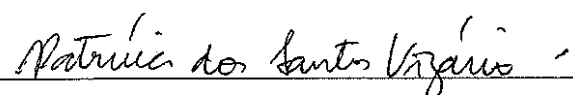
Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA



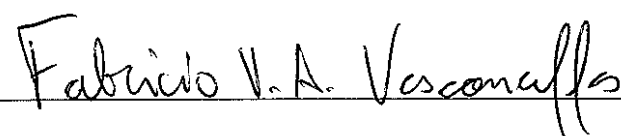
Orientador: Prof. Dr. Felipe Amorim da Cunha

UNISUAM



Prof. Dra. Patrícia dos Santos Vigário

UNISUAM



Prof. Dr. Fabrício Vieira do Amaral Vasconcellos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

RIO DE JANEIRO

2017

Dedico esse trabalho aos meus pais Maddalena e Wilson, com todo meu amor e gratidão, por tudo que fizeram por mim ao longo de minha vida. Aos meus irmãos, familiares, alunos, pacientes e amigos que sempre acreditaram e me apoiaram na busca da realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida e a possibilidade de empreender esse caminho evolutivo, por propiciar tantas oportunidades de estudos e por colocar em meu caminho pessoas amigas e preciosas. A minha família, em especial à minha mãe e a meu pai que sempre me incentivaram a alcançar caminhos cada vez mais distantes. Aos meus irmãos e parentes, em especial ao meu irmão Alexandre que sempre me incentivou, apoiou e fez de tudo para me ajudar. Aos meus amigos, que sempre compreenderam a importância do mestrado para mim. Aos meus alunos e pacientes, pela compreensão quando precisei me ausentar para as semanas de aula e reuniões de orientação. Aos amigos de Mestrado que compartilharam comigo esses momentos de aprendizado, especialmente à Helouane Àzara e Dalila Ribeiro. Rimos, choramos e nos ajudamos mutuamente. Ao meu orientador Felipe Amorim Da Cunha, um agradecimento carinhoso por todos os momentos de paciência, compreensão e competência. Aos componentes da banca de qualificação do projeto de dissertação que contribuíram com sugestões e propuseram melhorias. A todos os docentes do programa de mestrado em Ciências da Reabilitação UNISUAM que contribuem para a excelência do Programa, no qual tive a oportunidade de desenvolver esse trabalho. Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse sonho, seja direta ou indiretamente.

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

(Dalai Lama)

RESUMO

Introdução: A relação entre os percentuais de frequência cardíaca de reserva (% FCR) e consumo de oxigênio (% VO₂R) tem sido recomendada para prescrever a intensidade do exercício aeróbio, devido à suposta relação de equivalência de 1:1. No entanto, essa relação foi obtida a partir dos dados de testes de exercício progressivo máximo e a precisão da relação durante o exercício prolongado a uma taxa de trabalho constante não foi estabelecida. O presente estudo investigou a relação entre o %FCR e o %VO₂R durante um teste cardiopulmonar de exercício máximo (TCPE) e sessões isocalóricas episódios de ciclismo e corrida em esteira rolante. **Métodos:** Trinta homens fisicamente ativos [média (mínimo-máximo): idade, 24 (18-34) anos; estatura, 181 (163-198) cm; massa corporal, 84 (59-116) kg; índice de massa corporal, 25 (20-30) kg·m⁻²; porcentagem de gordura corporal, 18% (9% - 27%)] visitaram o laboratório três vezes para realizarem medidas antropométricas e de VO₂ em repouso, e TCPEs de ciclismo e corrida. Dez homens visitaram o laboratório duas vezes mais para investigar a validade das relações entre os %FCR-%VO₂R durante sessões isocalóricas de ciclismo e corrida a 75%VO₂R com dispêndio energético de 400 kcal. **Resultados:** O %VO₂R foi significativamente menor do que o %FCR nos TCPEs, especialmente durante a corrida ($P < 0,001$). Durante as sessões isocalóricas de exercício, observaram-se diferenças médias entre %FCR-%VO₂R de 6,5% e 7,0% para ciclismo e corrida, respectivamente ($P = 0,007$ a $P < 0,001$). Os percentuais de FCR e VO₂R aumentaram ao longo do tempo ($P < 0,001$), cuja taxa foi influenciada pela modalidade de exercício ($P < 0,001$). Em média, a frequência cardíaca foi 5 ($P = 0,007$) e 8 ($P < 0,001$) bat·min⁻¹ maior que o previsto para o segundo quartil de tempo para ciclismo e corrida, respectivamente; entretanto, o VO₂ observado foi menor do que o previsto em todos os quartis para o ciclismo e no primeiro quartil para a corrida. Consequentemente, o tempo para alcançar o dispêndio energético alvo foi maior do que o previsto ($P < 0,01$). **Conclusão:** A relação entre os %FCR-%VO₂R observada durante TCPEs não se transpôs com precisão para as sessões isocalóricas prolongadas de ciclismo e corrida. Além disso, as taxas de trabalho definidas pelas equações do American College of Sports Medicine para ciclismo e corrida superestimaram o VO₂ e o gasto energético.

Palavras-chave: Teste de exercício cardiopulmonar. Exercício isocalórico. Quilocalorias. Intensidade de treinamento.

ABSTRACT

Introduction: The relationship between the percentage of heart rate reserve (%HRR) and percentage of oxygen uptake reserve (%VO₂R) has been recommended for prescribing aerobic exercise intensity due to the supposed relation of equivalence of 1:1. However, this relationship was derived from progressive maximal exercise testing data and the accuracy of the relationship during prolonged exercise at a constant work rate has not been established. The present study investigated the relationship between %HRR and %VO₂R during a cardiopulmonary exercise test (CPET) and discrete bouts of isocaloric cycling and treadmill running. **Methods:** Thirty physically active men [mean (minimum –maximum): age, 24 (18-34) yr; height, 181 (163-198) cm; body mass, 84 (59-116) kg; body mass index, 25 (20-30) kg·m⁻²; percentage body fat, 18% (9%-27%)] visited the laboratory three times for anthropometrical and resting VO₂ assessments, and perform cycling and running CPETs. Ten men visited the laboratory twice more to investigate the validity of the %HRR-%VO₂R relationships during isocaloric bouts of cycling and running at 75% VO₂R with energy expenditures of 400 kcals. **Results:** The %VO₂R was significantly lower than the %HRR in the CPETs, especially during running ($P < 0.001$). During isocaloric exercise bouts, mean %HRR-%VO₂R differences of 6.5% and 7.0% were observed for cycling and running, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). The %HRR and %VO₂R increased over time ($P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($P < 0.001$). On average, heart rate was 5 ($P = 0.007$) and 8 ($P < 0.001$) beats·min⁻¹ higher than predicted from the second time quartile for cycling and running, respectively; however, observed VO₂ was lower than predicted during all quartiles for cycling, and the first quartile for running. Consequently, time to achieve the target energy expenditure was greater than predicted ($P < 0.01$). **Conclusion:** The %HRR-%VO₂R relationship observed during CPET data did not accurately transpose to prolonged isocaloric bouts of cycling and running. Additionally, work rates defined by the ACSM equations for cycling and running overestimated VO₂ and energy expenditure.

Keywords: Cardiopulmonary exercise testing. Isocaloric exercise. Kilocalories. Training intensity.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: Características dos estudos relativas a características da amostra, medida do VO ₂ de repouso e protocolo de teste de exercício	17
TABELA 2: Metodologia adotada para medida do VO ₂ de repouso em estudos que analisaram a relação entre os %FCR e %VO ₂ R.....	25
TABELA 3: Descrição dos protocolos de teste em estudos que analisaram a relação entre os %FCR e %VO ₂ R.	30
TABELA 4: Cargas de trabalho para adaptação a esteira rolante e cicloergômetro.	40
TABELA 5: Mean ± SD maximal physiological responses and time to exhaustion for the running and cycling cardiopulmonary exercise tests. During the tests, all subjects satisfied at least three of the four VO ₂ max test criteria stipulated in the ‘Procedures’ section.....	50
TABELA 6: Mean ± SD values for the Y intercept, slope, coefficient of determination (r ₂) and standard error of estimate (SEE) from individual linear regression models representing the relationships between heart rate reserve and oxygen uptake reserve obtained in	51
TABELA 7: Mean ± SD percentages of oxygen uptake reserve (%VO ₂ R) associated with different percentages of heart rate reserve (%HRR) determined during the cycling and running cardiopulmonary exercise tests (CPETs).....	51
TABELA 8: Mean ± SD predicted and observed heart rate reserve (HRR) and oxygen uptake reserve (VO ₂ R) for the 400 kcal isocaloric exercise bouts performed at 75% VO ₂ R. Observed values are given for each energy expenditure quartile.	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Fluxograma com o delineamento experimental do estudo.	38
FIGURA 2: Experimental design overview. VO_2 = oxygen uptake; $\text{VO}_{2\text{R}}$ = oxygen uptake reserve.....	48
FIGURA 3: Mean $\pm$ SD percentage of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (% $\text{VO}_{2\text{R}}$) at 100 kcal intervals during the 400 kcal continuous cycling and running bouts at 75% $\text{VO}_{2\text{R}}$. *Significantly different from the value assessed at 100 kcals ($P < 0.01$)......	52
FIGURA 4: Bland-Altman plots showing individual differences between the predicted and observed times to achieve energy expenditures of 400 kcals at 75% $\text{VO}_{2\text{R}}$ during cycling and running. The first and third horizontal dashed lines in each graph represent the 95%	55

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

ACSM - *American College of Sports Medicine*

DP - Desvio Padrão

EPE - Erro Padrão de Estimativa

FC - Frequência Cardíaca

FC_{máx} - Frequência Cardíaca Máxima

FC_{pico} - Frequência Cardíaca de Pico

FC Repouso - Frequência Cardíaca de Repouso

FCR - Frequência Cardíaca de Reserva

IMC - Índice de Massa Corporal

METs - Unidades Metabólicas

PSE - Percepção Subjetiva de Esforço

TCPE - Teste Cardiopulmonar de Exercício

V_E - Ventilação Pulmonar

VCO₂ - Produção de Dióxido de Carbono

VO₂ - Consumo de Oxigênio

VO_{2máx} - Consumo de Oxigênio Máximo

VO_{2pico} - Consumo de Oxigênio de Pico

VO_{2R} - Consumo de Oxigênio de Reserva

VO₂ Repouso - Consumo de Oxigênio de Repouso

SUMÁRIO

CAPÍTULO I - O PROBLEMA.....	14
INTRODUÇÃO	14
1.1 Limitações metodológicas para o cálculo do %VO₂R a partir dos critérios de medida para o VO₂ de repouso e máximo	22
<i>1.1.1 Medida do VO₂ de repouso</i>	<i>22</i>
1.2 Protocolo de teste de exercício máximo e suas implicações para o cálculo do %VO₂R	27
1.3 Respostas fisiológicas durante sessões prolongadas de exercício e suas implicações a hipotética relação de 1:1 entre os %FCR e %VO₂R.....	33
1.4 Objetivos do Estudo.....	36
<i>1.4.1 Objetivo geral.....</i>	<i>36</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	<i>36</i>
1.5 Organização do Estudo	36
REFERÊNCIAS	36
 CAPÍTULO II - MATERIAL E MÉTODOS	 38
2.1 Delineamento Metodológico.....	38
2.2 Amostragem	39
2.3 Medidas Antropométricas.....	39
2.4 Adaptação ao Trabalho em Esteira Rolante e Cicloergômetro	40
2.5 Consumo de Oxigênio de Repouso (VO₂ repouso).....	40
2.6 Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo	41
2.7 Teste Cardiopulmonar de Exercício Submáximo	42
2.8 Tratamento dos Resultados	43
<i>2.8.1 1º Experimento</i>	<i>43</i>

2.8.2 2º Experimento	43
REFERÊNCIAS	44
 CAPÍTULO III - ESTUDO ORIGINAL	45
3.1 INTRODUCTION	46
4 METHODS	47
4.1 Participants	47
4.2 Procedures	47
4.3 Statistical Analyses	50
5 RESULTS	51
5.1 Relationship between %HRR and %VO ₂ R	51
5.2 Predicted and observed values during submaximal exercise bouts	52
6 DISCUSSION	55
7 CONCLUSION.....	58
REFERENCES.....	59
 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
 REFERÊNCIAS	62
 ANEXOS	68
ANEXO I - Anamnese.....	68
ANEXO II - Termo de Informação e Consentimento.....	70
ANEXO III - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa	72
ANEXO IV - Formato Final do Artigo Submetido ao Journal of Strength and Conditioning Research	73

CAPÍTULO I - O PROBLEMA

INTRODUÇÃO

A prescrição do exercício físico tem por finalidade aprimorar a aptidão física, visto os benefícios proporcionados à saúde, ao mesmo tempo em que se busca garantir a segurança do praticante (ACSM 2013). Assim, o respeito às peculiaridades individuais quando da prescrição do exercício, no tocante à idade, especificidade da atividade, nível de aptidão física ou condição clínica, bem como a valorização dos objetivos perseguidos pelo praticante, pode favorecer uma maior adesão ao exercício, assegurando estímulo de treinamento adequado [sem esforço excessivo e/ou desnecessário desconforto], melhorando a segurança do programa de exercícios em diferentes populações (ACSM, 1995; ALBRIGHT et al., 2000; CHODZKO-ZAJKO et al., 2009; DONNELLY et al., 2009; GARBER et al., 2011; PESCATELLO et al., 2004).

Nesse contexto, o treinamento aeróbio é valioso por induzir adaptações fisiológicas associadas ao aprimoramento da saúde (JONES; CARTER, 2000; SWAIN; FRANKLIN, 2006; YUNG et al., 2009). Por permitir trabalhos de caráter contínuo envolvendo grandes grupamentos musculares em uma mesma atividade, os exercícios aeróbios têm sido indicados como estratégia para programas de emagrecimento e combate à obesidade (DA CUNHA, FELIPE A.; MONTENEGRO; FARINATTI, 2013; DONNELLY et al., 2009; JAKICIC; OTTO, 2005), na prevenção e tratamento não farmacológico da hipertensão arterial (JAMES et al., 2014; PESCATELLO et al., 2004), prevenção e controle do diabetes tipo 2 (SIGAL et al., 2006), entre outros. Todavia, para que se alcancem os benefícios do exercício aeróbio, é necessário estabelecer uma relação dose-resposta adequada. Para tanto, deve-se considerar o ajuste das variáveis do treinamento, a saber, intensidade, duração, frequência, e modo de exercício (ACSM, 2013; FLETCHER et al., 2013). Dentre estas, a intensidade das sessões de treinamento aeróbio tem recebido atenção particular na literatura devido a sua eficácia no aumento da aptidão cardiorrespiratória (KESSLER; SISSON; SHORT, 2012; SWAIN; FRANKLIN, 2006), na redução do percentual de gordura e massa gorda (TREMBLAY; SIMONEAU; BOUCHARD, 1994), e na diminuição dos fatores de risco cardiovascular, como colesterol total, HDL, triglicerídeos séricos, circunferência de cintura, sensibilidade à insulina e glicemia (IRVING et al., 2008; KESSLER et al., 2012; NYBO et al., 2010; TREMBLAY et al., 1994; TRILK et al., 2011).

As intensidades dos exercícios aeróbios podem ser estabelecidas de acordo com as recomendações do *American College of Sports Medicine* (ACSM), com base na frequência cardíaca máxima ($FC_{\text{máx}}$), unidades metabólicas (METs), consumo máximo de oxigênio ($VO_{2\text{máx}}$) e percepção subjetiva de esforço (PSE) (ACSM, 2006;2009;2013). As estratégias mais comuns se baseiam no relacionamento entre VO_2 e FC, em que permitem determinar e controlar por meio do VO_2 a carga de trabalho, o volume de treinamento e o dispêndio energético da sessão de exercício a partir das equações metabólicas do ACSM (ACSM, 2013). Durante muitos anos, a relação entre os diferentes percentuais de $VO_{2\text{máx}}$ ($\%VO_{2\text{máx}}$) e $FC_{\text{máx}}$ ($\%FC_{\text{máx}}$) nortearam as recomendações do ACSM. Todavia, o método do $\%FC_{\text{máx}}$ apresenta sérias limitações do ponto de vista prático. Há uma forte tendência de subestimar a intensidade de exercício em indivíduos em todas as faixas etárias, principalmente, aqueles com idades mais avançadas (WHALEY et al., 1992). O método também é inexato para estimar o $\%VO_{2\text{máx}}$ em exercícios de baixa intensidade. Por exemplo, valores de 40, 50, 60, 80 e 85% do $VO_{2\text{máx}}$ corresponderiam, respectivamente, a 55, 62, 70, 85 e 90% do $\%FC_{\text{máx}}$ (ACSM, 2006).

Outra forma de determinação da intensidade do exercício pela FC é dada pelo método de reserva, ou método de KARVONEN; KENTALA; MUSTALA (1957), definido como a porcentagem da diferença entre o valor máximo e de repouso ($\%FCR$)¹. O método de reserva assume que a FC não parte do zero no início do esforço físico, o que permite uma maior correspondência com a intensidade do exercício em termos de VO_2 , tendo sido inclusive sugerida a substituição do $\%FC_{\text{máx}}$ pelo $\%FCR$ (ACSM, 1998). Nas últimas recomendações do ACSM (2006;2009;2013) foi proposto, além disso, a utilização do método de reserva pelo VO_2 em substituição ao método do $\%VO_{2\text{máx}}$. Análogo à FCR, este conceito é definido como a porcentagem da diferença entre o valor máximo e de repouso ($\%VO_{2R}$)². Existe uma premissa que os $\%FCR$ teriam uma relação mais próxima com os $\%VO_{2R}$, em comparação com os $\%VO_{2\text{máx}}$ (SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998). Para o ACSM, isso aumentaria as chances de que a intensidade dos exercícios coincidissem com as prescrições baseadas na $\%FCR$. O $\%FCR$ relacionar-se-ia melhor ao $\%VO_{2R}$ em todos os níveis de aptidão cardiorrespiratória, especialmente em indivíduos com baixa capacidade de exercício e durante as zonas mais baixas de intensidade de treinamento (ACSM, 2013). Por exemplo,

¹ $FCR = (FC_{\text{MÁXIMA}} - FC_{\text{REPOUSO}}) \times \text{Intensidade (\%)} + FC_{\text{REPOUSO}}$

² $VO_{2R} = (VO_{2\text{MÁXIMO}} - VO_{2\text{REPOUSO}}) \times \text{Intensidade (\%)} + VO_{2\text{REPOUSO}}$

para promover saúde, o ACSM recomenda uma intensidade de exercício entre 40% e 85%FCR ou %VO₂R, e um dispêndio energético alvo entre 150 a 400 kcal por sessão de exercício. Além disso, conceito de atividade física de leve intensidade tem sido definida como 20-39%VO₂R-FCR, atividade de moderada intensidade 40%-59%VO₂R-FCR e atividade de vigorosa intensidade 60%-85%VO₂R-FCR (GARBER et al., 2011).

Em termos práticos, por meio da relação entre %FCR e %VO₂R estabelece-se um percentual desejado de intensidade dentro da faixa recomendada pelo ACSM, obtendo-se assim valores absolutos para a FC (bat·min⁻¹) e VO₂ (mL·kg⁻¹·min⁻¹) a serem aplicados no treinamento. Usualmente, a partir dos valores de VO₂ obtidos por meio do cálculo da equação de %VO₂R (*Gross VO₂*), são calculadas as velocidades de caminhada e corrida ou a potência de pedalagem (ACSM, 2013). Para cálculo do dispêndio energético das sessões de treinamento, considera-se em primeiro lugar o *NET VO₂* [*Gross VO₂* - *VO₂ de repouso*] (SWAIN, 2000). Em segundo lugar, é necessário converter o *NET VO₂* (mL·kg⁻¹·min⁻¹) para unidade absoluta (L·min⁻¹). Para tal, multiplica-se o valor em mL·kg⁻¹·min⁻¹ pela massa corporal (kg) e divide-se por 1000 (isto é, 1000 mL por litro). Posteriormente, para transformar o VO₂ (L·min⁻¹) em dispêndio energético (kcal·min⁻¹) é só multiplicá-lo por 5 (isto é, aproximadamente 5 kcal por L de O₂ durante o exercício em ritmo estável) (ACSM, 2013).

A Tabela 1 apresenta as características dos estudos que investigaram a suposta relação de equivalência entre os %FCR-%VO₂R. Foram encontrados 19 estudos entre o período de 1997-2016, contemplando um total de total de 1903 indivíduos entre 11 a 73 anos, sendo 615 do sexo feminino [média ± DP (idade: 42,5 ± 6,0 anos)] e 1255 do sexo masculino [média ± DP (idade: 41,0 ± 5,5 anos)].

Tabela 1: Características dos estudos relativas a características da amostra, medida do VO₂ de repouso e protocolo de teste de exercício.

Estudos	Sexo	Características da Amostra			Medida do VO ₂ de repouso	Tipo de Protocolo de Teste
		Idade	VO _{2máx}	População		
		(anos)	(mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)			
SWAIN; LEUTHOLTZ (1997)	M (33)	30 ± 1 anos	43,8 †	Aparentemente saudável	Sim	Escalonado
	F (30)	27 ± 1 anos	32,9 †			
SWAIN et al. (1998)	M (26)	26 ± 1 anos	51,8 ± 2,8	Aparentemente saudável	Sim	Bruce
	F (24)	25 ± 1 anos	38,2 ± 1,7			
ROTSTEIN; MECKEL (2000)	M (14)	25,2 ± 2,9 anos	54,1 ± 3,7 (corrida)	Estudantes de educação física	Sim	Escalonado
			34,6 ± 4,1 (ciclo de MMSS)			
BRAWNER; KETHEYIAN; EHRMAN (2002)	M (44)	62 ± 11 anos	19,4 ± 6,0	Infarto do Miocárdio (IM)	Não	Escalonado
	F (21)					
	M (46)	53 ± 12 anos	16,5 ± 4,4	Insuficiência Cardíaca (CHF)		
	F (26)					
	M (18)	55 ± 10 anos	20,9 ± 6,4	Fatores de Risco para DAC (RF)		
	F (24)					
BYRNE; HILLS (2002)	M (15)	42,5 ± 2,0 anos	30,3 ± 1,5	Obesos	Sim	Descontínuo
	F (17)	41,8 ± 2,8 anos	21,7 ± 1,1			
COLBERG; SWAIN; VINIK (2003)	M (8)	62,9 ± 2,8 anos	15,1 ± 1,3	Diabéticos com Neuropatia Autonômica (DAN)	Sim	Escalonado
	F (5)					
	M (6)	58 ± 2,2 anos	19,0 ± 2,1	Diabéticos sem Neuropatia Autonômica (No DAN)		
	F (4)					

Tabela 1 (cont.)

YOSHIGA; HIGUCHI; OKA (2003)	M(15)	62 ± 3 anos	~48,6 (remo) ~44,3 (corrida)	Homens idosos	Sim	Descontínuo
GASKILL et al. (2004)	M (275) F (345)	17-65 anos	36,0 (linha de base) 41,4 (pós-treinamento) 27,5 (linha de base) 32,8 (pós-treinamento)	Inicialmente sedentários	Não	Escalonado
HUI; CHAN (2006)	M (28) F (21)	13,9 ± 1,9 anos 13,1 ± 2,0 anos	48,4 ± 6,1 41,6 ± 3,6	Crianças e adolescentes	Sim	Descontínuo
DALLECK; KRAVITZ (2006)	M/F (48) F (24) M (24) M/F (24) F (12) M (12)	30,6 ± 7,8 anos 32,1 ± 8,6 anos 29,2 ± 6,8 anos 29,6 ± 7,4 anos 31,7 ± 9,2 anos 27,6 ± 4,6 anos	43,2 ± 7 (Elíptico) 39,7 ± 5,5 (Elíptico) 46,7 ± 6,7 (Elíptico) 44,3 ± 6,9 (Elíptico) 44,6 ± 7,4 (Esteira) 40,4 ± 6,1 (Elíptico) 41,1 ± 7,1 (Esteira) 48,2 ± 5,5 (Elíptico) 48,2 ± 6,1 (Esteira)	Aparentemente saudável	Sim	Balke modificado
LOUNANA et al. (2007)	M (11) M (15)	24,5 ± 1,2 anos 25,5 ± 0,9 anos	69,0 ± 2,2 72,3 ± 1,2	Ciclistas Amadores Ciclistas Profissionais	Sim	Escalonado

Tabela 1 (cont.)

MEZZANI et al. (2007)	M (40)	55 ± 7 anos	35.4 ± 10	Grupo controle	Sim	Rampa
	M (213)	56 ± 9 anos	16.1 ± 4	Insuficiência Cardíaca (uso de betabloqueador)		
	M (175)	58 ± 8 anos	15.3 ± 3	Insuficiência Cardíaca (sem betabloqueador)		
PINET et al. (2008)	M(8)/F(15)	T1 45 ± 7 anos	27.0 ± 3.4	IMC = 27.1-32.1 kg/m ²	Sim	Rampa
	M(9)/F(14)	T2 43 ± 7 anos	25.9 ± 4.2	IMC = 32.9-35.8 kg/m ²		
	M(10)/F(12)	T3 48 ± 4 anos	22.4 ± 4.1	IMC = 36.0-46.6 kg/m ²		
DAVENPORT et al. (2008)	F (80)	31.4 ± 4.3 anos	21.6 ± 3.8	Mulheres entre 16 ^a e 20 ^a semanas de gestação	Sim	Protocolo modificado de Balke
	F (26)	30.6 ± 4.1 anos	22.2 ± 3.9			
	(subgrupo - validação cruzada)					
CARVALHO; GUIMARAES; BOCCHI (2008)	27 pacientes (86%M)	50 ± 12 anos	19.6±6	Insuficiência Cardíaca	Sim	Protocolo modificado de Naughton
			(Otimizado com betabloqueador)			
	35 pacientes (75%M)	47 ± 10 anos	18±5			
			(Sem betabloqueador)			
CARVALHO et al. (2010)	19 pacientes (57%M)	46 ±12 anos	N.I.	Sedentários e receptores de transplante cardíaco (5.4 ± 3.3 anos após o transplante)	Sim	Protocolo modificado de Naughton
		31 ±11 anos				
CUNHA et al. (2010)	M(33)	21.0 ± 4.0 anos	52.6 ± 4.1 (protocolo em rampa) 48.4 ± 4.0 (protocolo de Bruce)	Homens saudáveis	Sim	Rampa e Bruce

Tabela 1 (cont.)

CUNHA et al. (2011)	M(28)	21 ± 4 anos	52.8 ± 4.2	Homens saudáveis	Sim	Rampa
			37.7 ± 6.2 (ciclismo)			
CUNHA et al. (2014)	M(16)	21 ± 4 anos	43.3 ± 5.0 (caminhada)	Estudantes universitários	Sim	Rampa
			43.8 ± 5.1 (corrida)			

† Valores relativos de $VO_{2\text{máx}}$ calculados por meio dos valores médios de massa corporal (kg) disponibilizado pelos autores. IMC = índice de massa corporal; MMSS = membros superiores; M = masculino; F = feminino. N.I. = não informado.

Apesar de sua aceitação, é válido mencionarmos que o método apresenta limitações derivadas, principalmente, da obtenção dos valores de $VO_{2\text{máx}}$ e VO_2 de repouso, assim como da metodologia empregada pelos estudos para observação e análise da relação entre os %FCR e os % VO_2R em diferentes populações. Em revisão sistemática, DA CUNHA, F. A.; FARINATTI PDE; MIDGLEY (2011) destacaram as seguintes limitações: a) os critérios para determinação VO_2 de repouso são deficitárias ou inexistentes em um bom número de estudos (ex.: adoção do valor de referência de $3.5 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), principalmente entre aqueles que estudos que apoiam a utilização da noção de % VO_2R em populações aparentemente saudáveis ou com níveis reduzidos de aptidão cardiorrespiratória; b) a maior parte dos estudos adotou teste incremental máximo para obtenção do $VO_{2\text{máx}}$ e estudo das relações entre os percentuais de FCR e VO_2R , com grande sobrecarga de trabalho entre os estágios, aumentando a chance de fadiga periférica e consequentemente, um menor alcance de VO_2 de pico – poucos foram os estudos que fizeram uso de protocolo de rampa, talvez mais adequado para esse tipo de comparação. Esses aspectos constituem limitações importantes, haja vista que o VO_2 de repouso e o $VO_{2\text{máx}}$ compõem a equação de VO_2R . Por fim, a validade da suposta relação de 1:1 entre %FCR e % VO_2R , obtida a partir de teste incremental máximo de curta duração, no contexto das rotinas de prescrição do exercício aeróbio, ainda é pouco clara.

Portanto, uma análise criteriosa dos aspectos metodológicos empregados pelos estudos para obtenção e análise destas variáveis e sua aplicabilidade para prescrição de exercício se faz necessário.

A busca dos estudos foi realizada nas bases de dados do MEDLINE, LILACS, SCIELO e Google acadêmico, sem restrições de data de publicação dos estudos. Buscas manuais também foram realizadas em listas de referências de artigos para rastrear estudos importantes a serem incluídos e que por alguma razão não apareceram na busca eletrônica.

Os termos usados como descritores principais para a busca foram: “*hrr*”, “*heart rate reserve*”, “*vo2r*”, “*oxygen uptake reserve*” “*vo2max*”, “*maximal oxygen uptake*”, “*exercise prescription*”, “*exercise intensity*”. Os sinônimos dos termos utilizados como descritores de busca foram retirados através da base Mesh no Medline e posteriormente foi feita a busca avançada nas bases de dados já citadas.

1.1 Limitações metodológicas para o cálculo do %VO₂R a partir dos critérios de medida para o VO₂ de repouso e máximo

1.1.1 Medida do VO₂ de repouso

Uma das limitações do método da reserva do VO₂ reside na obtenção dos valores de VO₂ em repouso. Em muitos casos, assumiu-se que 1 MET equivaleria a 3,5 mL·kg⁻¹·min⁻¹, mas sabe-se que vários fatores podem interferir nessa taxa, como idade, sexo, massa corporal, massa muscular, massa gorda, entre outros. BYRNE et al. (2005) mediram o VO₂ de repouso por calorimetria indireta em um grupo de 642 mulheres e 127 homens de 18 a 74 anos de idade e massa corporal de 35 a 186 kg. O VO₂ de repouso medido foi de 2,6 ± 0,4 (1,61-4,05) mL·kg⁻¹·min⁻¹, sendo significativamente menor que o valor de referência para 1-MET geralmente aceito, de 3,5 mL·kg⁻¹·min⁻¹. Os autores constataram, além disso, que o VO₂ de repouso tinha uma relação inversa com o índice de massa corporal (IMC): quanto menor o IMC, maior era o VO₂ de repouso. Houve, outrossim, influência do sexo e idade sobre o VO₂ de repouso. Nesse contexto e corroborando os achados de BYRNE et al. (2005), CUNHA; MIDGLEY; MONTENEGRO; et al. (2013) observaram que o valor médio de 3,21 (2,00-4,40) mL·kg⁻¹·min⁻¹ para o VO₂ de repouso foi significativamente menor do que o valor padrão de 3,5 mL·kg⁻¹·min⁻¹ em 125 homens saudáveis de 17 a 38 anos de idade (média ± SD: 23,2 ± 4,7), massa corporal de 52,6 a 110,9 kg (média ± SD: 73,5 ± 9,8) e IMC de 18,9 a 33,8 (média ± SD: 23,6 ± 2,3). Porém, os autores não encontraram correlação significativa entre o VO₂ de repouso vs. IMC ($r = -0,038$; $P = 0,68$). Portanto, surge uma questão: como explicar os achados divergentes na relação entre VO₂ de repouso e IMC entre os estudos de BYRNE et al. (2005) e CUNHA; MIDGLEY; MONTENEGRO; et al. (2013)? Nesse caso, é importante mencionar que o IMC apresenta uma forte associação com a gordura corporal em indivíduos com percentual de gordura elevado (ex.: indivíduos obesos e/ou com sobrepeso), como, por exemplo, a amostra investigada por BYRNE et al. (2005). Por outro lado, quando se trata de populações não obesas (eutróficas) caracterizadas por menor massa gorda e maior massa livre de gordura em sua composição corporal, como foi o caso da população investigada por CUNHA; MIDGLEY; MONTENEGRO; et al. (2013), o IMC parece não ser um fator determinante para o VO₂ de repouso. Logo, a associação entre VO₂ de repouso vs. IMC deve ser vista com cautela.

COMPHER et al. (2006), em estudo de revisão, analisaram os critérios metodológicos mais apropriados para medida do VO_2 de repouso. Dentre os principais critérios utilizados na medida do VO_2 de repouso, destacam-se: a) jejum de 4 a 6 h a fim de se evitar o efeito térmico do alimento; b) abstinência de café, álcool, nicotina ou quaisquer outros estimulantes – mínimo de 4h; c) período de repouso antes da medida – mínimo de 10 a 20 min; d) período de restrição de atividades físicas – mínimo de 2h para atividades moderadas e 14h para atividades vigorosas; e) tempo de medida – mínimo de 5 a 10 min, em condições de *steady state*, descartando-se os 5 minutos iniciais. Apesar disso, os autores reconheceram lacunas em relação ao tempo ideal de medida, assumindo, portanto, uma duração de 25 a 30 min para uma medida ideal. Na tentativa de suprir essa lacuna, CUNHA; MIDGLEY; MONTEIRO et al. (2013), investigaram o tempo ideal de medida em 30 voluntários do sexo masculino, sugerindo o seguinte protocolo: após 10 min de aclimatização, são necessários pelo menos 30 min contínuos de medida para atingir condições de *steady state* – coeficiente de variação $\leq 10\%$ para os valores de VO_2 e VCO_2 em situação de repouso.

Com base nessas recomendações, pode-se afirmar que há importantes limitações na maioria dos estudos que analisaram a relação entre %FCR e % VO_2R , ao menos em relação aos critérios adotados na obtenção da medida do VO_2 de repouso. A Tabela 2 apresenta, por exemplo, os critérios metodológicos e os valores médios $\pm$ DP para o VO_2 de repouso medido em diferentes populações. BRAWNER et al. (2002) e GASKILL et al. (2004) não fizeram qualquer tipo de análise ou medida do VO_2 de repouso, enquanto os demais adotaram diferentes metodologias na obtenção do VO_2 de repouso. Outros 7 estudos (BYRNE; HILLS, 2002; CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2010; CUNHA et al., 2014; HUI; CHAN, 2006; LOUNANA et al., 2007; PINET et al., 2008) satisfizeram praticamente todos os critérios necessários para a medida do VO_2 de repouso, destacando-se o tempo de medida utilizado de pelo menos 30 min. A única exceção deu-se para o período de jejum de 3 h, quando o mínimo sugerido seria de 4 h (BYRNE; HILLS, 2002; HUI; CHAN, 2006; LOUNANA et al., 2007).

Quando se analisam os estudos de SWAIN; LEUTHOLTZ (1997); (1998) com indivíduos saudáveis, percebe-se que dos cinco critérios apontados, somente dois foram respeitados: a abstinência de alimentos estimulantes e o tempo mínimo de medida de 5 min – que apesar de não atingirem a duração considerada ideal, não podem ser considerados errados. O estudo de ROTSTEIN; MECKEL (2000) respeitaram somente dois dos cinco critérios, quais sejam, 30 min de repouso prévios à medida e aferição do VO_2 por 5 min. Porém,

similarmente a outros dois estudos (CARVALHO et al., 2010; CARVALHO et al., 2008), os autores não apresentaram os valores médios obtidos para o VO_2 de repouso. No estudo de COLBERG et al. (2003) houve preocupação com o tempo de jejum (a partir da noite anterior à medida), restrição de atividades físicas por 24h, repouso de 10 min antes da aferição e 10 min para o tempo de medida. Os estudos de YOSHIGA et al. (2003), MEZZANI et al. (2007) e DAVENPORT et al. (2008) enfim, não satisfaz nenhum dos critérios recomendados por COMPHER et al. (2006).

Logo, poucos foram os estudos sobre a relação FCR e VO_2R que se preocuparam em respeitar critérios mínimos para obtenção do VO_2 de repouso. Por outro lado, o VO_2 de repouso é uma variável fundamental para o cálculo do VO_2R , consistindo de fato em uma das principais limitações do método de prescrição da intensidade do treinamento aeróbico com base nessa noção. CUNHA et al. (2010), por exemplo, investigaram se a adoção de valores mais precisos para o VO_2 de repouso pode influenciar na magnitude do erro para o cálculo de VO_2R , e consequentemente, em sua relação com a FCR. Os autores realizaram, respectivamente, três medidas de VO_2 de repouso para posterior cálculo do $\%\text{VO}_2\text{R}$ e análise de sua influência na relação com os $\%\text{FCR}$, juntamente com os protocolos de teste máximo de exercício. A primeira delas, denominada “*padrão*”, adotou todos os critérios de medida estabelecidos por COMPHER et al. (2006) na posição supina. As outras duas medidas de VO_2 de repouso, denominadas “*sentado*” e “*de pé*”, foram realizadas antes do teste cardiopulmonar de exercício (TCPE), utilizando critérios similares adotados por estudos anteriores que investigaram as relações entre $\%\text{FCR}$ e $\%\text{VO}_2\text{R}$. Os autores observaram que os $\%\text{VO}_2\text{R}$ calculados por meio da medida “*padrão*” para o VO_2 de repouso foram mais próximos dos $\%\text{FCR}$ do que quando calculados pela outras duas medidas – no caso, VO_2 de repouso “*sentado*” e “*de pé*”. Em outras palavras, isso significa que a adoção de critérios metodológicos mais eficazes para medida do VO_2 de repouso parece refletir em melhores resultados para os cálculos de reserva pelo VO_2 . Este fato passa a ser de fundamental importância, principalmente, em populações caracterizadas por baixos níveis de aptidão física e com idades mais avançadas. Estudos apontam, por exemplo, que indivíduos com menor aptidão física tendem a um menor VO_2 de repouso (POEHLMAN, 1989; SPEAKMAN; SELMAN, 2003). Portanto, a análise dos critérios metodológicos para medida do VO_2 de repouso torna-se de grande valia, principalmente, quando se trata de populações não-atletas.

Tabela 2: Metodologia adotada para medida do VO₂ de repouso em estudos que analisaram a relação entre os %FCR e %VO₂R.

ESTUDOS	CRITÉRIOS DE MEDIDA						RESULTADOS
	Tempo Jejum	Abstinência de café, álcool, nicotina, outros	Repouso (pré-medida)	Tempo de restrição de atividades físicas	Tempo de medida	Dados aproveitados pós-medida	Valores médios
SWAIN; LEUTHOLTZ (1997)	1h	24h	5 min	NA	5 min	< valores medidos em 60s contínuos	(H) 4,1 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ † (M) 3,9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
SWAIN et al. (1998)	1h	24h	5 min	NA	5 min	Média dos 2 min finais	(H) 3,4 ± 0,2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (M) 2,7 ± 0,2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
ROTSTEIN; MECKEL (2000)	3h	NA	30 min	NA	5 min	NA	NA
BYRNE; HILLS (2002)	3h	12h	45 min	12 h	30 min	Média dos últimos 10 min	(M) 2,78 ± 0,10 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (F) 2,46 ± 0,07 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
COLBERG et al. (2003)	Período da noite antecedente a medida	NA	10 min	24 h exercícios vigorosos	10 min	NA	(DAN) 2,9 ± 0,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (noDAN) 2,7 ± 0,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
YOSHIGA et al. (2003)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	Posições "sentado" e "de pé" 5,7 ± 2,9 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
HUI; CHAN (2006)	3 h	A partir do dia da medida	20 min	24 h exercícios vigorosos	20 min	Média dos últimos 5 min	(M) 3,9 ± 0,7 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (F) 3,2 ± 0,7 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
DALLECK; KRAVITZ (2006)	4 h	NA	5 min	12 h	NA	Média dos últimos 2 min	(M) 3,7 ± 0,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (F) 3,6 ± 0,4 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
LOUNANA et al. (2007)	3 h	24 h	20 min	24 h exercícios vigorosos	20 min	Média dos últimos 10 min	(AMAT) 4,22 ± 0,2 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (PRO) 4,35 ± 0,3 mL·kg ⁻¹ ·min ⁻¹

Tabela 2 (cont.)

MEZZANI et al. (2007)	NA	NA	3 min	NA	3 min	Média dos últimos 30 s	(N) $3,38 \pm 0,74 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (CHF) $2,68 \pm 0,67 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
PINET et al. (2008)	12 h	24 h	15 min	Somente na manhã do teste	45 min	Média dos últimos 20 min	Grupo T1 $2,7 \pm 0,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ Grupo T2 $2,4 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ Grupo T3 $2,3 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
DAVENPORT et al. (2008)	NA	NA	NA	NA	5 min	NA	(F) $3,7 \pm 0,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
CARVALHO et al. (2008)	3 h	24 h	NA	NA	NA	Valores obtidos nos últimos 30 s	NA
CARVALHO et al. (2010)	2 h	24 h	NA	NA	NA	Valores obtidos nos últimos 30 s	NA
CUNHA et al. (2010)	8 h	24 h	20 min	24 h	30 min	últimos 10 min últimos 2 min últimos 2 min	"Padrão" $3,0 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
	3 h	24 h	10 min	24 h	5 min		"Sentado" $3,7 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
	3 h	24 h	10 min	24 h	5 min		"Em pé" $4,1 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
CUNHA et al. (2011)	8h	24hs	20min	24hs	30 min	Média dos últimos 10 min	$2,9 \pm 0,4 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
CUNHA et al. (2014)	8h	24hs	10 min	24hs	40 min	Média dos últimos 5 min	$3,0 \pm 0,5 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

NA – Não relatado pelos autores.

† Valores relativos de VO_2 de repouso calculados por meio dos valores médios de massa corporal (kg) disponibilizado pelos autores.

1.2 Protocolo de teste de exercício máximo e suas implicações para o cálculo do %VO₂R

Outra questão a ser discutida reside no tipo de protocolo de teste de exercício adotado para analisar a relação entre os percentuais de FCR e VO₂R. Basicamente, há três tipos de protocolos (Tabela 3): protocolo de teste com incremento de carga progressivo por estágio (escalonado), protocolo de teste com incremento de carga descontínuo (intermitente) e protocolo de teste com incremento de carga contínuo (rampa). Destes, apenas 5 estudos utilizaram o protocolo rampa (CUNHA et al., 2011; CUNHA et al., 2010; CUNHA et al., 2014; MEZZANI et al., 2007; PINET et al., 2008), dois utilizaram protocolos descontínuos (BYRNE; HILLS, 2002; HUI; CHAN, 2006) e 12 fizeram uso de protocolos escalonados (BRAWNER et al., 2002; CARVALHO et al., 2010; CARVALHO et al., 2008; COLBERG et al., 2003; DALLECK; KRAVITZ, 2006; DAVENPORT et al., 2008; GASKILL et al., 2004; LOUNANA et al., 2007; ROTSTEIN; MECKEL, 2000; SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998; YOSHIGA et al., 2003).

SWAIN; LEUTHOLTZ (1997) adotaram, em estudo inicial, protocolo de teste em cicloergômetro com carga incremental a cada 3 min de estágio, até a exaustão. No segundo estudo, SWAIN et al. (1998) valeram-se do protocolo de BRUCE; KUSUMI; HOSMER (1973) para esteira rolante. Em ambos os casos, o maior tempo de estabilização (3 min/estágio) e a utilização de inclinações muito elevadas podem ter favorecido uma maior fadiga periférica e menor consumo de oxigênio de pico (CUNHA et al., 2010; MIDGLEY et al., 2008; MYERS et al., 1991). Os demais utilizaram protocolos de teste de esforço similares aos aplicados nos estudos de SWAIN; LEUTHOLTZ (1997); (1998), distinguindo-se em relação à determinação das cargas iniciais, incremento de carga por estágio e cadência do ciclo-ergômetro (ver Tabela 3).

Os protocolos de teste de exercício utilizados por BYRNE; HILLS (2002) e HUI; CHAN (2006), denominados descontínuos, tinham estágios de 4 min de trabalho para 2s min de recuperação e 3 min de trabalho para 1 min de recuperação, com incremento de 2,5% de inclinação a cada estágio, respectivamente. Esse tipo de protocolo é caracterizado por um maior tempo de duração de teste, proporcionado por uma forte descontinuidade no trabalho e longo período de estabilização nos estágios específicos, fatores que podem interferir negativamente na obtenção dos valores máximos de VO₂ (YOON; KRAVITZ; ROBERGS, 2007).

MYERS et al. (1991) verificaram que protocolos do tipo rampa apresentariam estimativas mais precisas da capacidade de exercício e uma maior confiabilidade na valorização dos índices para prescrição de treinamento, exatamente por se tratarem de protocolos individualizados, que promoveriam uma boa adaptação ao trabalho por meio de incrementos de carga lentos e progressivos, induzindo respostas hemodinâmicas e ventilatórias mais uniformes. Protocolos em rampa apresentariam, maior reprodutibilidade, além de levarem à aferição de um maior $VO_{2máx}$. Nesse sentido, CUNHA et al. (2010) investigaram a influência do protocolo para teste cardiopulmonar máximo de exercício em esteira (protocolo em rampa vs. protocolo de Bruce) sobre a relação entre os valores percentuais de FCR e VO_2R em 33 voluntários do sexo masculino. Foi possível observar uma diferença significativa para os valores de $VO_{2máx}$, onde os valores mais altos foram obtidos através do protocolo em rampa (diferença média de $4.2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$).

Além disso, os dois protocolos de testes em questão (rampa vs. Bruce) apresentaram diferentes relações entre os métodos de determinação da intensidade de esforço pela FC e VO_2 . No protocolo de Bruce, todas as relações estudadas foram bem próximas a linha de identidade, não havendo diferença entre os métodos de prescrição da intensidade do exercício pelo VO_2 (ex.: $\%VO_{2máx}$ e/ou $\%VO_2R$) em relação ao $\%FCR$. Por outro lado, não houve relação de equivalência entre os $\%FCR$ e $\%VO_2R$ no protocolo em rampa. Portanto, fica a pergunta: quais dos resultados devem ser levados em consideração para prescrição dos exercícios (ex. protocolo de Bruce)? O protocolo que estabeleceu um melhor relacionamento entre as variáveis estudadas? Ou o que promoveu melhores resultados na obtenção dos valores de $VO_{2máx}$ (ex.: protocolo em rampa)? O protocolo de Bruce, por exemplo, apresentou um erro padrão de estimativa (EPE) nas relações entre $\%FCR$ e $\%VO_2R$ mais elevado do que protocolo em rampa (ex.: 5-6% vs. 3%, respectivamente), correspondendo a uma diferença absoluta de $1,0 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Quando estes dois valores são considerados em conjunto (ou seja, diferença entre os valores de $VO_{2máx}$ e EPE), o valor total da diferença absoluta entre os protocolos de Bruce e rampa foi de $5,2 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Nesse caso, em intensidade de 70%FCR, um determinado participante teria uma FC alvo de 167 bpm e um VO_2 alvo de $37,7 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ e $32,8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, respectivamente.

De acordo com a equação metabólica do ACSM para corrida, isso representaria uma velocidade de execução de $11,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $9,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, respectivamente. Em outras palavras, a

prescrição do exercício com base no $\text{VO}_{2\text{máx}}$ obtido no protocolo de Bruce pode subestimar o volume de trabalho para uma dado % FCR em até 1-3 METs.

Tabela 3: Descrição dos protocolos de teste em estudos que analisaram a relação entre os %FCR e %VO₂R.

ESTUDOS	DESCRIÇÃO DOS PROTOCOLOS DE TESTE DE EXERCÍCIO							Cadência (Ciclo)
	Ergômetro	Tipo	Máximo	Submáximo	Estágio (min)	Carga _{inicial}	Incremento de Carga /estágio	
SWAIN; LEUTHOLTZ (1997)	Ciclo (MMII)	Escalonado	X		3	40 W (< experiência)	40 W (< experiência)	N.I.
						80 W (> experiência)	160 W (2º estágio) 40 W demais estágios	
SWAIN et al. (1998)	Esteira	Bruce	X		3	N.I.	N.I.	...
ROTSTEIN; MECKEL (2000)	Esteira	Escalonado	X		1	11.2 km·h ⁻¹	0,8 km·h ⁻¹	
						Inclinação de 0%	Inclinação de 1%·min ⁻¹ a partir do 4º estágio	
	Ciclo (MMSS)	Escalonado	X	X	5	30; 60; 80% FCR*	...	...
				X	1,5	30 W	15 W por estágio	50 rpm
BRAWNER et al. (2002)	Esteira	Escalonado	X		3	30; 60; 80% FCR*	...	...
BYRNE; HILLS (2002)	Esteira	Descontínuo	X		4 (E) 2 (R)	NA	2 METS/estágio	...
COLBERG et al. (2003)	Ciclo (MMII)	Escalonado	X		3	Velocidade constante (2 à 3,5 mp·h ⁻¹)	Inclinação de 2,5% (0,5 à 0,875 METs)	50 rpm
						0 W (mulheres) 20 W (homens)	20 W	
YOSHIGA et al. (2003)	Remo e esteira	Descontínuo	X			Remo 100W	Remo 25W	
						Esteira 100 m·min ⁻¹	Esteira 20 m·min ⁻¹	

Tabela 3 (cont.).

GASKILL et al. (2004)	Ciclo (MMII)	Escalonado	X	3	0 W (mulheres) 20 W (homens)	20 W	50 rpm
HUI; CHAN (2006)	Esteira	Descontínuo	X	3 (E)	8,0 km·h ⁻¹	2° e 3° estágios	
				1 (R)	Inclinação de 0%	(9,0 e 10,0 km·h ⁻¹); 4° estágio – velocidade constante (10,0 km·h ⁻¹) com incremento de 2,5% inclinação	
DALLECK; KRAVITZ (2006)	Esteira e Elíptico	Balke modificado	X	1	inclinação de 0%	Esteira: velocidade constante e incremento de 1% na inclinação até a fadiga voluntária. Elíptico: aumento contínuo da resistência e cadência.	
LOUNANA et al. (2007)	Ciclo (MMII)	Escalonado	X	3	0 W	50 W	80 a 100 rpm
MEZZANI et al. (2007)	Ciclo (MMII)	Rampa	X	...	10 W·min ⁻¹ (CHF) 15 W·min ⁻¹ (N)	...	60 rpm
CARVALHO et al. (2008)	Esteira	Naughton modificado	X	N.I.	N.I.	N.I.	N.I.
PINET et al. (2008)	Esteira	BSU/Bruce ramp protocol	X				

Tabela 3 (cont.).

CARVALHO et al. (2010)	Esteira	Naughton modificado	N.I.		N.I.	N.I.	N.I.	N.I.	
CUNHA et al. (2010)	Esteira	Rampa	X		1 min	Rampa: 60%VO _{2máx}	Rampa: 0,8 km·h ⁻¹ por min		
		Bruce			3 min	(~8,5 km·h ⁻¹ e 1% inclinação)	Bruce: 2 METs		
CUNHA et al. (2011)	Esteira	Rampa	X		X	60%VO _{2máx}			
				(40 min à 60, 70 e 80%VO ₂ R)	-	(8,5 km·h ⁻¹ e 1% inclinação)	0,8 km·h ⁻¹	-	
CUNHA et al. (2014)	Cicloergômetro		X			30 W·min ⁻¹	32 ± 4 W·min ⁻¹		
	Caminhada em esteira	Rampa				4,0 km·h ⁻¹ e inclinação à 60%VO _{2máx} .	0,22 km·h ⁻¹	55 rpm	
					-	Velocidade à 60%VO _{2máx} (8,6 km·h ⁻¹) e 1% inclinação	0,3%·min ⁻¹		
	Corrida em esteira							0,64 ± 0,04 km	

* Cargas determinadas a partir da resposta da FC obtida no teste máximo. N.I. = não informado pelos autores.

1.3 Respostas fisiológicas durante sessões prolongadas de exercício e suas implicações a hipotética relação de 1:1 entre os %FCR e %VO₂R

Outro aspecto decorre do fato de que, em rotinas de prescrição de exercício aeróbio, os percentuais de intensidade de FCR e VO₂R são aplicados por longos períodos de duração. O ACSM (2013) recomenda sessões com duração entre 20-60 min de exercício aeróbio contínuo ou acumulado. Nesse contexto, há dúvidas quanto à validade externa da hipotética relação de equivalência de 1:1 entre os diferentes percentuais de FCR e VO₂R, considerando populações com diferentes níveis de aptidão cardiorrespiratória. Não se sabe em que medida essa relação é influenciada pelo tempo de trabalho para uma intensidade constante ou variada. Por exemplo, a utilização da FC como um indicador da intensidade metabólica relativa baseia-se em estudos de validação que têm empregado o exercício de curta duração com aumento progressivo da intensidade (ver DA CUNHA, F. A. et al., 2011 para uma revisão). Em outras palavras, se a alteração na FC é um marcador válido de alteração da intensidade metabólica relativa durante o exercício prolongado realizado em diferentes condições ambientais ainda é incerta. Neste contexto, CUNHA et al. (2011) investigaram o relacionamento entre os %FCR-%VO₂R durante sessões prolongadas de corrida realizadas em três diferentes intensidades (60%, 70% e 80%VO₂R) e carga constante de trabalho em ambiente neutro (19°C a 22°C). O hipotético relacionamento de 1:1 entre os %FCR-%VO₂R não pode ser reproduzido e, em contraste com o que aparentemente ocorre durante teste incremental máximo (SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998), o erro percentual³ entre as variáveis aumentou com a intensidade de exercício. Numa perspectiva prática, esta é uma importante informação para prescrição de exercício, desde que estudos prévios têm adotado a estratégia de monitoramento da FC para ajustar a carga de trabalho correspondente à intensidade do exercício desejado e para garantir que os protocolos de treinamento sejam pareados pelo dispêndio energético (ex.: *isocalóricos*) em adultos saudáveis (GORMLEY et al., 2008), pacientes com insuficiência cardíaca (ROGNMO et al., 2004; WISLOFF et al., 2007), e adultos obesos (SCHJERVE et al., 2008). Em outras palavras, parece que controlar a intensidade do exercício utilizando a FC não seria o suficiente para assegurar que o volume de treinamento pretendido esteja sendo executado, particularmente em intensidades mais elevadas.

³ Erro Percentual = $(\%FCR - \%VO_2R) / \%FCR$

Por outro lado, a instabilidade nos relacionamentos entre os %FCR-%VO₂R durante o exercício contínuo pode afetar a intensidade de treinamento, especialmente em sessões de treinamento de moderada a máxima intensidade. É bem conhecido que, durante exercício prolongado com maior intensidade, pode ocorrer um componente lento da cinética de VO₂. Tais aumentos no VO₂ têm sido atribuídos a vários mecanismos fisiológicos, incluindo a ativação de grupos musculares adicionais, maior atividade muscular respiratória, recrutamento de fibras musculares do tipo II, aumento da temperatura muscular e níveis mais elevados de lactato sanguíneo, entre outros (JONES et al., 2011). Estes fatores podem também influenciar as respostas cardiovasculares durante exercício prolongado. O aumento no VO₂ está concomitante associado a uma diminuição no volume sistólico e um aumento compensatório na FC, com pouca variação do débito cardíaco, que é conhecido como *cardiovascular drift* (COYLE; GONZALEZ-ALONSO, 2001). Durante o exercício prolongado, o aumento da temperatura corporal e a hidratação mais baixa podem contribuir para uma diminuição da pressão de enchimento e do volume diastólico final, promovendo uma taquicardia ligeiramente maior (FRITZSCHE et al., 1999) e, provavelmente uma dissociação entre os %FCR e %VO₂R. A partir dessas considerações, pode-se pensar que são necessárias investigações adicionais sobre a aplicabilidade da relação entre os %FCR- %VO₂R durante sessões prolongadas de exercício envolvendo diferentes modalidades e intensidades de esforço.

Por exemplo, é importante destacar que o erro percentual na relação entre %FCR e %VO₂R pode ser influenciado pelo modo de exercício. Nesse aspecto, é bem aceito que repostas fisiológicas a diferentes modos de exercício são diferentes (ABRANTES et al., 2012; CUNHA et al., 2014; MILLET; VLECK; BENTLEY, 2009). NASSIS; GELADAS (2002) compararam as respostas fisiológicas durante sessões prolongadas de ciclismo e corrida de 90 min a 60%VO_{2máx} em condições termo neutras (23.8±0.3°C) em 11 homens aparentemente saudáveis (VO_{2máx} ciclismo e corrida: 48,5 ± 1,8 e 52,1 ± 2,2 mL·kg⁻¹·min⁻¹, respectivamente). Com exceção do volume plasmático, concentração de hemoglobina, temperatura da pele e taxa de sudorese do antebraço, o modo de exercício influenciou significativamente no aumento do VO₂, frequência cardíaca, volume sistólico, débito cardíaco e temperatura central, com vantagem para a corrida ($P < 0,01$). Apesar do maior grau de desidratação corporal e hipertermia observada na corrida, o débito cardíaco diminuiu apenas no ciclismo, em resposta a uma maior queda no volume sistólico que, por sua vez, ajuda a explicar o platô observado para o VO₂ ao longo de toda a sessão de ciclismo, ao passo que na corrida, houve um

aumentou até o 43º min. Em outras palavras, esses achados sugerem que a massa muscular recrutada (também um componente do volume de exercício) desempenha um papel fundamental no estresse fisiológico associado a sessões prolongadas de exercício aeróbio, o que reforça a noção de que as relações entre os %FCR e %VO₂R pode ser afetada pelo modo de exercício.

Outra pergunta a ser respondida é se as cargas de trabalho definidas pelas equações metabólicas ACSM reproduzem o VO₂R para uma dada intensidade, que estaria similarmente associada à FCR, e consequentemente ao dispêndio energético alvo. De fato, não se sabe ao certo o quanto as velocidades ou potências definidas por estas equações reproduzem o %VO₂R com que se deseja trabalhar. Por exemplo, apenas dois estudos abordaram esta questão em ambiente neutro (CUNHA et al., 2012; CUNHA et al., 2011), concluindo que a equação metabólica de corrida do ACSM reproduziu o valor predito de FCR, mas superestimou o VO₂. Numa perspectiva prática, seria útil determinar se as equações metabólicas de caminhada e ciclismo do ACSM reproduzem com precisão o dispêndio energético alvo de sessões isocalóricas de exercício aeróbio realizados com diferentes intensidades.

Em resumo, algumas perguntas surgem a partir destes aspectos, o que podem ser resumidos da seguinte forma:

1. Até que ponto a hipotética relação de 1:1 entre os %FCR-%VO₂R obtida por meio de incremental máximo de exercício de curta duração reflete rotinas de treinamento envolvendo sessões prolongadas submáximas de exercício?
2. A carga de trabalho definida pelas equações metabólicas do ACSM para corrida e ciclismo reproduz o dispêndio energético alvo durante sessões isocalóricas de exercício?

1.4 Objetivos do Estudo

1.4.1 Objetivo geral

Desse modo, a presente dissertação de mestrado tem por objetivo mais geral investigar as relações entre os %FCR vs. %VO₂R e verificar até que ponto a hipotética relação de 1:1 entre essas variáveis se reproduz durante teste incremental máximo e em sessões prolongadas submáximas de exercício aeróbio.

1.4.2 Objetivos específicos

Para a colimação desse objetivo, alguns objetivos específicos podem ser descritos, como segue:

- a) Estudar a validade da relação entre %FCR e %VO₂R em duas modalidades de exercício (ciclismo e corrida);
- b) Investigar se a carga de trabalho definida pelas equações metabólicas do ACSM para corrida e ciclismo reproduz o dispêndio energético alvo durante sessões prolongadas de exercício aeróbio.

1.5 Organização do Estudo

A presente dissertação culminou em 1 artigo original. O estudo incluiu em seu escopo uma introdução, esclarecendo as razões específicas de sua condução, e a descrição detalhada dos métodos utilizados, bem como a apresentação e discussão dos resultados obtidos.

1.5 HIPÓTESE

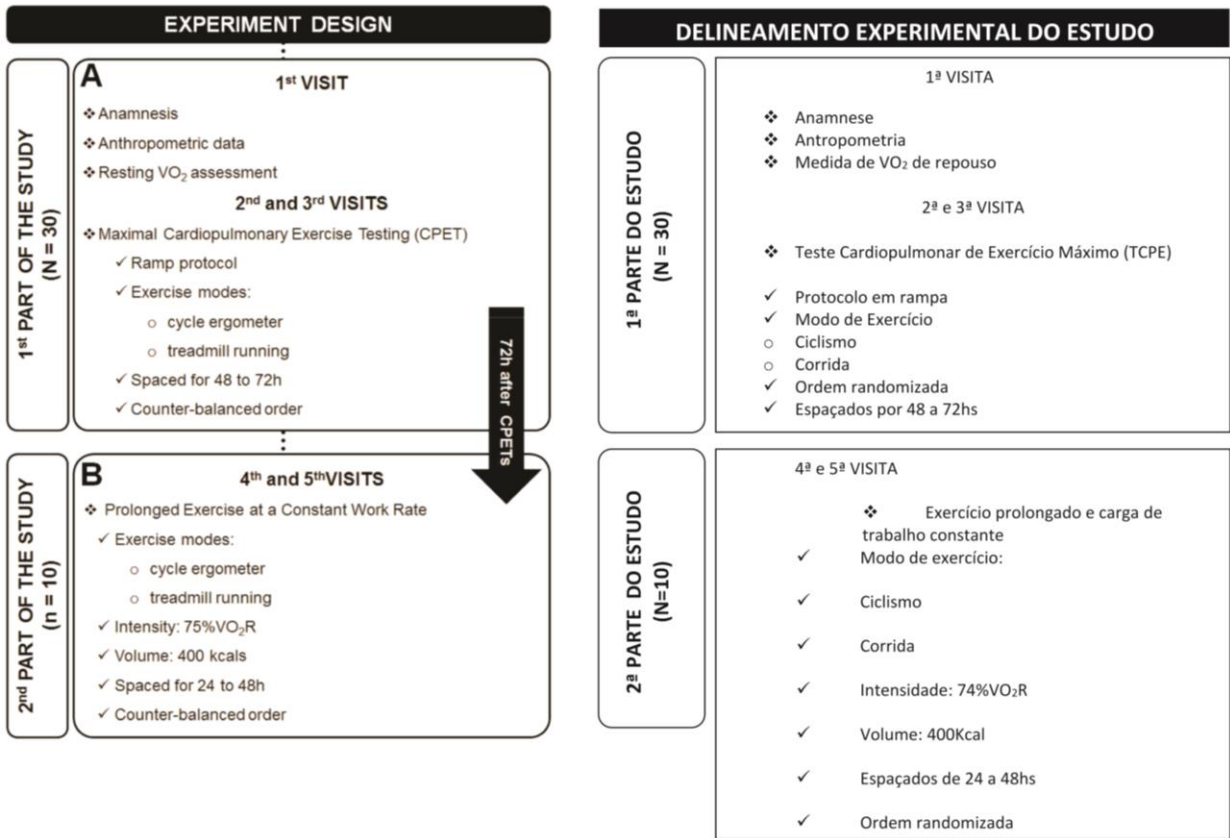
Trabalhou-se com a hipótese de que a hipotética relação de 1:1 entre os %FCR e %VO₂R não seria sustentada tanto no TCPE quanto na sessão submáxima de exercício com carga constante em ambas as modalidades de exercício (ex.: ciclismo e corrida). Adicionalmente, foi testada a hipótese de que as equações metabólicas de ciclismo e corrida do ACSM reproduziram o valor predito de FCR, mas não o valor predito de VO₂R, subestimando, portanto, o dispêndio energético alvo para as sessões isocalóricas de exercício.

CAPÍTULO II - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento Metodológico

Em um total de 5 visitas ao laboratório, foi realizado um estudo de caráter experimental, envolvendo 2 experimentos com os seguintes procedimentos: medidas antropométricas para caracterização física; b) medida das variáveis de trocas gasosas e ventilatórias no repouso (ex.: VO_2 de repouso); c) teste cardiopulmonar de exercício máximo - protocolo em rampa; d) protocolos experimentais submáximos de treinamento. As informações obtidas na primeira visita são comuns aos dois experimentos, assim como os valores de frequência cardíaca de pico (FC_{pico}) e consumo de oxigênio de pico (VO_{2pico}) obtidos no protocolo em rampa (2ª e 3ª visitas) (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma com o delineamento experimental do estudo.



Fonte: Autoria do autor.

2.2 Amostra

30 voluntários do sexo masculino, com idades entre 18-34 anos, foram selecionados para o estudo (destes, apenas 10 retornaram ao laboratório para participar do 2º experimento). A amostra foi composta por alunos do Instituto de Educação Física e Desportos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (IEFD/UERJ). Os dados foram coletados no Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde (LABSAU) da UERJ. Os interessados realizaram entrevista pessoal, na qual foram informados dos objetivos, procedimentos e potenciais riscos do estudo. Eles tiveram, então, sua elegibilidade para o estudo avaliada, com base em critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Todos os voluntários eram praticantes de atividades aeróbias há pelo menos seis meses, com frequência semanal de 3 a 5 vezes e mínimo de 30 min por sessão.

As informações sobre fatores de risco que poderiam impossibilitar a prática dos testes foram obtidas por meio do questionário PAR-Q e as informações referentes às atividades aeróbias praticadas foram relatadas por meio de histórico de atividade física (Anexo 1). Os seguintes critérios de inclusão foram considerados: a) não fazer uso de medicações com ação cardiovascular e/ou metabólica; b) não ser tabagista ou fazer uso de substâncias que pudessem ter efeito sobre o desempenho individual; c) ausência de diagnóstico de problemas ósteo-mio-articulares limitadores da execução de exercícios físicos; d) PAR-Q positivo. Antes da realização dos testes, os voluntários preencheram Termo de Informação e Consentimento (Anexo 2), conforme sugerido pela Resolução 196/96 do Conselho Nacional de Saúde para experimentos com seres humanos. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto (processo nº 3082/2011).

2.3 Medidas Antropométricas

Para as medidas de massa corporal e estatura foram utilizados, respectivamente, uma balança digital (Welmy®, São Paulo, Brasil) e um estadiômetro graduado em milímetros (American Medical do Brasil, São Paulo, Brasil). A densidade corporal e o percentual de gordura foram estimados, respectivamente, por meio das equações de JACKSON; POLLOCK (1978) e SIRI (1961) a partir das dobras cutâneas de peito/tórax, abdômen e coxa, obtidas por meio de compasso Lange® (Beta Technology Incorporated, Cambridge, Maryland, EUA).

2.4 Adaptação ao Trabalho em Esteira Rolante e Cicloergômetro

Para evitar uma possível influência da falta de adaptação aos ergômetros nos resultados, foi aplicado um trabalho específico de adaptação em esteira rolante e cicloergômetro de MMII. Para tanto, diferentes cargas de trabalho foram implementadas, conforme especificações de WALL; CHARTERIS (1980), alternando-se intensidades durante 15 min (Tabela 4). É válido destacar que esse trabalho de adaptação foi idealizado com base em protocolos existentes para familiarização ao exercício em esteiras rolantes e realizada uma adaptação para o exercício de ciclismo.

Ao final de cada velocidade foram treinadas técnicas de “*desmonte*” da esteira, objetivando assim, uma maior segurança do praticante na condução dos protocolos de teste máximo presentes no experimento. Essa conduta foi repetida a partir das velocidades menos elevadas, evoluindo para as mais intensas, para simular a situação real de teste. Todo o processo de adaptação foi conduzido mediante monitorização das variáveis de trocas gasosas e ventilatórias e da frequência cardíaca.

Tabela 4: Cargas de trabalho para adaptação a esteira rolante e cicloergômetro.

Carga de Trabalho	Minutos														
	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°
Esteira (km·h ⁻¹)	5,0	5,0	8,0	5,5	9,0	6,0	10,0	6,0	11,0	5,5	12,0	5,5	9,0	5,0	5,0
Ciclo* (Watts)	30	30	60	50	80	60	90	40	100	50	110	50	80	30	30

Cadência de pedalagem entre 55 e 65 RPM. *Adaptação feita para cicloergômetro

2.5 Consumo de Oxigênio de Repouso (VO₂ repouso)

As variáveis de trocas gasosas e ventilatórias (VO₂, VCO₂ e V_E) foram coletadas com auxílio de analisador de gases metabólicos VO2000 (*Medical Graphics®*, Saint Louis, EUA), com frequência de saída de dados a cada 30 segundos, por meio do pneumotacômetro de baixo fluxo, aconselhado para medidas de repouso e com máscara de silicone (*Hans Rudolph®*, EUA). Durante a aferição foram feitas anotações relacionadas à ocorrência de movimentos bruscos, tosses ou espirros, assim como referentes a quaisquer outros fatores que pudessem afetar o fluxo de gases, para a eliminação dessas medidas. As condições de

temperatura ambiente foram mantidas entre 20-22°C. Os equipamentos foram previamente calibrados de acordo com as instruções do fabricante. Os analisadores de gases foram calibrados por meio de uma mistura padrão (*White Martins*®, Rio de Janeiro, Brasil) de oxigênio (17,01%) e dióxido de carbono (5,00%), balanceada com nitrogênio. Os fluxos e os volumes do pneumotacômetro foram calibrados com uma seringa graduada com capacidade de três litros (*Hans Rudolph*®, Kansas, EUA).

Previamente à aferição da medida de VO_2 de repouso, os sujeitos foram orientados no sentido de: a) não praticarem qualquer tipo de atividade física nas 24 h; b) abstinência de bebidas alcoólicas, coladas ou com cafeína por 24 h; c) fazer jejum nas 4-6 h anteriores à medida; d) realizar o mínimo de esforço no deslocamento até o laboratório (COMPHER et al., 2006). Uma vez no local da aferição, os indivíduos permaneceram deitados, em repouso absoluto e em ambiente tranquilo, por 10 min. Após o período de repouso, as variáveis de trocas gasosas e ventilatórias (VO_2 , VCO_2 e V_E) foram coletadas durante 40 min. Para a análise dos dados foram utilizados os valores médios obtidos nos 5 min finais (CUNHA; MIDGLEY; MONTEIRO; et al., 2013).

2.6 Teste Cardiopulmonar de Exercício Máximo

Os sujeitos foram orientados a não praticarem qualquer tipo de esforço físico no dia anterior (24h), não consumirem bebidas alcoólicas, coladas ou com cafeína nas 8 horas precedentes ao teste e não ingerirem alimentos 3h antes. O teste foi realizado na esteira rolante elétrica Super ATL (Inbramedt®, Porto Alegre, Brasil) e no cicloergômetro para MMII com frenagem eletromagnética (Inbramed®, Porto Alegre, Brasil), utilizando-se um protocolo individualizado do tipo rampa. O protocolo foi elaborado com base nos valores de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ estimado pelo modelo sem exercício de MATTHEWS et al. (1999). Esse modelo de predição sem exercício foi desenvolvido para populações saudáveis, com idades entre 18 e 80 anos, podendo ser aplicado tanto em homens quanto em mulheres. MARANHÃO NETO GDE; PONCE DE LEON; FARINATTI PDE (2008), em revisão sistemática, classificaram o questionário de Matthews com um dos poucos estudos que atendiam a todos os critérios associados à atribuição de qualidade a esse tipo de método de estimativa do $\text{VO}_{2\text{máx}}$, quais sejam: (a) inclusão de variáveis explicativas com base teórica sólida; (b) comparação com critérios de validação reconhecidamente pertinentes (padrão-ouro); (c) equações apresentadas

por completo, incluindo erro padrão da estimativa e coeficientes de ajustamento; (d) equações submetidas a processo de validação cruzada. A partir desses valores foram calculadas as cargas iniciais, finais e as razões de incremento de carga para cada modalidade de exercício conforme especificações prévias (CUNHA et al., 2015; CUNHA et al., 2010), com base nas equações metabólicas propostas pelo ACSM (2013), de modo a programar o teste para que sua duração situasse-se na faixa de 8 a 12 min.

Para que o teste fosse considerado máximo, os sujeitos teriam que atingir ao menos três dentre os seguintes critérios, segundo adaptação da proposta de HOWLEY; BASSETT; WELCH (1995): a) exaustão voluntária máxima; b) $FC \geq 90\%$ da $FC_{máx}$ estimada para idade ou ausência de elevação da FC mediante acréscimo de carga ao final do teste; c) presença de um platô no VO_2 com a evolução das cargas ao final do teste (variação menor que $2,1 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ entre duas cargas consecutivas); d) razão de troca respiratória (R) $> 1,1$; e) valor da escala de Borg ≥ 9 .

2.7 Protocolo de Treinamento

A partir dos valores de $FC_{máx}$ e $VO_{2máx}$ obtidos no teste máximo e dos valores de VO_2 de repouso e da FC de repouso, foram calculados os valores de 75% da FCR e do VO_{2R} para determinação da intensidade de exercício para ambos os ergômetros. Posteriormente, os valores de VO_2 obtidos por meio da equação de $\%VO_{2R}$ foram utilizados para calcular as velocidades de corrida e a potência do cicloergômetro por meio das equações do ACSM (2013), expressas da seguinte forma: $VO_2 \text{ corrida} = (0,2 \times V) + (0,9 \times V \times G) + 3,5$; $VO_2 \text{ cicloergômetro de membros inferiores} = 1,8 (\text{ritmo de trabalho}) / \text{massa corporal} + 7$, onde 3,5 representa o valor de 1 MET ou do VO_2 repouso em $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, V é a velocidade em $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ e G é o grau de inclinação da esteira (ACSM, 2013). A velocidade da esteira e a cadência do cicloergômetro foram fixadas, respectivamente, em $5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ e $60 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$. A partir disso, foram calculadas individualmente a velocidade da esteira (%) e a potência do cicloergômetro (Watts) para 75% VO_{2R} . A duração das sessões de treinamento foi calculada a partir do dispêndio energético medido durante as sessões de exercício ($\text{kcal} \cdot \text{sessão}^{-1}$). Logo, a meta prevista para cada sessão foi de 400 kcal. A ordem das atividades foi alternada.

2.8 Tratamento dos Resultados

2.8.1 1º Experimento

Para cada indivíduo, uma regressão linear por protocolo de teste máximo foi determinada, a fim de se comparar a relação entre %FCR vs. %VO₂R. Os valores obtidos em repouso, durante exercício submáximo e máximo foram utilizados como referência para cálculo do %FCR e %VO₂R, de acordo com as seguintes equações:

$$1) \%FCR = (FC_{\text{submáx}} - FC_{\text{repouso}}) / (FC_{\text{pico}} - FC_{\text{repouso}}) \times 100$$

$$2) \%VO_2R = (VO_{2\text{submáx}} - VO_{2\text{repouso}}) / (VO_{2\text{pico}} - VO_{2\text{repouso}}) \times 100$$

Nessas equações, FC_{pico} refere-se à FC de maior valor atingido no teste; a FC_{submáx} refere-se à FC obtida durante o teste, a cada 30 segundos; VO_{2pico} refere-se ao VO₂ máximo atingido no teste; VO_{2submáx} refere-se ao VO₂ obtido durante o teste, a cada 30 segundos. O %VO₂R foi utilizado como variável independente.

Os valores médios ($\pm$ DP) dos interceptos e inclinações foram determinados em cada regressão linear, bem como as correlações de Pearson entre as curvas. Adicionalmente, o teste *t-Student* para amostras pareadas foi empregado para verificar se as curvas obtidas afastavam-se da linha de identidade – em outras palavras, se os interceptos e inclinações das regressões foram significativamente diferentes de 0 e 1, respectivamente (CUNHA et al., 2010; SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998). Além disso, foram verificados os valores percentuais de FCR correspondentes a 40, 50, 60, 70, 80 e 90 do VO₂R.

Uma possível influência do modo de exercício (ciclismo vs. corrida) sobre as relações entre %FCR e %VO₂R foi testada por ANOVA para medidas repetidas seguida do teste *post hoc* de Tukey ($P < 0,05$). Os dados foram analisados com auxílio do *software* Statistica 10.0 (Statsoft®, OK, EUA).

2.8.2 2º Experimento

Para a análise dos resultados foram utilizados os valores médios absolutos de FCR e VO₂R e os respectivos valores relativos expressos pelo %FCR e %VO₂R obtidos a cada 100

kcal (ex.: 100, 200, 300 e 400 kcal). Possíveis diferenças foram testadas por ANOVA de dupla entrada para medidas repetidas seguida do teste *post hoc* de Tukey ($P < 0,05$). Além disso, os valores médios preditos foram comparados aos valores médios reais obtidos de FCR e VO_2R por ANOVA para medidas repetidas seguida do teste *post hoc* de Tukey ($P < 0,05$). As diferenças médias entre os tempos previsto e observado para atingir 400 kcal a $75\%VO_2R$ foram investigadas utilizando teste *t-Student* para amostras pareadas. Enfim, a distribuição dessas diferenças foi apresentada graficamente com as *plotagens* de Bland Altman. Os dados serão analisados com uso do *software* Statistica 10.0 (Statsoft®, OK, USA).

CAPÍTULO III - ESTUDO ORIGINAL

RELATIONSHIP BETWEEN PERCENTAGES OF HEART RATE RESERVE OXYGEN UPTAKE RESERVE DURING CYCLING AND RUNNING: A VALIDATION STUDY⁴

ABSTRACT

The present study investigated the relationship between percentages of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (%VO₂R) during a cardiopulmonary exercise test (CPET) and discrete bouts of isocaloric cycling and treadmill running. Thirty men visited the laboratory three times for anthropometrical and resting VO₂ assessments, and perform cycling and running CPETs. Ten men visited the laboratory twice more to investigate the validity of the %HRR-%VO₂R relationships during isocaloric bouts of cycling and running at 75% VO₂R with energy expenditures of 400 kcals. The %HRR was significantly higher than the %VO₂R during both CPETs at all exercise intensities ($P < 0.001$). During isocaloric exercise bouts, mean %HRR-%VO₂R differences of 6.5% and 7.0% were observed for cycling and running, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). The %HRR and %VO₂R increased over time ($P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($P < 0.001$). On average, heart rate was 5 ($P = 0.007$) and 8 ($P < 0.001$) beats·min⁻¹ higher than predicted from the second energy expenditure quartile for cycling and running, respectively; however, observed VO₂ was lower than predicted during all quartiles for cycling, and the first quartile for running. Consequently, time to achieve the target energy expenditure was greater than predicted ($P < 0.01$). In conclusion, the %HRR-%VO₂R relationship observed during CPET data did not accurately transpose to prolonged isocaloric bouts of cycling and running. Additionally, work rates defined by the ACSM equations for cycling and running overestimated VO₂ and energy expenditure.

Key Words: Cardiopulmonary exercise testing. Isocaloric exercise. Kilocalories. Training intensity.

⁴ Autores: Giovanna C. Guimaraes, Paulo T.V. Farinatti, Adrian W. Midgley, Fabrício V.A. Vasconcellos, Patrícia S. Vigário e Felipe A. da Cunha. Submetido ao *Journal of Strength and Conditioning Research*.

3.1 INTRODUCTION

General recommendations for aerobic exercise prescription include manipulation of training frequency, intensity, duration, and mode of activity according to the age, fitness level, and clinical condition of the exercising individual (FLETCHER et al., 2013; GARBER et al., 2011). Intensity is arguably the most important of these variables, due to its relative efficacy in altering cardiorespiratory fitness when manipulated (WENGER; BELL, 1986). According to the American College of Sports Medicine (ACSM), the current ‘gold standard’ method for prescribing aerobic exercise intensity is the application of the linear relationship between percentages of heart rate reserve (HRR) and oxygen uptake reserve (VO_2R) (ACSM, 2013; GARBER et al., 2011). Specifically, exercise intensities between 40% and 85% HRR or VO_2R are recommended to promote health in adults (ACSM, 2013; GARBER et al., 2011). From a practical perspective, the HRR can be used to monitor and adjust work rate to achieve the target intensity, and the VO_2R can be used to determine the duration of exercise required to elicit a target energy expenditure. Accurate determination of energy expenditure associated with exercise is particularly important when prescribing exercise to promote weight loss and maintenance (DONNELLY et al., 2009). The VO_2R also can be used in the ACSM metabolic equations to derive the required work rate for cycling, running, and several other exercise modalities (ACSM, 2013).

The ACSM recommendation for using %HRR and % VO_2R is based on the assumption that there is a 1:1 relationship between these two variables (SWAIN, 2000; SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998). Two important issues must be considered concerning this hypothetical 1:1 ratio and the use of the ACSM metabolic equations, however. First, the use of heart rate as an indicator of relative metabolic intensity is based on validation studies that employed cardiopulmonary exercise tests (CPETs), characterized by relatively short duration maximal incremental exercise (DA CUNHA, F. A. et al., 2011). Whether the change in heart rate is a valid marker of change in relative metabolic intensity during more prolonged constant work rate exercise is uncertain. A question therefore arises regarding the extent to which results obtained by studies that described the hypothetical 1:1 relationship between the %HRR and % VO_2R during CPET, extrapolate to training bouts characterized by relatively long duration and constant work rate. Another unanswered question is whether the work rates defined by the ACSM metabolic equations produce target heart rate (%HRR), VO_2 (% VO_2R) and energy expenditure values during isocaloric exercise

bouts. It is possible that these equations underestimate or overestimate the metabolic demand with important practical consequences for exercise prescription, especially within the context of weight control programs or experimental research where exercise volume between different bouts needs to be matched. Furthermore, exercise modality influences the magnitude of cardiorespiratory responses at submaximal and maximal intensities (ABRANTES et al., 2012; CUNHA et al., 2014; NASSIS; GELADAS, 2002), however, no study has investigated directly the extent to which different exercise modalities affect the %HRR-%VO₂R relationship.

The main aim of the present study was to investigate the validity of the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R during CPET and prolonged constant work rate exercise bouts using two exercise modalities (cycling and running). A second aim was to investigate whether the work rates defined by the ACSM metabolic equations for cycling and running reproduce the predicted heart rate, VO₂ and time to achieve the target energy expenditure during the exercise bouts, when assuming a 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R.

4 METHODS

4.1 Participants

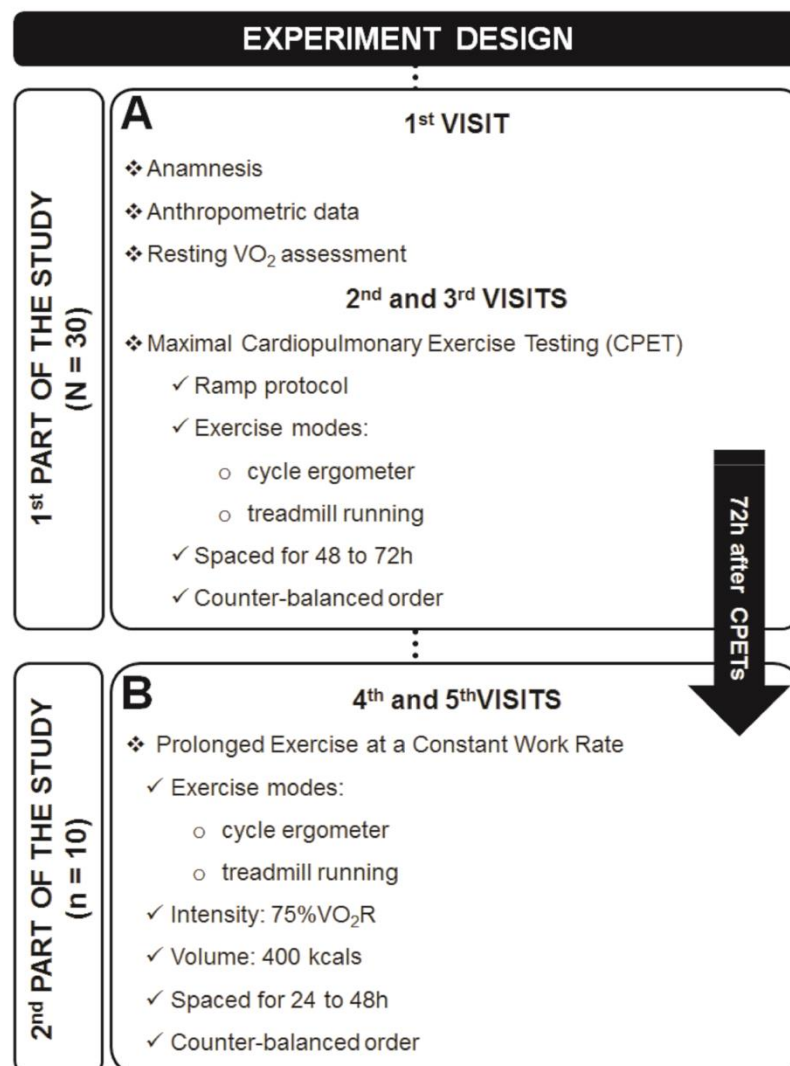
A total of 30 apparently healthy men volunteered for the study [mean (range): age, 24 (18-34) yr; height, 181 (163-198) cm; body mass, 84 (59-116) kg; body mass index, 25 (20-30) kg·m⁻²; percentage body fat, 18% (9%-27%); resting heart rate, 62 (44-84) beats·min⁻¹; and resting VO₂, 542.2 (326.8-971.2) mL·min⁻¹]. All subjects were involved in aerobic activities for at least the previous 3 months, 2-5 times·wk⁻¹, and 20-60 min·bout⁻¹. The study gained approval from the institutional ethics committee (reference 3082/2011) and subjects provided informed consent prior to involvement in the study.

4.2 Procedures

Figure 2 shows a fluxogram of the first and second parts of the study. Panel A includes procedures for investigating the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R derived from cycling and running CPETs. Panel B includes procedures for establishing the

validity of the %HRR-%VO₂R relationships throughout the isocaloric constant work rate cycling and running bouts, and the accuracy of the ACSM metabolic equations for determining work rates associated with absolute values of VO₂ and associated energy expenditures. Resting and maximal VO₂ values obtained from 10 of the subjects included in the first part of the study were used in the second part to calculate exercise intensity for the constant work rate exercise bouts. All running tests were performed on the same motorized treadmill (InbramedTM Super ATL, Porto Alegre, RS, Brazil) and the cycling tests were performed on the same cycle ergometer (Cateye EC-1600, CateyeTM, Tokyo, Japan). Ambient temperature and relative humidity throughout the study ranged from 19 to 22°C and 50 to 70%, respectively.

Figure 2: Experimental design overview. VO₂ = oxygen uptake; VO₂R = oxygen uptake reserve.



Source: Authorship of the author.

Resting VO_2 was determined in accordance with the recommendations of COMPTON et al. (2006): abstention of physical exercise, alcohol, soft drinks and caffeine in the 24 h preceding the assessment, fasting at least 8 h prior to the assessment, and minimum effort when travelling to the laboratory. In the laboratory, subjects laid in a calm environment in a supine position for an acclimation period of 10 min, after which the VO_2 was determined for 40 min. The mean VO_2 between minutes 35-40 was used to calculate the $\%\text{VO}_{2\text{R}}$, since this time period has previously been shown to elicit a VO_2 steady-state and high test-retest reliability (CUNHA; MIDGLEY; MONTEIRO; et al., 2013). The resting VO_2 was always measured at the same time of the day, between 07:00-11:00 a.m.

The ramp-incremented maximal CPETs were performed as described elsewhere (CUNHA et al., 2015; CUNHA et al., 2010). The work rate increments were individualized to elicit each participant's limit of tolerance in 8-12 min. The criteria for test termination followed the recommendations of the ACSM (ACSM, 2013). The test was considered to have elicited peak capacity when at least three of the following criteria were observed (HOWLEY et al., 1995): a) maximum voluntary exhaustion defined by attaining a 10 on the Borg CR-10 scale; b) $\geq 90\%$ predicted maximal heart rate (HR_{max}) [$220 - \text{age}$] or presence of a heart rate (HR) plateau (ΔHR between two consecutive work rates $\leq 4 \text{ beats} \cdot \text{min}^{-1}$); c) presence of a VO_2 plateau (ΔVO_2 between two consecutive work rates $< 2.1 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$); and d) respiratory exchange ratio > 1.10 .

Based on the HR_{max} and maximal oxygen uptake ($\text{VO}_{2\text{max}}$) obtained in the running and cycling CPET, and on the values of resting heart rate and resting VO_2 , the values corresponding to 75% of the HRR and $\text{VO}_{2\text{R}}$ were calculated to determine the intensity of the two constant work rate exercise bouts. The energy expenditure was calculated individually from the net VO_2 , which is the VO_2 induced by the exercise bout (i.e. net $\text{VO}_2 = \text{gross } \text{VO}_2 - \text{resting } \text{VO}_2$) (SWAIN, 2000). The net VO_2 values expressed in $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ were converted to $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ and then to $\text{kcal} \cdot \text{min}^{-1}$. The predicted time to achieve 400 kcal at 75% $\text{VO}_{2\text{R}}$ for each exercise modality also was calculated. The cycling and running bouts were preceded by a 5-min warm-up at 30 W and 65-75 $\text{revs} \cdot \text{min}^{-1}$, and 5.5 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ and 1% grade, respectively.

The absolute VO_2 values obtained from the $\%\text{VO}_{2\text{R}}$ equation were used to calculate the associated running speeds and cycling power outputs by applying the ACSM metabolic equations: $\text{VO}_2 \text{ running } (\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}) = 0.2 (\text{speed } \text{m} \cdot \text{min}^{-1}) + 0.9 (\text{speed } \text{m} \cdot \text{min}^{-1}) (\text{grade}$

%) + 3.5 (mL·kg⁻¹·min⁻¹); and VO₂ cycling (mL·kg⁻¹·min⁻¹) = 3.5 mL·min⁻¹·kg⁻¹ + 12.24 x (power W) x (body weight kg⁻¹) (ACSM, 2013). The grade of the treadmill was set at 1%, and the speed converted to km·h⁻¹. Expired gases were collected during the exercise bouts via the metabolic cart. Based on the values obtained for VO₂ and associated energy expenditure determined throughout the exercise bout, the subjects were encouraged to perform an additional amount of exercise beyond the time predicted to expend 400 kcal, until they reached an observed energy expenditure of 400 kcal. Since the exercise bouts were designed to be isocaloric, the total duration of the bouts was expected to vary between subjects with different fitness levels. In order to allow comparisons of the cardiorespiratory responses across time within exercise bouts, data for the whole exercise bout were split into energy expenditure quartiles (i.e. 100, 200, 300, and 400 kcal).

Pulmonary gas exchanges were determined using a VO2000 analyzer (Medical Graphics™, Saint Louis, MO, USA) and a silicone face mask (Hans Rudolph™, Kansas, MO, USA). The gas exchange variables were 30-s stationary time-averaged, which provided a good compromise between removing noise in the data while maintaining the underlying trend (MIDGLEY; MCNAUGHTON; CARROLL, 2007). Prior to testing, the gas analyzers were calibrated according to the manufacturer's instructions, using a certified standard mixture of oxygen (17.01%) and carbon dioxide (5.00%), balanced with nitrogen (AGA®, Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The flows and volumes of the pneumotacograph were calibrated with a syringe graduated for a 3 L capacity (Hans Rudolph™, Kansas, MO, USA). Heart rate was measured continuously using a cardiometer (RS800cx, Polar™, Kempele, Finland) and beat-by-beat data were 30-s stationary time-averaged.

4.3 Statistical Analyses

All statistical analyses were performed using Statistica 10 software (StatSoft™, Tulsa, OK, USA). Sample data are described using the mean ± SD. Statistical significance was accepted as $P < 0.05$. In the first part of the study, a linear regression model was determined for each participant in order to compare the relationships between %HRR vs. %VO₂R. The heart rate and VO₂ values obtained at rest and during the CPETs were used as references to calculate %HRR and %VO₂R according to the following equations: 1) %HRR = (HR_{submax} – HR at rest) / (HR_{max} – HR at rest) x 100; and 2) %VO₂R = (VO_{2submax} – VO₂ at rest) / (VO_{2max} – VO₂ at rest) x 100. In these equations, HR_{max} refers to the maximal heart rate reached in the

CPET; the HR_{submax} refers to the heart rate obtained throughout the CPET at 30-s intervals; $VO_{2\text{max}}$ refers to the maximal VO_2 reached in the CPET; $VO_{2\text{submax}}$ refers to the VO_2 obtained throughout the test at 30-s intervals. The % VO_2R was used as an independent variable in the regression model and the predicted percentages of HRR associated with 40, 50, 60, 70, 80 and 90% of the VO_2R were determined. The mean $\pm$ SD intercepts and slopes were determined for each linear regression model and Pearson correlation for each relationship was calculated. The Student t-test for paired samples was also used to test whether the intercepts and slopes of the regression models were significantly different from 0 and 1, respectively (CUNHA et al., 2010; SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997; SWAIN et al., 1998), and to test possible differences between the regression lines, as described in detail elsewhere (TOTH, 2001). In addition, a two-way ANOVA for repeated measures with exercise modality and intensity as factors was used for between and within group comparisons. The Tukey *post hoc* test was applied to determine pairwise differences when significant *F* ratios were obtained.

In the second part of the study, the differences between the predicted and observed heart rate and VO_2 were analyzed using a two-way ANOVA for repeated measures. Where effects for exercise modality and time were statistically significant, Tukey *post hoc* pairwise comparisons were performed. Mean differences between the predicted and observed times to achieve 400 kcal at 75% VO_2R were investigated using one-sample t tests, using the difference scores and a test value of zero. The distribution of these differences was graphically displayed using Bland-Altman plots, which include the associated 95% limits of agreement.

5 RESULTS

Table 5 shows the mean $\pm$ SD values for cardiorespiratory variables and time to exhaustion obtained in the CPET. Mean HR_{max} and $VO_{2\text{max}}$ were significantly higher during treadmill running compared to cycling, whereas maximal values for minute ventilation (second part of study only) and respiratory exchange ratio were significantly higher during cycling. Mean time to exhaustion was similar between exercise modalities.

Table 5: Mean $\pm$ SD maximal physiological responses and time to exhaustion for the running and cycling cardiopulmonary exercise tests. During the tests, all subjects satisfied at least three of the four $\text{VO}_{2\text{max}}$ test criteria stipulated in the ‘Procedures’ section

Variable	1 st part of the study			2 nd part of the study		
	Cycling	Running	<i>P</i> value	Cycling	Running	<i>P</i> value
Maximal heart rate (beats·min ⁻¹)	183 $\pm$ 10	194 $\pm$ 8	<0.001	184 $\pm$ 7	192 $\pm$ 5	<0.001
Maximal oxygen uptake (mL·min ⁻¹)	3335 $\pm$ 692	4068 $\pm$ 835	<0.001	3439 $\pm$ 824	3979 $\pm$ 845	< 0.001
Maximal minute ventilation (L·min ⁻¹)	101.0 $\pm$ 21.2	95.6 $\pm$ 11.4	NS	104.9 $\pm$ 15.8	102.0 $\pm$ 16.7	0.011
Maximal respiratory exchange ratio	1.13 $\pm$ 0.05	1.07 $\pm$ 0.04	<0.001	1.15 $\pm$ 0.05	1.07 $\pm$ 0.04	< 0.001
Time to exhaustion (min)	10.3 $\pm$ 1.7	10.7 $\pm$ 1.7	NS	9.9 $\pm$ 1.4	10.5 $\pm$ 1.9	NS

NS = non-significant.

5.1 Relationship between %HRR and %VO₂R

The mean $\pm$ SD intercepts and slopes for the individual linear regression models, derived from cycling and running CPETs, are shown in Table 2. Significant mean differences were observed between intercepts ($t = -6.59$; $P < 0.001$) and slopes ($t = -6.10$; $P < 0.001$) obtained for %HRR vs. %VO₂R relationships. Moreover, mean intercepts and slopes in both exercise modalities were significantly different from 0 ($P < 0.001$) and 1 ($P < 0.001$), respectively (see Table 6).

Table 6: Mean $\pm$ SD values for the Y intercept, slope, coefficient of determination (r^2) and standard error of estimate (SEE) from individual linear regression models representing the relationships between heart rate reserve and oxygen uptake reserve obtained in the cycling and running cardiopulmonary exercise tests.

Exercise Modality	Y intercept	Slope	r^2	SEE ($\pm$)
Cycling	0.079 $\pm$ 0.054*	0.931 $\pm$ 0.062*	0.965 $\pm$ 0.018	4.5%
Running	0.217 $\pm$ 0.097*	0.799 $\pm$ 0.106*	0.947 $\pm$ 0.027	3.4%

*Intercept significantly different from zero ($P < 0.001$); *Slope significantly different from one ($P < 0.001$).

Table 7 shows the values of %VO₂R corresponding to deciles of %HRR during the cycling and running CPETs. There were significant main effects for exercise modality ($F = 75.64$; $P < 0.001$) and intensity ($F = 9706.80$; $P < 0.001$), and a modality $\times$ intensity interaction ($F = 51.33$; $P < 0.001$). The mean %VO₂R was significantly lower than that predicted by the 1:1 relationship up to 60% HRR for cycling ($P < 0.001$) and throughout the whole range of observed work rates for running ($P < 0.001$). At all exercise intensities the %VO₂R was significantly higher in cycling compared to running ($P < 0.001$) and the %HRR was closer to the %VO₂R during cycling compared to running.

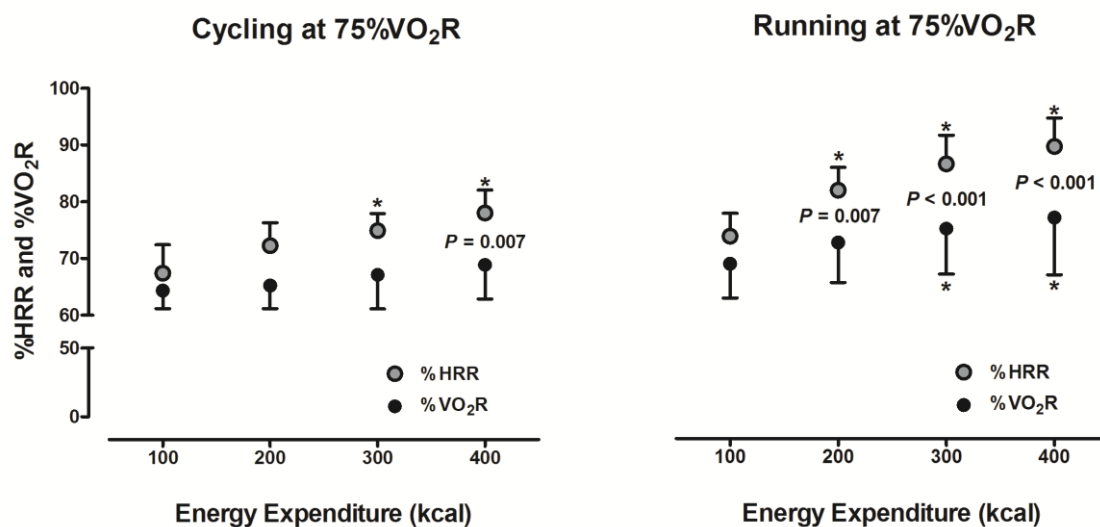
Table 7: Mean $\pm$ SD percentages of oxygen uptake reserve (%VO₂R) associated with different percentages of heart rate reserve (%HRR) determined during the cycling and running cardiopulmonary exercise tests (CPETs).

%HRR	40%	50%	60%	70%	80%	90%
%VO ₂ R Cycling	34 $\pm$ 4%*	45 $\pm$ 4%*	56 $\pm$ 3%*	67 $\pm$ 3%	77 $\pm$ 3%	88 $\pm$ 3%
%VO ₂ R Running	22 $\pm$ 9%*†	35 $\pm$ 8%*†	47 $\pm$ 6%*†	60 $\pm$ 5%*†	73 $\pm$ 4%*†	86 $\pm$ 3%*

*Significant mean difference between the %HRR and %VO₂R ($P < 0.001$). † Significant mean difference for %VO₂R in cycling compared to running CPETs ($P < 0.001$).

Figure 3 shows the relationships between the %HRR and %VO₂R at 100 kcal intervals during the 400 kcal continuous exercise bouts at 75% VO₂R. A 1:1 relationship between the %HRR and %VO₂R was not observed for either exercise modality, with an average difference of 6.5% and 7.0% between the two variables for cycling and running bouts, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). Furthermore, the %HRR and %VO₂R increased significantly over time ($F = 2104.0$, $P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($F = 2659.0$, $P < 0.001$).

Figure 3: Mean $\pm$ SD percentage of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (%VO₂R) at 100 kcal intervals during the 400 kcal continuous cycling and running bouts at 75% VO₂R. *Significantly different from the value assessed at 100 kcals ($P < 0.01$).



Source: Authorship of the author.

5.2 Predicted and observed values during submaximal exercise bouts

Table 4 shows the mean $\pm$ SD predicted and observed heart rate and VO₂ for cycling and running bouts. There were significant differences between the predicted and observed heart rates ($F = 82.4$, $P < 0.001$) and VO₂ ($F = 35.5$, $P < 0.001$). The heart rate was significantly higher than predicted from the second energy expenditure quartile (cycling: mean difference = 5 beats $\cdot$ min⁻¹, $P < 0.001$; running: mean difference = 8 beats $\cdot$ min⁻¹, $P < 0.001$), with the difference progressively increasing until reaching a maximum in the fourth quartile (cycling: mean difference = 12 beats $\cdot$ min⁻¹, $P < 0.001$; running: mean difference = 18

beats·min⁻¹, $P < 0.001$). In contrast, observed VO_2 was lower than predicted during all energy expenditure quartiles for cycling, with the largest differences in the first quartile (mean difference = 359 mL·min⁻¹; $P < 0.001$) and progressively decreasing until the fourth quartile (mean difference = 211 mL·min⁻¹; $P = 0.005$). Unlike cycling, observed VO_2 during running was lower than predicted only in the first quartile (mean difference = 234 mL·min⁻¹; $P = 0.001$).

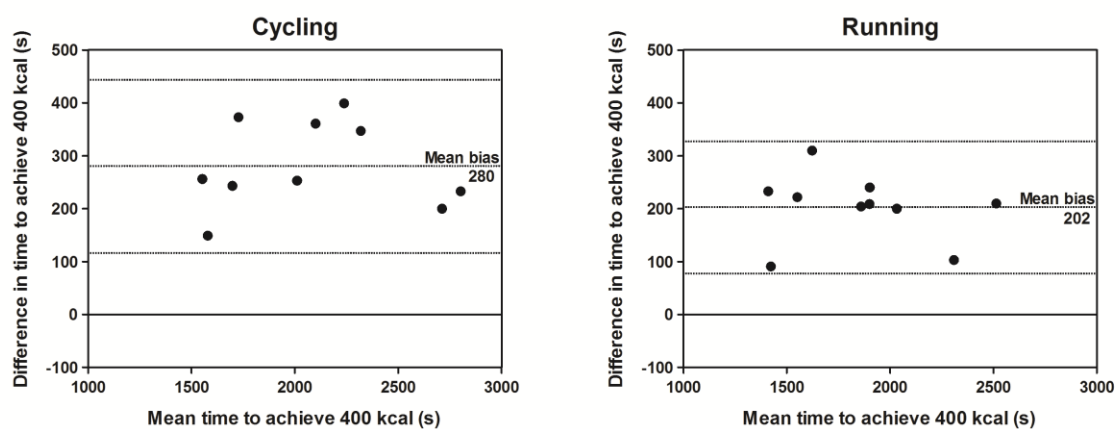
Table 8: Mean $\pm$ SD predicted and observed heart rate reserve (HRR) and oxygen uptake reserve (VO₂R) for the 400 kcal isocaloric exercise bouts performed at 75% VO₂R. Observed values are given for each energy expenditure quartile.

Exercise modality	Work Rate	HRR (beats·min ⁻¹)					VO ₂ R (mL·min ⁻¹)				
		<i>Predicted</i>	<i>1st</i>	<i>2nd</i>	<i>3rd</i>	<i>4th</i>	<i>Predicted</i>	<i>1st</i>	<i>2nd</i>	<i>3rd</i>	<i>4th</i>
Cycling (W)	257 $\pm$ 55	153 $\pm$ 7	152 $\pm$ 6	158 $\pm$ 5*	161 $\pm$ 5*	165 $\pm$ 6*	2833 $\pm$ 607	2474 $\pm$ 608*	2508 $\pm$ 638*	2561 $\pm$ 583*	2622 $\pm$ 593*
Running (km·h ⁻¹)	11.3 $\pm$ 1.8	164 $\pm$ 5	162 $\pm$ 7	172 $\pm$ 6*	178 $\pm$ 7*	182 $\pm$ 8*	3084 $\pm$ 618	2850 $\pm$ 640*	2978 $\pm$ 595	3071 $\pm$ 625	3140 $\pm$ 641

* Significantly different from predicted ($P = 0.005$ to $P < 0.001$).

Figure 4 shows the distribution of the differences between the predicted and observed times to achieve energy expenditure of 400 kcal at 75% VO_2R during cycling and running bouts. The time to achieve the target energy expenditure in each condition was significantly greater than predicted ($F = 356.2$, $P < 0.001$), with the greatest differences observed for cycling compared to running.

Figure 4: Bland-Altman plots showing individual differences between the predicted and observed times to achieve energy expenditures of 400 kcals at 75% VO_2R during cycling and running. The first and third horizontal dashed lines in each graph represent the 95% limits of agreement.



Source: Authorship of the author.

6 DISCUSSION

The present study adds to current knowledge by investigating the %HRR-% VO_2R relationships during CPETs and isocaloric bouts of constant work rate exercise with energy expenditures of 400 kcals and using two different exercise modalities (cycling and running). The main finding was that the hypothetical 1:1 relationship between the %HRR and % VO_2R was not observed in either the CPET or constant work rate exercise for either exercise modality. Moreover, the ACSM equations for cycling and running overestimated the observed energy expenditure and, therefore, underestimated the time to achieved 400 kcals during exercise at 75% VO_2R . Due to the association between energy expenditure and VO_2 , similar errors were evident for VO_2 , especially for the exercise modality involving a lower muscle mass (i.e. cycling). However, the ACSM metabolic equations for cycling and running predicted heart rate during the exercise bouts with a relatively high degree of accuracy during

the first energy expenditure quartile, but subsequently observed heart rates were underestimated.

CUNHA et al. (2010) questioned the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R during running CPET. The %VO₂R was underestimated in relation to %HRR, whereas differences between the %HRR and %VO₂R were inversely proportional to exercise intensity. In other words, the difference between %HRR and %VO₂R decreased when the exercise intensity was near to maximal, at least within the context of maximal incremental exercise testing. The findings of the present study concur with those of CUNHA et al. (2010), since the %HRR was significantly higher than the %VO₂R until 60% HRR for cycling ($P < 0.001$) and throughout the whole range of intensities for running ($P < 0.001$) (see Table 3). In any case, it is notable that %HRR was closer to %VO₂R during cycling [mean $\pm$ SD intercept and slope: 0.08 ± 0.05 and 0.93 ± 0.06 , respectively] than during running [mean $\pm$ SD intercept and slope: 0.22 ± 0.10 and 0.80 ± 0.11 , respectively] CPET (see Table 2). Interestingly, the effect of exercise modality on the slope of the %HRR-%VO₂R relationship also has been observed by SWAIN; LEUTHOLTZ (1997) and SWAIN et al. (1998). The %HRR versus %VO₂R relationship during cycling CPET was indistinguishable from the line of identity [mean $\pm$ SD intercept and slope: -0.1 ± 0.6 and 1.00 ± 0.01 , respectively] (SWAIN; LEUTHOLTZ, 1997), whereas in running it was slightly different from the line of identity [mean $\pm$ SD intercept and slope: 1.5 ± 0.6 and 1.03 ± 0.01 , respectively] (SWAIN et al., 1998). Comparison between results of the aforementioned studies should be viewed with caution, however, given the different exercise protocols and populations employed.

CUNHA et al. (2014) investigated whether there was a 1:1 relationship between the %HRR and %VO₂R at an exercise intensity corresponding to the gas exchange threshold in 16 apparently healthy men during cycling, walking, and running CPETs. The authors observed that mean values of %VO₂R at the gas exchange threshold were 7% and 11% lower than the corresponding %HRR for the cycling and running exercise modalities, respectively. The present findings concur with the hypothesis that the %HRR-%VO₂R relationship is influenced by the exercise modality used during the CPET, since the average difference between the %HRR and %VO₂R was greater during running than cycling CPET (see Figure 2). Exercise modality did not affect the average difference between the %HRR and %VO₂R during the 400 kcal exercise bouts at 75% VO₂R (cycling: 6.5%; running: 7%; see Figure 2),

however, the greatest increases in heart rate (%HRR) and VO_2 (% $\text{VO}_{2\text{R}}$) over time were observed during running compared to cycling (see Table 4 and Figure 2).

NASSIS; GELADAS (2002) compared the physiological strain during prolonged submaximal cycling and running for 90 min at 60% $\text{VO}_{2\text{max}}$ in a thermoneutral environment ($23.8 \pm 0.3^\circ\text{C}$) in the same group of 11 healthy males [mean $\pm$ SD: (cycling and running $\text{VO}_{2\text{max}}$: 48.5 ± 1.8 and $52.1 \pm 2.2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively)]. The authors observed a main effect for exercise modality, where VO_2 , heart rate, cardiac output, stroke volume, and rectal temperature were significantly greater during running compared to cycling ($P < 0.01$). The cardiac output declined only during cycling, however, presumably because of the greater drop in stroke volume, despite a higher degree of whole body dehydration and hyperthermia observed in running. This in turn may explain the plateau in VO_2 throughout the cycling bout compared to the progressive increase in VO_2 until minute 43 in the running bout (NASSIS; GELADAS, 2002). In others words, these findings suggest that active muscle mass played a role in the cardiovascular responses, which reinforce the notion that the relationships between %HRR and % $\text{VO}_{2\text{R}}$ observed during CPETs are not valid in the context of aerobic training programs. In this sense, it is known that the increase in VO_2 during prolonged exercise with constant work rate due to the slow component of VO_2 kinetics has been related to integrated mechanisms of kinetic control, including the activation of additional muscle groups, greater respiratory muscle activity, recruitment of type II muscle fibers, increases in muscle temperature, and higher blood lactate levels, among others (ROSSITER, 2011). The progressive increase in VO_2 has been shown to be concomitant to a decrease in stroke volume and a compensatory increase in heart rate, with little variation in the cardiac output (ROWELL, 1974). Parallel to this is that the increase in body temperature and decreased hydration level may contribute to a decline in filling pressure and end-diastolic volume, promoting increased heart rate (FRITZSCHE et al., 1999) and a further dissociation between %HRR and % $\text{VO}_{2\text{R}}$.

To the best of our knowledge, the present study is the first to investigate the extent to which the ACSM metabolic equations for cycling and running reproduces the prescribed heart rate (%HRR), VO_2 (% $\text{VO}_{2\text{R}}$), and time to achieve a target energy expenditure during isocaloric exercise bouts. Our findings raise doubts about the appropriateness of prescribing isocaloric exercise bouts based on a 1:1 ratio between the %HRR and % $\text{VO}_{2\text{R}}$, since the predicted VO_2 was significantly overestimated throughout the submaximal exercise protocols

(see Table 4 and Figure 2). In practical terms, the subjects had to perform additional exercise in relation to the predicted time to reach the target energy expenditure of 400 kcal for the two exercise modalities (see Figure 3). On the other hand, the predicted and observed heart rate values were quite similar across the two exercise modalities during the first energy expenditure quartile, after which the predicted heart rate was underestimated, especially for running (see Table 4 and Figure 2). In practical terms, prescribing exercise intensity based upon the VO_2 and then estimating the relative heart rate assuming a 1:1 relationship, would probably overestimate energy expenditure, especially for high intensity and long duration exercise bouts. This is important for exercise prescription, since previous studies using healthy adults (GORMLEY et al., 2008), heart failure patients (WISLOFF et al., 2007), and obese adults (SCHJERVE et al., 2008) have monitored heart rate to adjust the work rate corresponding to the preferred exercise intensity and ensure the training bouts were isocaloric. In other words, using heart rate to ensure the intended training volume is being performed is not valid.

7 CONCLUSIONS

The hypothetical 1:1 relationship between %HRR and % VO_2R could not be reproduced, since the % VO_2R was underestimated by %HRR. Concurrently, the relationships between the %HRR and % VO_2R from maximal incremental exercise testing may not accurately transpose to prolonged constant work rate exercise, regardless of exercise modality. Moreover, the present findings warrant further investigation with regards to the applicability of the ACSM metabolic equations to calculate the target work rate based on the VO_2 obtained by calculating the target % VO_2R , since the cycling and running equations overestimated the predicted energy expenditure resulting in an underestimation of the observed time to achieve 400 kcals. This information is of paramount importance for exercise prescription to determine the predicted time to achieve a given energy expenditure during isocaloric exercise bouts ($\text{min}\cdot\text{bout}^{-1}$), as well the work rate ($\text{miles}\cdot\text{h}^{-1}$ or $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and watts) and target heart rate ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$). Further research is required to establish the accuracy of the ACSM metabolic equations for different exercise intensities and volumes, and populations with different levels of cardiorespiratory fitness and clinical conditions.

REFERENCES

- ABRANTES, C. et al. Physiological responses to treadmill and cycle exercise. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 1, p. 26-30, Jan 2012.
- ACSM. **ACSM's guidelines for exercise testing and prescription**. 9th. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2013.
- COMPHER, C. et al. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. **J Am Diet Assoc**, v. 106, n. 6, p. 881-903, Jun 2006.
- CUNHA, F. A.; FARINATTI PDE, T.; MIDGLEY, A. W. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. **J Sci Med Sport**, v. 14, n. 1, p. 46-57, Jan 2011.
- CUNHA, F. A. et al. Utility of a Non-Exercise VO₂max Prediction Model for Designing Ramp Test Protocols. **Int J Sports Med**, Jun 3 2015.
- CUNHA, F. A. et al. How long does it take to achieve steady state for an accurate assessment of resting VO₂ in healthy men? **Eur J Appl Physiol**, v. 113, n. 6, p. 1441-7, Jun 2013.
- CUNHA, F. A. et al. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO₂ assessment on %HR(max), %HRR, %VO₂max and %VO₂R relationships. **Int J Sports Med**, v. 31, n. 5, p. 319-26, May 2010.
- CUNHA, F. A. et al. Influence of exercise modality on agreement between gas exchange and heart rate variability thresholds. **Braz J Med Biol Res**, v. 47, n. 8, p. 706-14, Aug 2014.
- DONNELLY, J. E. et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 2, p. 459-71, Feb 2009.
- FLETCHER, G. F. et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 128, n. 8, p. 873-934, Aug 20 2013.
- FRITZSCHE, R. G. et al. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 3, p. 799-805, Mar 1999.
- GARBER, C. E. et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 7, p. 1334-59, Jul 2011.

GORMLEY, S. E. et al. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 7, p. 1336-43, Jul 2008.

HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R., JR.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27, n. 9, p. 1292-301, Sep 1995.

MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; CARROLL, S. Effect of the VO₂ time-averaging interval on the reproducibility of VO₂max in healthy athletic subjects. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 27, n. 2, p. 122-5, Mar 2007.

NASSIS, G. P.; GELADAS, N. D. Cardiac output decline in prolonged dynamic exercise is affected by the exercise mode. **Pflugers Arch**, v. 445, n. 3, p. 398-404, Dec 2002.

ROSSITER, H. B. Exercise: Kinetic considerations for gas exchange. **Compr Physiol**, v. 1, n. 1, p. 203-44, Jan 2011.

ROWELL, L. B. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. **Physiol Rev**, v. 54, n. 1, p. 75-159, Jan 1974.

SCHJERVE, I. E. et al. Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. **Clin Sci (Lond)**, v. 115, n. 9, p. 283-93, Nov 2008.

SWAIN, D. P. Energy cost calculations for exercise prescription: an update. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 17-22, Jul 2000.

SWAIN, D. P.; LEUTHOLTZ, B. C. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. **Med Sci Sports Exerc**, v. 29, n. 3, p. 410-4, Mar 1997.

SWAIN, D. P. et al. Relationship between % heart rate reserve and % VO₂ reserve in treadmill exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, n. 2, p. 318-21, Feb 1998.

TOTH, M. J. Comparing energy expenditure data among individuals differing in body size and composition: statistical and physiological considerations. **Curr Opin Clin Nutr Metab Care**, v. 4, n. 5, p. 391-7, Sep 2001.

WENGER, H. A.; BELL, G. J. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. **Sports Med**, v. 3, n. 5, p. 346-56, Sep-Oct 1986.

WISLOFF, U. et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. **Circulation**, v. 115, n. 24, p. 3086-94, Jun 19 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos pelo estudo que compôs a presente dissertação de mestrado, pode-se concluir que:

A premissa existente de uma hipotética relação de 1:1 entre os %FCR e %VO₂R, não foi sustentada tanto no TCPE quanto na sessão submáxima de exercício com carga constante em ambas as modalidades de exercício (ex.: ciclismo e corrida), uma vez que o %VO₂R foi significativamente menor do que o %FCR. No contexto das sessões submáximas de exercício, por exemplo, a dissociação entre os %FCR e %VO₂R foi influenciada pelo tempo de duração e modo do exercício. Em outras palavras, isso significa dizer que tais relações obtidas por meio de análises de regressão linear a partir de teste máximo de exercício não são válidas para rotinas de prescrição de exercícios com diferentes modos de exercício e tempos de duração. Outro problema reside na determinação da carga de trabalho. As equações de ciclismo e corrida do ACSM reproduziram o valor predito de FCR, mas não o valor predito de VO₂R e, por conseguinte, o dispêndio energético alvo para as sessões isocalóricas de exercício à 75%VO₂R. Logo, o tempo para se atingir 400 kcal no ciclismo e na corrida foi subestimado. Esses resultados ratificam os questionamentos realizados no capítulo de revisão da literatura.

Para o desenvolvimento de novos estudos, sugere-se que:

- a) A relação de linearidade entre os %FCR e %VO₂R seja investigada em protocolos submáximos com cargas de trabalho fixas e/ou variadas (tipo intervalado) em função diferentes tempos de duração, comparando o dispêndio energético estimado pelas equações metabólicas com os dados diretamente medidos em diferentes populações;
- b) Sejam analisadas em que extensão as velocidades de caminhada/corrida e potência de pedalagem obtidas pelos modelos do ACSM reproduzem o VO₂ que serviu de base para prescrição em diferentes intensidades;
- c) Seja investigada a influência do nível de aptidão cardiorrespiratória sobre tais relacionamentos e os possíveis ajustes fisiológicos ao longo das sessões de exercício.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, C. et al. Physiological responses to treadmill and cycle exercise. **Int J Sports Med**, v. 33, n. 1, p. 26-30, Jan 2012.
- ACSM. American College of Sports Medicine position stand. Osteoporosis and exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27, n. 4, p. i-vii, Apr 1995.
- _____. American College of Sports Medicine Position Stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, n. 6, p. 975-91, Jun 1998.
- _____. **ACSM's guidelines for exercise testing and prescription**. . 7th Ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- _____. **ACSM's guidelines for exercise testing and prescription**. 8th Ed. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins., 2009.
- _____. **ACSM's guidelines for exercise testing and prescription**. 9th. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2013.
- ALBRIGHT, A. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and type 2 diabetes. **Med Sci Sports Exerc**, v. 32, n. 7, p. 1345-60, Jul 2000.
- BRAWNER, C. A.; KETEYIAN, S. J.; EHRMAN, J. K. The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 3, p. 418-22, Mar 2002.
- BRUCE, R. A.; KUSUMI, F.; HOSMER, D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. **Am Heart J**, v. 85, n. 4, p. 546-62, Apr 1973.
- BYRNE, N. M.; HILLS, A. Relationships between HR and VO(2) in the obese. **Med Sci Sports Exerc**, v. 34, n. 9, p. 1419-27, Sep 2002.
- BYRNE, N. M. et al. Metabolic equivalent: one size does not fit all. **J Appl Physiol**, v. 99, n. 3, p. 1112-9, Sep 2005.
- CARVALHO, V. O. et al. The relationship between heart rate and oxygen consumption in heart transplant recipients during a cardiopulmonary exercise test: heart rate dynamic during exercise test. **Int J Cardiol**, v. 145, n. 1, p. 158-60, Nov 5 2010.
- CARVALHO, V. O.; GUIMARAES, G. V.; BOCCHI, E. A. The relationship between heart rate reserve and oxygen uptake reserve in heart failure patients on optimized and non-optimized beta-blocker therapy. **Clinics (Sao Paulo)**, v. 63, n. 6, p. 725-30, Dec 2008.

CHODZKO-ZAJKO, W. J. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and physical activity for older adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 7, p. 1510-30, Jul 2009.

COLBERG, S. R.; SWAIN, D. P.; VINIK, A. I. Use of heart rate reserve and rating of perceived exertion to prescribe exercise intensity in diabetic autonomic neuropathy. **Diabetes Care**, v. 26, n. 4, p. 986-90, Apr 2003.

COLBERT, L. H.; HOOTMAN, J. M.; MACERA, C. A. Physical activity-related injuries in walkers and runners in the aerobics center longitudinal study. **Clin J Sport Med**, v. 10, n. 4, p. 259-63, Oct 2000.

COMPHER, C. et al. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. **J Am Diet Assoc**, v. 106, n. 6, p. 881-903, Jun 2006.

COYLE, E. F.; GONZALEZ-ALONSO, J. Cardiovascular drift during prolonged exercise: new perspectives. **Exerc Sport Sci Rev**, v. 29, n. 2, p. 88-92, Apr 2001.

CUNHA, F. A. et al. Do the speeds defined by the American College of Sports Medicine metabolic equation for running produce target energy expenditures during isocaloric exercise bouts? **Eur J Appl Physiol**, v. 112, n. 8, p. 3019-26, Aug 2012.

CUNHA, F. A. et al. Utility of a Non-Exercise VO₂max Prediction Model for Designing Ramp Test Protocols. **Int J Sports Med**, Jun 3 2015.

CUNHA, F. A. et al. How long does it take to achieve steady state for an accurate assessment of resting VO(2) in healthy men? **Eur J Appl Physiol**, v. 113, n. 6, p. 1441-7, Jun 2013.

CUNHA, F. A. et al. The relationship between oxygen uptake reserve and heart rate reserve is affected by intensity and duration during aerobic exercise at constant work rate. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 36, n. 6, p. 839-47, Dec 2011.

CUNHA, F. A. et al. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO(2) assessment on %HR(max), %HRR, %VO(2max) and %VO(2)R relationships. **Int J Sports Med**, v. 31, n. 5, p. 319-26, May 2010.

CUNHA, F. A. et al. Metabolic equivalent concept in apparently healthy men: a re-examination of the standard oxygen uptake value of 3.5 mL.kg⁻¹.min⁻¹. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 38, n. 11, p. 1115-9, Nov 2013.

CUNHA, F. A. et al. Influence of exercise modality on agreement between gas exchange and heart rate variability thresholds. **Braz J Med Biol Res**, v. 47, n. 8, p. 706-14, Aug 2014.

DA CUNHA, F. A.; FARINATTI PDE, T.; MIDGLEY, A. W. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. **J Sci Med Sport**, v. 14, n. 1, p. 46-57, Jan 2011.

DA CUNHA, F. A.; MONTENEGRO, R. A.; FARINATTI, P. T. V. **Qual é a melhor estratégia de prescrição do exercício aeróbico para aumentar o dispêndio energético em pacientes sedentários?** 2013. ISBN 1983-2567[escape}.

DALLECK, L. C.; KRAVITZ, L. Relationship Between %Heart Rate Reserve And %VO₂ Reserve During Elliptical Crosstrainer Exercise. **J Sports Sci Med**, v. 5, n. 4, p. 662-71, 2006.

DAVENPORT, M. H. et al. Development and validation of exercise target heart rate zones for overweight and obese pregnant women. **Appl Physiol Nutr Metab**, v. 33, n. 5, p. 984-9, Oct 2008.

DONNELLY, J. E. et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. **Med Sci Sports Exerc**, v. 41, n. 2, p. 459-71, Feb 2009.

FLETCHER, G. F. et al. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 128, n. 8, p. 873-934, Aug 20 2013.

FRITZSCHE, R. G. et al. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. **J Appl Physiol**, v. 86, n. 3, p. 799-805, Mar 1999.

GARBER, C. E. et al. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 7, p. 1334-59, Jul 2011.

GASKILL, S. E. et al. %Heart Rate Reserve Is Better Related to %VO₂max Than to %VO₂ reserve: The HERITAGE Family Study. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 5, p. S3, 2004.

GORMLEY, S. E. et al. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 7, p. 1336-43, Jul 2008.

HOWLEY, E. T.; BASSETT, D. R., JR.; WELCH, H. G. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. **Med Sci Sports Exerc**, v. 27, n. 9, p. 1292-301, Sep 1995.

HUI, S. S.; CHAN, J. W. The relationship between heart rate reserve and oxygen uptake reserve in children and adolescents. **Res Q Exerc Sport**, v. 77, n. 1, p. 41-9, Mar 2006.

IRVING, B. A. et al. Effect of exercise training intensity on abdominal visceral fat and body composition. **Med Sci Sports Exerc**, v. 40, n. 11, p. 1863-72, Nov 2008.

JACKSON, A. S.; POLLOCK, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. **Br J Nutr**, v. 40, n. 3, p. 497-504, Nov 1978.

JAKICIC, J. M.; OTTO, A. D. Physical activity considerations for the treatment and prevention of obesity. **Am J Clin Nutr**, v. 82, n. 1 Suppl, p. 226S-229S, Jul 2005.

- JAMES, P. A. et al. 2014 evidence-based guideline for the management of high blood pressure in adults: report from the panel members appointed to the Eighth Joint National Committee (JNC 8). **JAMA**, v. 311, n. 5, p. 507-20, Feb 5 2014.
- JONES, A. M.; CARTER, H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. **Sports Med**, v. 29, n. 6, p. 373-86, Jun 2000.
- JONES, A. M. et al. Slow component of V.O kinetics: mechanistic bases and practical applications. **Med Sci Sports Exerc**, v. 43, n. 11, p. 2046-62, Nov 2011.
- KARVONEN, M. J.; KENTALA, E.; MUSTALA, O. The effects of training on heart rate; a longitudinal study. **Ann Med Exp Biol Fenn**, v. 35, n. 3, p. 307-15, 1957.
- KESSLER, H. S.; SISSON, S. B.; SHORT, K. R. The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. **Sports Med**, v. 42, n. 6, p. 489-509, Jun 1 2012.
- LOUNANA, J. et al. Relationship between %HRmax, %HR reserve, %VO2max, and %VO2 reserve in elite cyclists. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 2, p. 350-7, Feb 2007.
- MARANHAO NETO GDE, A.; PONCE DE LEON, A. C.; FARINATTI PDE, T. [Cross-cultural equivalence of three scales used to estimate cardiorespiratory fitness in the elderly]. **Cad Saude Publica**, v. 24, n. 11, p. 2499-510, Nov 2008.
- MATTHEWS, C. E. et al. Classification of cardiorespiratory fitness without exercise testing. **Med Sci Sports Exerc**, v. 31, n. 3, p. 486-93, Mar 1999.
- MEZZANI, A. et al. Unreliability of the %VO2 reserve versus %heart rate reserve relationship for aerobic effort relative intensity assessment in chronic heart failure patients on or off beta-blocking therapy. **Eur J Cardiovasc Prev Rehabil**, v. 14, n. 1, p. 92-8, Feb 2007.
- MIDGLEY, A. W. et al. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO2 max determination really need to last between 8 and 12 minutes? **Sports Med**, v. 38, n. 6, p. 441-7, 2008.
- MIDGLEY, A. W.; MCNAUGHTON, L. R.; CARROLL, S. Effect of the VO2 time-averaging interval on the reproducibility of VO2max in healthy athletic subjects. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 27, n. 2, p. 122-5, Mar 2007.
- MILLET, G. P.; VLECK, V. E.; BENTLEY, D. J. Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. **Sports Med**, v. 39, n. 3, p. 179-206, 2009.
- MYERS, J. et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. **J Am Coll Cardiol**, v. 17, n. 6, p. 1334-42, May 1991.
- NASSIS, G. P.; GELADAS, N. D. Cardiac output decline in prolonged dynamic exercise is affected by the exercise mode. **Pflugers Arch**, v. 445, n. 3, p. 398-404, Dec 2002.

- NYBO, L. et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health. **Med Sci Sports Exerc**, v. 42, n. 10, p. 1951-8, Oct 2010.
- PESCATELLO, L. S. et al. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and hypertension. **Med Sci Sports Exerc**, v. 36, n. 3, p. 533-53, Mar 2004.
- PINET, B. M. et al. Exercise intensity prescription in obese individuals. **Obesity (Silver Spring)**, v. 16, n. 9, p. 2088-95, Sep 2008.
- POEHLMAN, E. T. A review: exercise and its influence on resting energy metabolism in man. **Med Sci Sports Exerc**, v. 21, n. 5, p. 515-25, Oct 1989.
- ROGNMO, O. et al. High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. **Eur J Cardiovasc Prev Rehabil**, v. 11, n. 3, p. 216-22, Jun 2004.
- ROSSITER, H. B. Exercise: Kinetic considerations for gas exchange. **Compr Physiol**, v. 1, n. 1, p. 203-44, Jan 2011.
- ROTSTEIN, A.; MECKEL, Y. Estimation of %VO₂ reserve from heart rate during arm exercise and running. **Eur J Appl Physiol**, v. 83, n. 6, p. 545-50, Dec 2000.
- ROWELL, L. B. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. **Physiol Rev**, v. 54, n. 1, p. 75-159, Jan 1974.
- SCHJERVE, I. E. et al. Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. **Clin Sci (Lond)**, v. 115, n. 9, p. 283-93, Nov 2008.
- SIGAL, R. J. et al. Physical activity/exercise and type 2 diabetes: a consensus statement from the American Diabetes Association. **Diabetes Care**, v. 29, n. 6, p. 1433-8, Jun 2006.
- SIRI, W. E. **Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. (Vol. 9): In: Brozek J, Henschel A, editors. Techniques for measuring body composition. Washington DC: National Academy of Science. . 1961.**
- SPEAKMAN, J. R.; SELMAN, C. Physical activity and resting metabolic rate. **Proc Nutr Soc**, v. 62, n. 3, p. 621-34, Aug 2003.
- SWAIN, D. P. Energy cost calculations for exercise prescription: an update. **Sports Med**, v. 30, n. 1, p. 17-22, Jul 2000.
- SWAIN, D. P.; FRANKLIN, B. A. Comparison of cardioprotective benefits of vigorous versus moderate intensity aerobic exercise. **Am J Cardiol**, v. 97, n. 1, p. 141-7, Jan 1 2006.
- SWAIN, D. P.; LEUTHOLTZ, B. C. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. **Med Sci Sports Exerc**, v. 29, n. 3, p. 410-4, Mar 1997.
- SWAIN, D. P. et al. Relationship between % heart rate reserve and % VO₂ reserve in treadmill exercise. **Med Sci Sports Exerc**, v. 30, n. 2, p. 318-21, Feb 1998.

TOTH, M. J. Comparing energy expenditure data among individuals differing in body size and composition: statistical and physiological considerations. **Curr Opin Clin Nutr Metab Care**, v. 4, n. 5, p. 391-7, Sep 2001.

TREMBLAY, A.; SIMONEAU, J. A.; BOUCHARD, C. Impact of exercise intensity on body fatness and skeletal muscle metabolism. **Metabolism**, v. 43, n. 7, p. 814-8, Jul 1994.

TRILK, J. L. et al. Effect of sprint interval training on circulatory function during exercise in sedentary, overweight/obese women. **Eur J Appl Physiol**, v. 111, n. 8, p. 1591-7, Aug 2011.

WALL, J. C.; CHARTERIS, J. The process of habituation to treadmill walking at different velocities. **Ergonomics**, v. 23, n. 5, p. 425-35, May 1980.

WENGER, H. A.; BELL, G. J. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. **Sports Med**, v. 3, n. 5, p. 346-56, Sep-Oct 1986.

WHALEY, M. H. et al. Predictors of over- and underachievement of age-predicted maximal heart rate. **Med Sci Sports Exerc**, v. 24, n. 10, p. 1173-9, Oct 1992.

WISLOFF, U. et al. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. **Circulation**, v. 115, n. 24, p. 3086-94, Jun 19 2007.

YOON, B. K.; KRAVITZ, L.; ROBERGS, R. VO₂max, protocol duration, and the VO₂ plateau. **Med Sci Sports Exerc**, v. 39, n. 7, p. 1186-92, Jul 2007.

YOSHIGA, C. C.; HIGUCHI, M.; OKA, J. Lower heart rate response to ergometry rowing than to treadmill running in older men. **Clin Physiol Funct Imaging**, v. 23, n. 1, p. 58-61, Jan 2003.

YUNG, L. M. et al. Exercise, vascular wall and cardiovascular diseases: an update (part 2). **Sports Med**, v. 39, n. 1, p. 45-63, 2009.

ANEXOS

ANEXO I - Anamnese

Nome: _____ Data de Nascimento: ____/____/____

Questionário de Prontidão para Atividade Física (PAR-Q)-Q)

O bom senso é seu melhor guia ao responder estas questões. Queira ler as questões com extremo cuidado e responder cada uma delas com honestidade: checar SIM ou NÃO.

1. Algum médico já disse que você possui algum problema de coração e que só deveria realizar atividade física supervisionada por profissionais de saúde?
NÃO () SIM () – Descreva:

2. Você sente dores no peito quando pratica atividade física?
NÃO () SIM () – Descreva:

3. No último mês você sentiu dores no peito quando praticava atividade física?
NÃO () SIM () – Descreva:

4. Você apresenta desequilíbrio devido a tontura e/ou perda da consciência?
NÃO () SIM () – Descreva:

5. Você possui algum problema ósseo ou articular que poderia ser piorado pela atividade física?
NÃO () SIM () – Descreva:

6. Você toma atualmente algum medicamento para pressão arterial e/ou problema de coração?
NÃO () SIM () – Descreva:

7. Você está a par de alguma outra razão pela qual não deveria realizar uma atividade física?

NÃO () SIM () – Descreva:

Histórico de Atividade Física:

Você pratica alguma atividade física? SIM () NÃO ()

Caso a resposta seja *SIM*:

Tempo (meses) _____

Frequência Semanal _____

Duração (min.sessão⁻¹) _____

Li, compreendi e completei este questionário. Todas as dúvidas que eu tinha foram respondidas de uma maneira plenamente satisfatória.

Assinatura: _____

Testemunha: _____

ANEXO II - Termo de Informação e Consentimento

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa, cujo principal objetivo reside em investigar a acurácia das relações entre os percentuais de frequência cardíaca de reserva e consumo de oxigênio de reserva durante sessões isocalóricas de exercício aeróbio. Para tanto, serão necessárias um total de 3 à 5 visitas. A seguir, são explicados, todos os procedimentos envolvidos no estudo. É muito importante que você entenda tudo o que está escrito. Leia atentamente o texto e, mediante qualquer dúvida, não hesite em questionar-nos.

1ª Visita: Destinada à avaliação da composição corporal, medidas em repouso da frequência cardíaca (FC) e consumo de oxigênio (VO_2), consistindo em uma duração de 50 min. Previamente à realização dos testes, as seguintes instruções padronizadas serão fornecidas aos indivíduos: a) não praticarem qualquer tipo de atividade física no dia anterior a medida; b) não consumirem bebidas alcoólicas, coladas ou com cafeína nas 24 horas precedentes ao teste; c) jejum de pelo menos 6h; d) durante a ida ao laboratório, realizar o mínimo de esforço.

2ª e 3ª Visitas: Destinadas à medida da aptidão cardiorrespiratória por meio de teste cardiopulmonar de exercício máximo em esteira rolante e cicloergômetro. Cada visita levará 1h de duração, sendo espaçadas por 72h. Previamente à realização dos testes, os sujeitos serão orientados a: a) não praticarem qualquer tipo de esforço físico no dia anterior (24h); b) não consumirem bebidas alcoólicas, coladas ou com cafeína nas 8 horas precedentes ao teste; c) não ingerir alimentos 3h antes do teste.

4ª e 5ª Visitas: Serão destinadas aos protocolos submáximos de treinamento em esteira rolante e cicloergômetro. Os protocolos são caracterizados por sessões contínuas de treinamento, consistindo em aproximadamente 1h de duração. As visitas serão espaçadas por 24 à 48h. Previamente à realização dos testes, os sujeitos serão orientados a: a) não praticarem qualquer tipo de esforço físico no dia anterior (24h); b) não consumirem bebidas alcoólicas, coladas ou com cafeína nas 8 horas precedentes ao teste; c) não ingerir alimentos 3h antes do teste.

Observações finais

1 - Durante o período destinado à coleta de dados, não será permitido aos voluntários realizar exercícios além dos requisitados nos experimentos. Além disso, diariamente antes de iniciar a tomada de dados, os indivíduos deverão informar aos avaliadores qualquer modificação ocorrida em sua rotina de atividades, bem como qualquer sintoma de dor ou incômodo evidenciado.

2 - Os dados obtidos nesta investigação serão confidenciais, não sendo comunicados a outras pessoas sem a sua permissão, a não ser para fins acadêmicos, incluindo a publicação de trabalhos científicos, onde será preservado o seu anonimato.

3 - Em estudos dessa natureza podem ocorrer dores ou desconfortos. Caso aconteçam quaisquer problemas durante a coleta de dados, você receberá toda assistência, inclusive médica, caso necessário.

4 - Todos os voluntários terão acesso aos dados de sua participação na pesquisa.

5 - Lembre-se que sua participação é voluntária e a qualquer momento, antes ou durante sua realização, se assim o desejar, você poderá desistir sem qualquer ônus a sua pessoa.

6 - Estando ciente do conteúdo dessa forma e aceitando as condições de sua realização, solicitamos que assine esse termo de consentimento.

Rio de Janeiro , _____ de _____ de _____.

Voluntário

Avaliador

ANEXO III - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
HOSPITAL UNIVERSITÁRIO PEDRO ERNESTO
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA



Rio de Janeiro, 08 de Fevereiro de 2012

Do: Comitê de Ética em Pesquisa

Prof.: Wille Oigman

Para: Aut. Felipe Amorim da Cunha /Orient. Prof. Paulo de Tarso Veras Farinatti

Registro CEP/HUPE: 3082/2011 (este número deverá ser citado nas correspondências referentes ao projeto)

CAAE: 0222.0.228.000-11

O Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário Pedro Ernesto, após avaliação, considerou o projeto, "EFEITOS DE SESSÕES ISOCALÓRICAS DE EXERCÍCIO AERÓBIO SOBRE A VARIABILIDADE DA FREQUÊNCIA CARDÍACA" aprovado, encontrando-se este dentro dos padrões éticos da pesquisa em seres humanos, conforme Resolução n.º196 sobre pesquisa envolvendo seres humanos de 10 de outubro de 1996, do Conselho Nacional de Saúde, bem como o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

O pesquisador deverá informar ao Comitê de Ética qualquer acontecimento ocorrido no decorrer da pesquisa.

O Comitê de Ética solicita a V. S^a., que ao término da pesquisa encaminhe a esta comissão um sumário dos resultados do projeto.

Prof. Wille Oigman

Presidente do Comitê de Ética em Pesquisa

COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
HUPE/UERJ

ANEXO IV - Formato Final do Artigo Submetido ao JSCR

Journal of Strength and Conditioning Research

Relationship between percentages of heart rate reserve and oxygen uptake reserve during cycling and running: a validation study

--Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	Relationship between percentages of heart rate reserve and oxygen uptake reserve during cycling and running: a validation study
Short Title:	%HRR-%VO2R relationships in two exercise modes
Article Type:	Original Research
Keywords:	cardiopulmonary exercise testing; isocaloric exercise; kilocalories; training intensity
Corresponding Author:	Felipe Cunha, Ph.D. Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Rio de Janeiro BRAZIL
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Giovanna Guimarães
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Giovanna Guimarães Paulo Farinatti, Ph.D. Adrian Midgley, Professor Fabrício Vasconcellos, Ph.D. Patrícia Vigário, Ph.D. Felipe Cunha, Ph.D.
Order of Authors Secondary Information:	
Manuscript Region of Origin:	BRAZIL
Abstract:	The present study investigated the relationship between percentages of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (%VO2R) during a cardiopulmonary exercise test (CPET) and discrete bouts of isocaloric cycling and treadmill running. Thirty men visited the laboratory three times for anthropometrical and resting VO2 assessments, and perform cycling and running CPETs. Ten men visited the laboratory twice more to investigate the validity of the %HRR-%VO2R relationships during isocaloric bouts of cycling and running at 75% VO2R with energy expenditures of 400 kcals. The %HRR was significantly higher than the %VO2R during both CPETs at all exercise intensities ($P < 0.001$). During isocaloric exercise bouts, mean %HRR-%VO2R differences of 6.5% and 7.0% were observed for cycling and running, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). The %HRR and %VO2R increased over time ($P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($P < 0.001$). On average, heart rate was 5 ($P = 0.007$) and 8 ($P < 0.001$) beats*min ⁻¹ higher than predicted from the second energy expenditure quartile for cycling and running, respectively; however, observed VO2 was lower than predicted during all quartiles for cycling, and the first quartile for running. Consequently, time to achieve the target energy expenditure was greater than predicted ($P < 0.01$). In conclusion, the %HRR-%VO2R relationship observed during CPET data did not accurately transpose to prolonged isocaloric bouts of cycling and running. Additionally, work rates defined by the ACSM equations for cycling and running overestimated VO2 and energy expenditure.

Suggested Reviewers:	Scott Thomas, PhD Professor, University of Toronto Faculty of Kinesiology and Physical Education scott.thomas@utoronto.ca Expert on the field of exercise physiology
	Lars Mc Naughton, PhD Professor, Edge Hill University lars.mcnaughton@edgehill.ac.uk Expert on the field of exercise physiology
Opposed Reviewers:	

Manuscript (NO AUTHOR INFORMATION - Manuscript Text
Pages, including References and Figure Legends)

TITLE PAGE

**Relationship between percentages of heart rate reserve and oxygen uptake reserve during cycling
and running: a validation study**

Abstract

The present study investigated the relationship between percentages of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (%VO₂R) during a cardiopulmonary exercise test (CPET) and discrete bouts of isocaloric cycling and treadmill running. Thirty men visited the laboratory three times for anthropometrical and resting VO₂ assessments, and perform cycling and running CPETs. Ten men visited the laboratory twice more to investigate the validity of the %HRR-%VO₂R relationships during isocaloric bouts of cycling and running at 75% VO₂R with energy expenditures of 400 kcals. The %HRR was significantly higher than the %VO₂R during both CPETs at all exercise intensities ($P < 0.001$). During isocaloric exercise bouts, mean %HRR-%VO₂R differences of 6.5% and 7.0% were observed for cycling and running, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). The %HRR and %VO₂R increased over time ($P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($P < 0.001$). On average, heart rate was 5 ($P = 0.007$) and 8 ($P < 0.001$) beats·min⁻¹ higher than predicted from the second energy expenditure quartile for cycling and running, respectively; however, observed VO₂ was lower than predicted during all quartiles for cycling, and the first quartile for running. Consequently, time to achieve the target energy expenditure was greater than predicted ($P < 0.01$). In conclusion, the %HRR-%VO₂R relationship observed during CPET data did not accurately transpose to prolonged isocaloric bouts of cycling and running. Additionally, work rates defined by the ACSM equations for cycling and running overestimated VO₂ and energy expenditure.

Key Words: cardiopulmonary exercise testing, isocaloric exercise, kilocalories, training intensity.

INTRODUCTION

General recommendations for aerobic exercise prescription include manipulation of training frequency, intensity, duration, and mode of activity according to the age, fitness level, and clinical condition of the exercising individual (10, 12). Intensity is arguably the most important of these variables, due to its relative efficacy in altering cardiorespiratory fitness when manipulated (24). According to the American College of Sports Medicine (ACSM), the current 'gold standard' method for prescribing aerobic exercise intensity is the application of the linear relationship between percentages of heart rate reserve (HRR) and oxygen uptake reserve (VO_2R) (2, 12). Specifically, exercise intensities between 40% and 85% HRR or VO_2R are recommended to promote health in adults (2, 12). From a practical perspective, the HRR can be used to monitor and adjust work rate to achieve the target intensity, and the VO_2R can be used to determine the duration of exercise required to elicit a target energy expenditure. Accurate determination of energy expenditure associated with exercise is particularly important when prescribing exercise to promote weight loss and maintenance (9). The VO_2R also can be used in the ACSM metabolic equations to derive the required work rate for cycling, running, and several other exercise modalities (2).

The ACSM recommendation for using %HRR and % VO_2R is based on the assumption that there is a 1:1 relationship between these two variables (20-22). Two important issues must be considered concerning this hypothetical 1:1 ratio and the use of the ACSM metabolic equations, however. First, the use of heart rate as an indicator of relative metabolic intensity is based on validation studies that employed cardiopulmonary exercise tests (CPETs), characterized by relatively short duration maximal incremental exercise (8). Whether the change in heart rate is a valid marker of change in relative metabolic intensity during more prolonged constant work rate exercise is uncertain. A question therefore arises regarding the extent to which results obtained by studies that described the hypothetical 1:1 relationship between the %HRR and % VO_2R during CPET, extrapolate to training bouts characterized by relatively long duration and constant work rate. Another unanswered question is whether the work rates defined by the ACSM metabolic equations produce target heart rate (%HRR), VO_2 (% VO_2R) and energy expenditure values during isocaloric exercise bouts. It is possible that these equations underestimate or overestimate the metabolic demand with important practical consequences for exercise prescription, especially within the context of weight control programs or experimental research where exercise volume between different bouts needs to be matched. Furthermore, exercise modality influences the magnitude of cardiorespiratory

responses at submaximal and maximal intensities (1, 7, 16), however, no study has investigated directly the extent to which different exercise modalities affect the %HRR-%VO₂R relationship.

The main aim of the present study was to investigate the validity of the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R during CPET and prolonged constant work rate exercise bouts using two exercise modalities (cycling and running). A second aim was to investigate whether the work rates defined by the ACSM metabolic equations for cycling and running reproduce the predicted heart rate, VO₂ and time to achieve the target energy expenditure during the exercise bouts, when assuming a 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

Figure 1 shows a fluxogram of the first and second parts of the study. Panel A includes procedures for investigating the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R derived from cycling and running CPETs. Panel B includes procedures for establishing the validity of the %HRR-%VO₂R relationships throughout the isocaloric constant work rate cycling and running bouts, and the accuracy of the ACSM metabolic equations for determining work rates associated with absolute values of VO₂ and associated energy expenditures. Resting and maximal VO₂ values obtained from 10 of the subjects included in the first part of the study were used in the second part to calculate exercise intensity for the constant work rate exercise bouts.

All running tests were performed on the same motorized treadmill (InbramedTM Super ATL, Porto Alegre, RS, Brazil) and the cycling tests were performed on the same cycle ergometer (Cateye EC-1600, CateyeTM, Tokio, Japan). Ambient temperature and relative humidity throughout the study ranged from 19 to 22°C and 50 to 70%, respectively.

INSERT FIGURE

Subjects

A total of 30 apparently healthy men volunteered for the study [mean (range): age, 24 (18-34) yr; height, 181 (163-198) cm; body mass, 84 (59-116) kg; body mass index, 25 (20-30) kg m⁻²; percentage body fat, 18% (9%-27%); resting heart rate, 62 (44-84) beats·min⁻¹; and resting VO₂, 542.2 (326.8-971.2) mL·min⁻¹]. All subjects were involved in aerobic activities for at least the previous 3 months, 2-5 times·wk⁻¹, and 20-60 min·bout⁻¹. The study gained approval from the institutional ethics committee (reference 3082/2011) and subjects provided informed consent prior to involvement in the study.

Procedures

Resting VO₂ was determined in accordance with the recommendations of Compher et al. (3): abstention of physical exercise, alcohol, soft drinks and caffeine in the 24 h preceding the assessment, fasting at least 8 h prior to the assessment, and minimum effort when travelling to the laboratory. In the laboratory, subjects laid in a calm environment in a supine position for an acclimation period of 10 min, after which the VO₂ was determined for 40 min. The mean VO₂ between minutes 35-40 was used to calculate the %VO₂R, since this time period has previously been shown to elicit a VO₂ steady-state and high test-retest reliability (5). The resting VO₂ was always measured at the same time of the day, between 07:00-11:00 a.m.

The ramp-incremented maximal CPETs were performed as described elsewhere (4, 6). The work rate increments were individualized to elicit each participant's limit of tolerance in 8-12 min. The criteria for test termination followed the recommendations of the ACSM (2). The test was considered to have elicited peak capacity when at least three of the following criteria were observed (14): a) maximum voluntary exhaustion defined by attaining a 10 on the Borg CR-10 scale; b) $\geq 90\%$ predicted maximal heart rate (HR_{max}) [220 – age] or presence of a heart rate (HR) plateau (ΔHR between two consecutive work rates ≤ 4 beats·min⁻¹); c) presence of a VO₂ plateau (ΔVO_2 between two consecutive work rates < 2.1 mL·kg⁻¹·min⁻¹); and d) respiratory exchange ratio > 1.10 .

Based on the HR_{max} and maximal oxygen uptake (VO_{2max}) obtained in the running and cycling CPET, and on the values of resting heart rate and resting VO₂, the values corresponding to 75% of the HRR and VO₂R were calculated to determine the intensity of the two constant work rate exercise bouts. The energy expenditure was calculated individually from the net VO₂, which is the VO₂ induced by the exercise bout

(i.e. net $\text{VO}_2 = \text{gross } \text{VO}_2 - \text{resting } \text{VO}_2$) (20). The net VO_2 values expressed in $\text{mL}\cdot\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ were converted to $\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ and then to $\text{kcal}\cdot\text{min}^{-1}$. The predicted time to achieve 400 kcal at 75% $\text{VO}_{2\text{R}}$ for each exercise modality also was calculated. The cycling and running bouts were preceded by a 5-min warm-up at 30 W and 65-75 $\text{revs}\cdot\text{min}^{-1}$, and 5.5 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and 1% grade, respectively.

The absolute VO_2 values obtained from the % $\text{VO}_{2\text{R}}$ equation were used to calculate the associated running speeds and cycling power outputs by applying the ACSM metabolic equations: VO_2 running ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) = $0.2 (\text{speed m}\cdot\text{min}^{-1}) + 0.9 (\text{speed m}\cdot\text{min}^{-1}) (\text{grade } \%) + 3.5 (\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$; and VO_2 cycling ($\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) = $3.5 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1} + 12.24 \times (\text{power W}) \times (\text{body weight kg}^{-1})$ (2). The grade of the treadmill was set at 1%, and the speed converted to $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$. Expired gases were collected during the exercise bouts via the metabolic cart. Based on the values obtained for VO_2 and associated energy expenditure determined throughout the exercise bout, the subjects were encouraged to perform an additional amount of exercise beyond the time predicted to expend 400 kcal, until they reached an observed energy expenditure of 400 kcal. Since the exercise bouts were designed to be isocaloric, the total duration of the bouts was expected to vary between subjects with different fitness levels. In order to allow comparisons of the cardiorespiratory responses across time within exercise bouts, data for the whole exercise bout were split into energy expenditure quartiles (i.e. 100, 200, 300, and 400 kcal).

Pulmonary gas exchanges were determined using a VO2000 analyzer (Medical Graphics™, Saint Louis, MO, USA) and a silicone face mask (Hans Rudolph™, Kansas, MO, USA). The gas exchange variables were 30-s stationary time-averaged, which provided a good compromise between removing noise in the data while maintaining the underlying trend (15). Prior to testing, the gas analyzers were calibrated according to the manufacturer's instructions, using a certified standard mixture of oxygen (17.01%) and carbon dioxide (5.00%), balanced with nitrogen (AGA®, Rio de Janeiro, RJ, Brazil). The flows and volumes of the pneumotacograph were calibrated with a syringe graduated for a 3 L capacity (Hans Rudolph™, Kansas, MO, USA). Heart rate was measured continuously using a cardiometer (RS800cx, Polar™, Kempele, Finland) and beat-by-beat data were 30-s stationary time-averaged.

Statistical Analyses

All statistical analyses were performed using Statistica 10 software (StatSoft™, Tulsa, OK, USA).

Sample data are described using the mean $\pm$ SD. Statistical significance was accepted as $P < 0.05$. In the first part of the study, a linear regression model was determined for each participant in order to compare the relationships between %HRR vs. %VO₂R. The heart rate and VO₂ values obtained at rest and during the CPETs were used as references to calculate %HRR and %VO₂R according to the following equations: 1) %HRR = (HR_{submax} – HR at rest) / (HR_{max} – HR at rest) x 100; and 2) %VO₂R = (VO_{2submax} – VO₂ at rest) / (VO_{2max} – VO₂ at rest) x 100. In these equations, HR_{max} refers to the maximal heart rate reached in the CPET; the HR_{submax} refers to the heart rate obtained throughout the CPET at 30-s intervals; VO_{2max} refers to the maximal VO₂ reached in the CPET; VO_{2submax} refers to the VO₂ obtained throughout the test at 30-s intervals. The %VO₂R was used as an independent variable in the regression model and the predicted percentages of HRR associated with 40, 50, 60, 70, 80 and 90% of the VO₂R were determined. The mean $\pm$ SD intercepts and slopes were determined for each linear regression model and Pearson correlation for each relationship was calculated. The Student t-test for paired samples was also used to test whether the intercepts and slopes of the regression models were significantly different from 0 and 1, respectively (6, 21, 22), and to test possible differences between the regression lines, as described in detail elsewhere (23). In addition, a two-way ANOVA for repeated measures with exercise modality and intensity as factors was used for between and within group comparisons. The Tukey *post hoc* test was applied to determine pairwise differences when significant *F* ratios were obtained.

In the second part of the study, the differences between the predicted and observed heart rate and VO₂ were analyzed using a two-way ANOVA for repeated measures. Where effects for exercise modality and time were statistically significant, Tukey *post hoc* pairwise comparisons were performed. Mean differences between the predicted and observed times to achieve 400 kcal at 75% VO₂R were investigated using one-sample t tests, using the difference scores and a test value of zero. The distribution of these differences was graphically displayed using Bland-Altman plots, which include the associated 95% limits of agreement.

RESULTS

Table 1 shows the mean $\pm$ SD values for cardiorespiratory variables and time to exhaustion obtained in the CPET. Mean HR_{max} and VO_{2max} were significantly higher during treadmill running compared to

cycling, whereas maximal values for minute ventilation (second part of study only) and respiratory exchange ratio were significantly higher during cycling. Mean time to exhaustion was similar between exercise modalities.

INSERT TABLE 1

Relationship between %HRR and %VO₂R

The mean $\pm$ SD intercepts and slopes for the individual linear regression models, derived from cycling and running CPETs, are shown in Table 2. Significant mean differences were observed between intercepts ($t = -6.59$; $P < 0.001$) and slopes ($t = -6.10$; $P < 0.001$) obtained for %HRR vs. %VO₂R relationships. Moreover, mean intercepts and slopes in both exercise modalities were significantly different from 0 ($P < 0.001$) and 1 ($P < 0.001$), respectively (see Table 2).

INSERT TABLE 2

Table 3 shows the values of %VO₂R corresponding to deciles of %HRR during the cycling and running CPETs. There were significant main effects for exercise modality ($F = 75.64$; $P < 0.001$) and intensity ($F = 9706.80$; $P < 0.001$), and a modality $\times$ intensity interaction ($F = 51.33$; $P < 0.001$). The mean %VO₂R was significantly lower than that predicted by the 1:1 relationship up to 60% HRR for cycling ($P < 0.001$) and throughout the whole range of observed work rates for running ($P < 0.001$). At all exercise intensities the %VO₂R was significantly higher in cycling compared to running ($P < 0.001$) and the %HRR was closer to the %VO₂R during cycling compared to running.

Figure 2 shows the relationships between the %HRR and %VO₂R at 100 kcal intervals during the 400 kcal continuous exercise bouts at 75% VO₂R. A 1:1 relationship between the %HRR and %VO₂R was not observed for either exercise modality, with an average difference of 6.5% and 7.0% between the two variables for cycling and running bouts, respectively ($P = 0.007$ to $P < 0.001$). Furthermore, the %HRR and %VO₂R increased significantly over time ($F = 2104.0$, $P < 0.001$), the rate of which was influenced by exercise modality ($F = 2659.0$, $P < 0.001$).

INSERT FIGURE 2 and TABLE 3

Predicted and observed values during submaximal exercise bouts

Table 4 shows the mean $\pm$ SD predicted and observed heart rate and VO_2 for cycling and running bouts. There were significant differences between the predicted and observed heart rates ($F = 82.4$, $P < 0.001$) and VO_2 ($F = 35.5$, $P < 0.001$). The heart rate was significantly higher than predicted from the second energy expenditure quartile (cycling: mean difference = 5 beats·min⁻¹, $P < 0.001$; running: mean difference = 8 beats·min⁻¹, $P < 0.001$), with the difference progressively increasing until reaching a maximum in the fourth quartile (cycling: mean difference = 12 beats·min⁻¹, $P < 0.001$; running: mean difference = 18 beats·min⁻¹, $P < 0.001$). In contrast, observed VO_2 was lower than predicted during all energy expenditure quartiles for cycling, with the largest differences in the first quartile (mean difference = 359 mL·min⁻¹; $P < 0.001$) and progressively decreasing until the fourth quartile (mean difference = 211 mL·min⁻¹; $P = 0.005$). Unlike cycling, observed VO_2 during running was lower than predicted only in the first quartile (mean difference = 234 mL·min⁻¹; $P = 0.001$).

Figure 3 shows the distribution of the differences between the predicted and observed times to achieve energy expenditure of 400 kcal at 75% VO_{2R} during cycling and running bouts. The time to achieve the target energy expenditure in each condition was significantly greater than predicted ($F = 356.2$, $P < 0.001$), with the greatest differences observed for cycling compared to running.

INSERT TABLE 4 AND FIGURE 3

DISCUSSION

The present study adds to current knowledge by investigating the %HRR-% VO_{2R} relationships during CPETs and isocaloric bouts of constant work rate exercise with energy expenditures of 400 kJ and using two different exercise modalities (cycling and running). The main finding was that the hypothetical 1:1 relationship between the %HRR and % VO_{2R} was not observed in either the CPET or constant work rate exercise for either exercise modality. Moreover, the ACSM equations for cycling and running overestimated the observed energy expenditure and, therefore, underestimated the time to achieved 400 kJ during exercise at 75% VO_{2R} . Due to the association between energy expenditure and VO_2 , similar errors were evident for VO_2 , especially for the exercise modality involving a lower muscle mass (i.e. cycling). However, the ACSM metabolic equations for cycling and running predicted heart rate during the

exercise bouts with a relatively high degree of accuracy during the first energy expenditure quartile, but subsequently observed heart rates were underestimated.

Cunha et al. (6) questioned the hypothetical 1:1 relationship between %HRR and %VO₂R during running CPET. The %VO₂R was underestimated in relation to %HRR, whereas differences between the %HRR and %VO₂R were inversely proportional to exercise intensity. In other words, the difference between %HRR and %VO₂R decreased when the exercise intensity was near to maximal, at least within the context of maximal incremental exercise testing. The findings of the present study concur with those of Cunha et al. (6), since the %HRR was significantly higher than the %VO₂R until 60% HRR for cycling ($P < 0.001$) and throughout the whole range of intensities for running ($P < 0.001$) (see Table 3). In any case, it is notable that %HRR was closer to %VO₂R during cycling [mean $\pm$ SD intercept and slope: 0.08 ± 0.05 and 0.93 ± 0.06 , respectively] than during running [mean $\pm$ SD intercept and slope: 0.22 ± 0.10 and 0.80 ± 0.11 , respectively] CPET (see Table 2). Interestingly, the effect of exercise modality on the slope of the %HRR-%VO₂R relationship also has been observed by Swain and Leutholtz (21), (22). The %HRR versus %VO₂R relationship during cycling CPET was indistinguishable from the line of identity [mean $\pm$ SD intercept and slope: -0.1 ± 0.6 and 1.00 ± 0.01 , respectively] (21), whereas in running it was slightly different from the line of identity [mean $\pm$ SD intercept and slope: 1.5 ± 0.6 and 1.03 ± 0.01 , respectively] (22). Comparison between results of the aforementioned studies should be viewed with caution, however, given the different exercise protocols and populations employed.

Cunha et al. (7) investigated whether there was a 1:1 relationship between the %HRR and %VO₂R at an exercise intensity corresponding to the gas exchange threshold in 16 apparently healthy men during cycling, walking, and running CPETs. The authors observed that mean values of %VO₂R at the gas exchange threshold were 7% and 11% lower than the corresponding %HRR for the cycling and running exercise modalities, respectively. The present findings concur with the hypothesis that the %HRR-%VO₂R relationship is influenced by the exercise modality used during the CPET, since the average difference between the %HRR and %VO₂R was greater during running than cycling CPET (see Figure 2). Exercise modality did not affect the average difference between the %HRR and %VO₂R during the 400 kcal exercise bouts at 75% VO₂R (cycling: 6.5%; running: 7%; see Figure 2), however, the greatest increases in heart rate (%HRR) and VO₂ (%VO₂R) over time were observed during running compared to cycling (see Table 4 and Figure 2).

Nassis and Geladas (16) compared the physiological strain during prolonged submaximal cycling and running for 90 min at 60% $\text{VO}_{2\text{max}}$ in a thermoneutral environment ($23.8 \pm 0.3^\circ\text{C}$) in the same group of 11 healthy males [mean $\pm$ SD: (cycling and running $\text{VO}_{2\text{max}}$: 48.5 ± 1.8 and $52.1 \pm 2.2 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, respectively)]. The authors observed a main effect for exercise modality, where VO_2 , heart rate, cardiac output, stroke volume, and rectal temperature were significantly greater during running compared to cycling ($P < 0.01$). The cardiac output declined only during cycling, however, presumably because of the greater drop in stroke volume, despite a higher degree of whole body dehydration and hyperthermia observed in running. This in turn may explain the plateau in VO_2 throughout the cycling bout compared to the progressive increase in VO_2 until minute 43 in the running bout (16). In others words, these findings suggest that active muscle mass played a role in the cardiovascular responses, which reinforce the notion that the relationships between %HRR and % VO_2R observed during CPETs are not valid in the context of aerobic training programs. In this sense, it is known that the increase in VO_2 during prolonged exercise with constant work rate due to the slow component of VO_2 kinetics has been related to integrated mechanisms of kinetic control, including the activation of additional muscle groups, greater respiratory muscle activity, recruitment of type II muscle fibers, increases in muscle temperature, and higher blood lactate levels, among others (17). The progressive increase in VO_2 has been shown to be concomitant to a decrease in stroke volume and a compensatory increase in heart rate, with little variation in the cardiac output (18). Parallel to this is that the increase in body temperature and decreased hydration level may contribute to a decline in filling pressure and end-diastolic volume, promoting increased heart rate (11) and a further dissociation between %HRR and % VO_2R .

To the best of our knowledge, the present study is the first to investigate the extent to which the ACSM metabolic equations for cycling and running reproduces the prescribed heart rate (%HRR), VO_2 (% VO_2R), and time to achieve a target energy expenditure during isocaloric exercise bouts. Our findings raise doubts about the appropriateness of prescribing isocaloric exercise bouts based on a 1:1 ratio between the %HRR and % VO_2R , since the predicted VO_2 was significantly overestimated throughout the submaximal exercise protocols (see Table 4 and Figure 2). In practical terms, the subjects had to perform additional exercise in relation to the predicted time to reach the target energy expenditure of 400 kcal for the two exercise modalities (see Figure 3). On the other hand, the predicted and observed heart rate values were quite similar across the two exercise modalities during the first energy expenditure quartile, after

which the predicted heart rate was underestimated, especially for running (see Table 4 and Figure 2). In practical terms, prescribing exercise intensity based upon the VO_2 and then estimating the relative heart rate assuming a 1:1 relationship, would probably overestimate energy expenditure, especially for high intensity and long duration exercise bouts. This is important for exercise prescription, since previous studies using healthy adults (13), heart failure patients (25), and obese adults (19) have monitored heart rate to adjust the work rate corresponding to the preferred exercise intensity and ensure the training bouts were isocaloric. In other words, using heart rate to ensure the intended training volume is being performed is not valid.

PRACTICAL APPLICATIONS

The hypothetical 1:1 relationship between %HRR and % VO_2R could not be reproduced, since the % VO_2R was underestimated by %HRR. Concurrently, the relationships between the %HRR and % VO_2R from maximal incremental exercise testing may not accurately transpose to prolonged constant work rate exercise, regardless of exercise modality. Moreover, the present findings warrant further investigation with regards to the applicability of the ACSM metabolic equations to calculate the target work rate based on the VO_2 obtained by calculating the target % VO_2R , since the cycling and running equations overestimated the predicted energy expenditure resulting in an underestimation of the observed time to achieve 400 kcals. This information is of paramount importance for exercise prescription to determine the predicted time to achieve a given energy expenditure during isocaloric exercise bouts ($\text{min}\cdot\text{bout}^{-1}$), as well the work rate ($\text{miles}\cdot\text{h}^{-1}$ or $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ and watts) and target heart rate ($\text{beats}\cdot\text{min}^{-1}$). Further research is required to establish the accuracy of the ACSM metabolic equations for different exercise intensities and volumes, and populations with different levels of cardiorespiratory fitness and clinical conditions.

REFERENCES

1. Abrantes C, Sampaio J, Reis V, Sousa N, and Duarte J. Physiological responses to treadmill and cycle exercise. *Int J Sports Med* 33: 26-30, 2012.
2. ACSM. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Baltimore: Lippincott Williams & Wilkins, 2013.

3. Compher C, Frankenfield D, Keim N, and Roth-Yousey L. Best practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *J Am Diet Assoc* 106: 881-903, 2006.
4. Cunha FA, Midgley A, Montenegro R, Vasconcellos F, and Farinatti P. Utility of a Non-Exercise VO₂max Prediction Model for Designing Ramp Test Protocols. *Int J Sports Med*, 2015.
5. Cunha FA, Midgley AW, Monteiro W, Freire R, Lima T, and Farinatti PT. How long does it take to achieve steady state for an accurate assessment of resting VO₂ in healthy men? *Eur J Appl Physiol* 113: 1441-1447, 2013.
6. Cunha FA, Midgley AW, Monteiro WD, and Farinatti PT. Influence of cardiopulmonary exercise testing protocol and resting VO₂ assessment on %HR(max), %HRR, %VO₂(max) and %VO₂(R) relationships. *Int J Sports Med* 31: 319-326, 2010.
7. Cunha FA, Montenegro RA, Midgley AW, Vasconcellos F, Soares PP, and Farinatti P. Influence of exercise modality on agreement between gas exchange and heart rate variability thresholds. *Braz J Med Biol Res* 47: 706-714, 2014.
8. da Cunha FA, Farinatti Pde T, and Midgley AW. Methodological and practical application issues in exercise prescription using the heart rate reserve and oxygen uptake reserve methods. *J Sci Med Sport* 14: 46-57, 2011.
9. Donnelly JE, Blair SN, Jakicic JM, Manore MM, Rankin JW, and Smith BK. American College of Sports Medicine Position Stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc* 41: 459-471, 2009.
10. Fletcher GF, Ades PA, Kligfield P, Arena R, Balady GJ, Bittner VA, Coke LA, Fleg JL, Forman DE, Gerber TC, Gulati M, Madan K, Rhodes J, Thompson PD, Williams MA, American Heart Association Exercise CR, Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology CoNPA, Metabolism CoC, Stroke N, Council on E, and Prevention. Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* 128: 873-934, 2013.

11. Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ, and Coyle EF. Stroke volume decline during prolonged exercise is influenced by the increase in heart rate. *J Appl Physiol* 86: 799-805, 1999.
12. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, Nieman DC, and Swain DP. American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc* 43: 1334-1359, 2011.
13. Gormley SE, Swain DP, High R, Spina RJ, Dowling EA, Kotipalli US, and Gandrakota R. Effect of intensity of aerobic training on VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 40: 1336-1343, 2008.
14. Howley ET, Bassett DR, Jr., and Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27: 1292-1301, 1995.
15. Midgley AW, McNaughton LR, and Carroll S. Effect of the VO₂ time-averaging interval on the reproducibility of VO₂max in healthy athletic subjects. *Clin Physiol Funct Imaging* 27: 122-125, 2007.
16. Nassis GP and Geladas ND. Cardiac output decline in prolonged dynamic exercise is affected by the exercise mode. *Pflugers Arch* 445: 398-404, 2002.
17. Rossiter HB. Exercise: Kinetic considerations for gas exchange. *Compr Physiol* 1: 203-244, 2011.
18. Rowell LB. Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev* 54: 75-159, 1974.
19. Schjerve IE, Tyldum GA, Tjonna AE, Stolen T, Loennechen JP, Hansen HE, Haram PM, Heinrich G, Bye A, Najjar SM, Smith GL, Slordahl SA, Kemi OJ, and Wisloff U. Both aerobic endurance and strength training programmes improve cardiovascular health in obese adults. *Clin Sci (Lond)* 115: 283-293, 2008.

20. Swain DP. Energy cost calculations for exercise prescription: an update. *Sports Med* 30: 17-22, 2000.
21. Swain DP and Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. *Med Sci Sports Exerc* 29: 410-414, 1997.
22. Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, and Branch JD. Relationship between % heart rate reserve and % VO₂ reserve in treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc* 30: 318-321, 1998.
23. Toth MJ. Comparing energy expenditure data among individuals differing in body size and composition: statistical and physiological considerations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 4: 391-397, 2001.
24. Wenger HA and Bell GJ. The interactions of intensity, frequency and duration of exercise training in altering cardiorespiratory fitness. *Sports Med* 3: 346-356, 1986.
25. Wisloff U, Stoylen A, Loennechen JP, Bruvold M, Rognmo O, Haram PM, Tjonna AE, Helgerud J, Slordahl SA, Lee SJ, Videm V, Bye A, Smith GL, Najjar SM, Ellingsen O, and Skjaerpe T. Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation* 115: 3086-3094, 2007.

Figure Legends

Figure 1. Experimental design overview. VO_2 = oxygen uptake; VO_2R = oxygen uptake reserve.

Figure 2. Mean $\pm$ SD percentage of heart rate reserve (%HRR) and oxygen uptake reserve (% VO_2R) at 100 kcal intervals during the 400 kcal continuous cycling and running bouts at 75% VO_2R . *Significantly different from the value assessed at 100 kcals ($P < 0.01$). P values indicate significant differences between the %HRR and % VO_2R .

Figure 3. Bland-Altman plots showing individual differences between the predicted and observed times to achieve energy expenditures of 400 kcals at 75% VO_2R during cycling and running. The first and third horizontal dashed lines in each graph represent the 95% limits of agreement.

TITLE PAGE**Relationship between percentages of heart rate reserve and oxygen uptake reserve during cycling and running: a validation study****Running head:** %HRR-%VO₂R relationships in two exercise modes

Giovanna C. Guimarães¹, Paulo T.V. Farinatti^{2,3,4}, Adrian W. Midgley⁵, Fabrício Vasconcellos^{2,3}, Patrícia Vigário¹, and Felipe A. Cunha^{1,2,3}

1) Post-Graduate Program in Rehabilitation Sciences, Augusto Motta University Center (UNISUAM), Rio de Janeiro, Brazil. 2) Post-Graduate Program in Exercise Science and Sports, University of Rio de Janeiro State, Rio de Janeiro, Brazil. 3) Laboratory of Physical Activity and Health Promotion, University of Rio de Janeiro State, Rio de Janeiro, Brazil. 4) Post-Graduate Program in Physical Activity Sciences, Salgado de Oliveira University, Niterói, Rio de Janeiro, Brazil. 5) Department of Sport and Physical Activity, Edge Hill University, Ormskirk, Lancashire, England

Address for correspondence:

Felipe A. Cunha, PhD. Rehabilitation Sciences, Augusto Motta University Center, UNISUAM. Praça das Nações 34, 3º andar, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. CEP 21041-010; Phone: +55 (21) 3882-9797 ramal 2012. E-mail: felipeac@globocom

Acknowledgements: This research was partially supported by grants from the Carlos Chagas Filho Foundation for the Research Support in Rio de Janeiro State and Brazilian Council for the Technological and Scientific Development.

Cover Letter

FELIPE A. CUNHA, PhD
+55(21) 3882-9797
March, 4 2017
Editor,
Journal of Strength & Conditioning Research

Dear Editor-in-Chief,

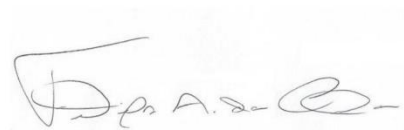
Please consider the enclosed manuscript entitled "*Relationship between percentages of heart rate reserve and oxygen uptake reserve during cycling and running: a validation study*" for potential publication in the Journal of Strength & Conditioning Research (JSCR).

This manuscript represents results of original work that have not been published elsewhere. This manuscript has not and will not be submitted for publication elsewhere until a decision is made regarding its acceptability for publication in JSCR. If accepted for publication, it will not be published elsewhere. Furthermore, if there are any perceived financial conflicts of interest related to the research reported in the manuscript, we have disclosed it in the Author's Notes."

All authors acknowledge ethical responsibility for the content of the manuscript and will accept the consequences of any ethical violation. Therefore, we reassure that the study has been approved by institutional ethics committee and has been performed in accordance with the ethical standards laid down in the Declaration of Helsinki.

Finally, this research is not part of a larger study.

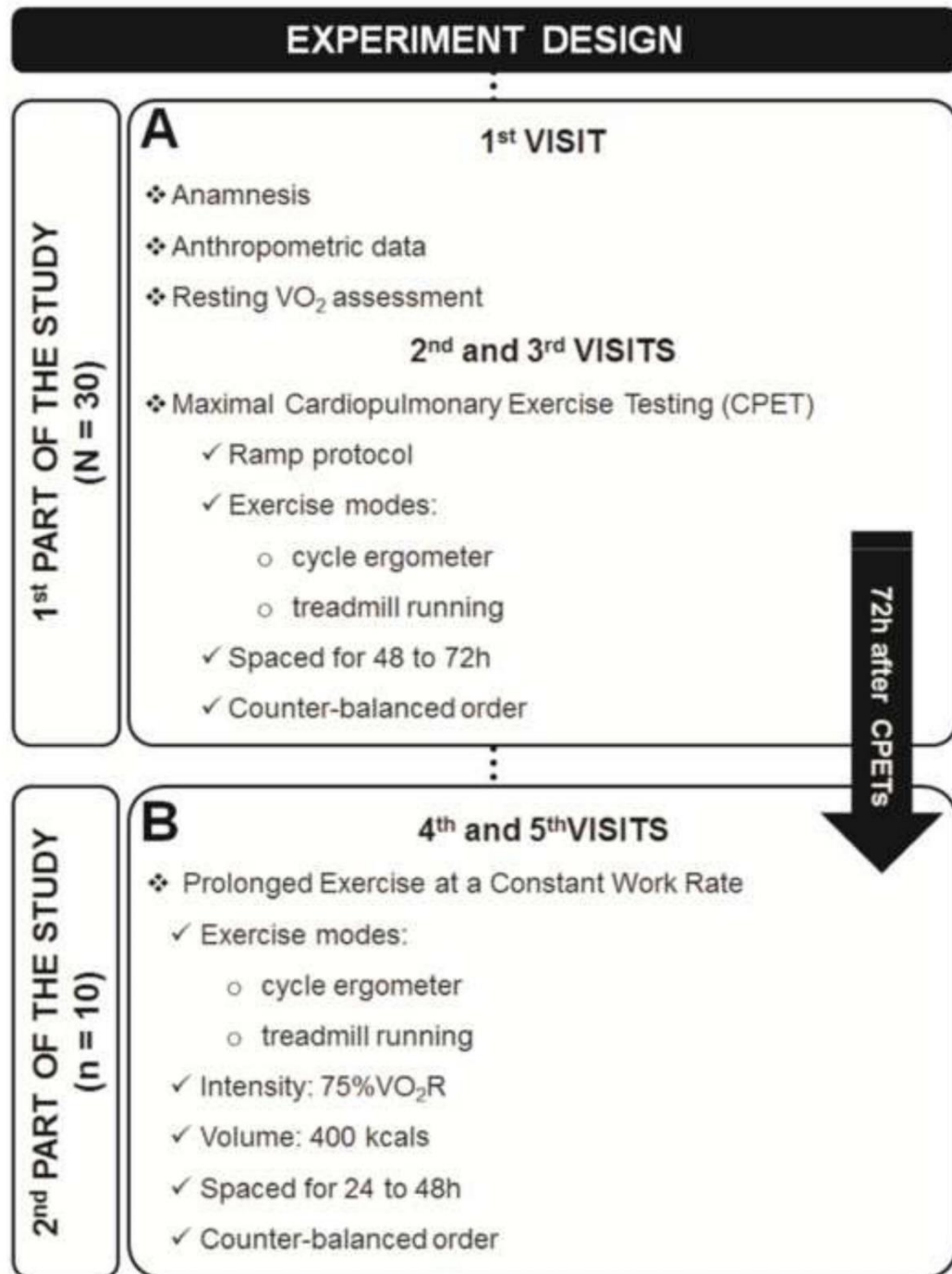
Yours Sincerely,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Felipe A. da Cunha', is written over a light blue rectangular background.

Felipe A. da Cunha, PhD

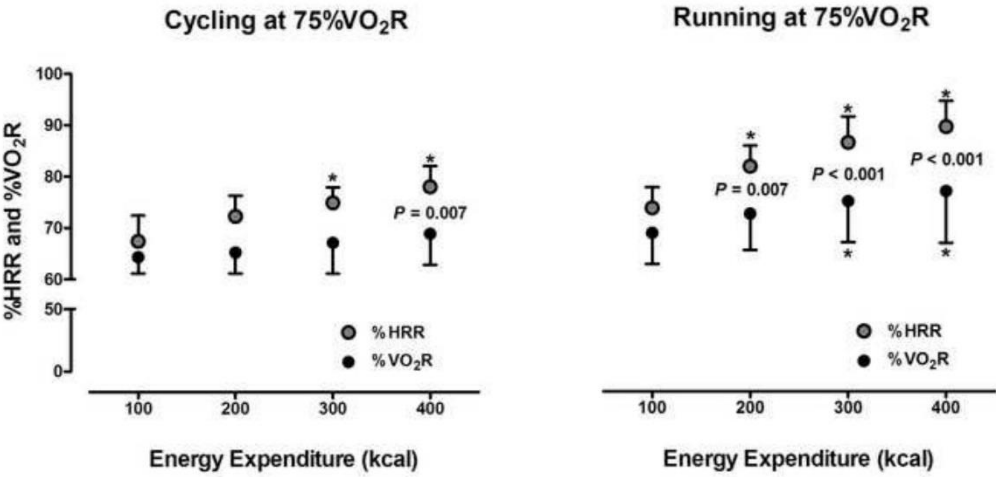
Rio de Janeiro State University

Figure

[Click here to download Figure Figure 1.tif](#)

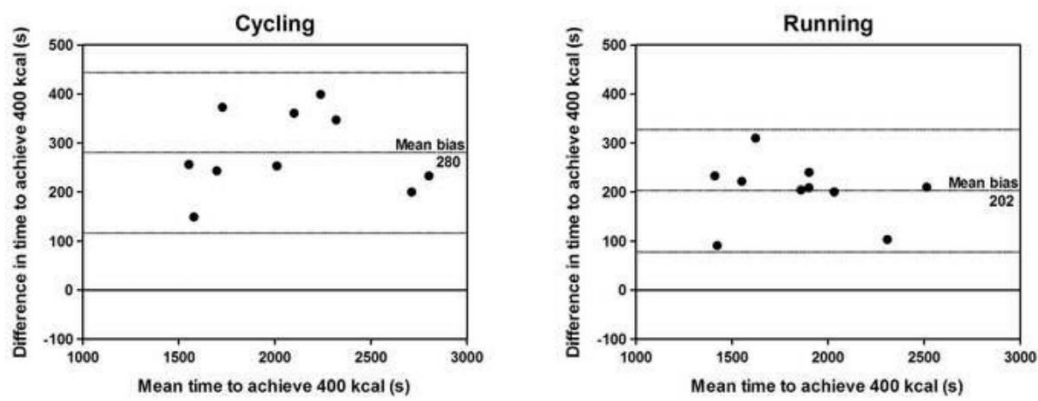
Figure

[Click here to download Figure Figure 2.tif](#)



Figure

[Click here to download Figure Figure 3.tif](#)



Table

Table 1. Mean $\pm$ SD maximal physiological responses and time to exhaustion for the running and cycling cardiopulmonary exercise tests. During the tests, all subjects satisfied at least three of the four $\text{VO}_{2\text{max}}$ test criteria stipulated in the 'Procedures' section.

Variable	1 st part of the study			2 nd part of the study		
	Cycling	Running	<i>P</i> value	Cycling	Running	<i>P</i> value
Maximal heart rate (beats·min ⁻¹)	183 $\pm$ 10	194 $\pm$ 8	<0.001	184 $\pm$ 7	192 $\pm$ 5	<0.001
Maximal oxygen uptake (mL·min ⁻¹)	3335 $\pm$ 692	4068 $\pm$ 835	<0.001	3439 $\pm$ 824	3979 $\pm$ 845	< 0.001
Maximal minute ventilation (L·min ⁻¹)	101.0 $\pm$ 21.2	95.6 $\pm$ 11.4	NS	104.9 $\pm$ 15.8	102.0 $\pm$ 16.7	0.011
Maximal respiratory exchange ratio	1.13 $\pm$ 0.05	1.07 $\pm$ 0.04	<0.001	1.15 $\pm$ 0.05	1.07 $\pm$ 0.04	< 0.001
Time to exhaustion (min)	10.3 $\pm$ 1.7	10.7 $\pm$ 1.7	NS	9.9 $\pm$ 1.4	10.5 $\pm$ 1.9	NS

NS = non-significant.

Table

Table 2. Mean $\pm$ SD values for the Y intercept, slope, coefficient of determination (r^2) and standard error of estimate (SEE) from individual linear regression models representing the relationships between heart rate reserve and oxygen uptake reserve obtained in the cycling and running cardiopulmonary exercise tests.

Exercise Modality	Y intercept	Slope	r^2	SEE ($\pm$)
Cycling	0.079 $\pm$ 0.054*	0.931 $\pm$ 0.062*	0.965 $\pm$ 0.018	4.5%
Running	0.217 $\pm$ 0.097*	0.799 $\pm$ 0.106*	0.947 $\pm$ 0.027	3.4%

*Intercept significantly different from zero ($P < 0.001$); *Slope significantly different from one ($P < 0.001$).

Table

Table 3. Mean $\pm$ SD percentages of oxygen uptake reserve (%VO₂R) associated with different percentages of heart rate reserve (%HRR) determined during the cycling and running cardiopulmonary exercise tests (CPETs).

%HRR	40%	50%	60%	70%	80%	90%
%VO ₂ R Cycling	34 $\pm$ 4%*	45 $\pm$ 4%*	56 $\pm$ 3%*	67 $\pm$ 3%	77 $\pm$ 3%	88 $\pm$ 3%
%VO ₂ R Running	22 $\pm$ 9%*†	35 $\pm$ 8%*†	47 $\pm$ 6%*†	60 $\pm$ 5%*†	73 $\pm$ 4%*†	86 $\pm$ 3%*

*Significant mean difference between the %HRR and %VO₂R ($P < 0.001$). † Significant mean difference for %VO₂R in cycling compared to running CPETs ($P < 0.001$).