

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde:

Cardiologia e Ciências Cardiovasculares

**Incrementos de velocidade versus inclinação no teste cardiopulmonar em esteira rolante: impacto na prescrição do exercício**

Karlyse Claudino Belli

Orientador: Prof. Dr. Jorge Pinto Ribeiro

Porto Alegre

2012

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências

Cardiovasculares

Incrementos de velocidade versus inclinação no teste cardiopulmonar em esteira rolante: impacto na prescrição do exercício

Karlyse Claudino Belli

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção de título de Mestre em Ciências Cardiovasculares, à Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Pinto Ribeiro

Porto Alegre

2012

Dedico este trabalho a todos os seres brilhantes que estiveram ao meu redor,  
me proporcionando força e clareza para seguir firme neste desafio.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Professor Doutor Jorge Pinto Ribeiro, pela prontidão para me atender mesmo quando não me conhecia, sempre resolutivo em suas decisões, objetivo em suas orientações e com um histórico científico extremamente qualificado para me guiar durante a trajetória de nossa parceria científica.

Aos colaboradores Dr. Ricardo Stein e mestrandas Paula Figueiredo, pelas discussões quanto à ideia de pesquisa e apoio na realização das coletas.

Ao programa de Pós-graduação em Ciências da Saúde: Cardiologia e Ciências Cardiovasculares, por proporcionar o contato com profissionais competentes que contribuíram significativamente para o andamento das atividades vinculadas ao mestrado.

Ao Hospital de Clínicas de Porto Alegre, por proporcionar um ambiente com estrutura e profissionais qualificados, e pelo apoio financeiro para a realização deste projeto pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por proporcionar o auxílio financeiro durante grande parte da minha permanência no mestrado.

*“O cientista puro deixa de crer no que gosta, mas não pode impedir-se de gostar do que crê.” Clarice Lispector*

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS .....</b>  | <b>V</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS E TABELA .....</b>  | <b>VI</b> |
| <b>CAPÍTULO I</b>   |           |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>01</b> |
| <b>CAPÍTULO II</b>  |           |
| <b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>  | <b>03</b> |
| <b>1. Teste cardiopulmonar de exercício .....</b>   | <b>03</b> |
| 1.1. Teste cardiopulmonar em cicloergômetro .....   | 05        |
| 1.2. Teste cardiopulmonar em esteira rolante .....  | 06        |
| 1.3. Medidas de gases expirados durante o teste cardiopulmonar de<br>exercício máximo .....                                     | 08        |
| 1.4. Determinação dos limiares ventilatórios durante o teste<br>cardiopulmonar de exercício máximo .....                        | 10        |
| <b>2. Efeitos das diferentes inclinações do solo durante o exercício<br/>em esteira rolante para indivíduos saudáveis .....</b> | <b>12</b> |
| 2.1. Plano horizontal e plano inclinado positivo: ativação muscular .....   | 13        |
| 2.2. Plano horizontal e plano inclinado positivo: metabolismo nas fibras<br>musculares .....                                    | 15        |
| <b>3. Prescrição do exercício para indivíduos saudáveis .....</b>   | <b>17</b> |
| 3.1. Medida direta para verificar a intensidade de prescrição do<br>exercício .....   | 18        |
| <b>4. Referências .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>CAPÍTULO III</b>   |           |
| <b>OBJETIVOS .....</b>  | <b>26</b> |
| <b>CAPÍTULO IV</b>  |           |
| <b>Artigo em inglês .....</b>   | <b>28</b> |
| <b>CAPÍTULO V</b>   |           |
| <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>36</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS

**ACSM:** American College of Sports Medicine

**AHA:** American Heart Association

**FC:** frequência cardíaca

**P<sub>ET</sub>O<sub>2</sub>:** pressão expirada de oxigênio

**P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>:** pressão expirada de dióxido de carbono

**TCPE:** teste cardiopulmonar de exercício

**ṠO<sub>2</sub>:** consumo de oxigênio

**ṠO<sub>2</sub>max:** consumo máximo de oxigênio

**ṠCO<sub>2</sub>:** produção de dióxido de carbono

**ṠE:** ventilação minuto

**VT<sub>1</sub>:** primeiro limiar ventilatório

**VT<sub>2</sub>:** segundo limiar ventilatório

## LISTA DE FIGURAS E TABELA

### FIGURAS

|               |    |
|---------------|----|
| Figura 1..... | 29 |
| Figura 2..... | 31 |
| Figura 3..... | 31 |
| Figura 4..... | 32 |

### TABELA

|                |    |
|----------------|----|
| Tabela 1 ..... | 31 |
|----------------|----|



## Capítulo I

### INTRODUÇÃO

O teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) provê informações diagnósticas e prognósticas de atletas e pacientes (1, 2). Com o objetivo de prescrever a intensidade do exercício durante o treinamento aeróbio (3, 4), o consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2max}$ ), assim como o primeiro ( $VT_1$ ) e segundo ( $VT_2$ ) limiares ventilatórios podem ser utilizados como pontos de referência para a prescrição do exercício (3, 5, 6).

Os protocolos de rampa para a realização do TCPE resultam em um aumento linear do consumo de oxigênio em relação a carga de trabalho ( $\dot{V}O_2$ ) (7-13). Considera-se que o primeiro e o segundo limiar ventilatório ocorrem em um mesmo  $\dot{V}O_2$  individual, independente dos incrementos de intensidade (10, 11). Porém, estes dados são baseados em TCPEs realizados no cicloergômetro e, apesar da associação entre a aptidão cardiorrespiratória medida na bicicleta com a esteira (14, 15), a escolha do ergômetro pode influenciar a determinação do limiar ventilatório (16, 17).

Na esteira o desafio de obter uma resposta linear metabólica durante o TCPE é maior que na bicicleta devido à transição caminhada-corrída (18), alterações de velocidade e inclinação (19, 20), apoio de mãos e seus efeitos na economia (17). Modificações na velocidade e/ou inclinação podem ser utilizadas para construir um protocolo de rampa em esteira (21, 22). Para isso, sabe-se que há uma relação desproporcional da ativação muscular (23-26) com a cinética da marcha/corrída conforme o tipo de incremento utilizado (27,

28). Além disso, há pouca informação sobre os efeitos de diferentes protocolos de rampa em esteira na detecção do  $VT_1$  e  $VT_2$  (29).

Portanto, esta dissertação foi conduzida para comparar os efeitos de dois protocolos de rampa em esteira rolante na detecção do  $VT_1$  e  $VT_2$ , no qual foi aplicado um protocolo com incrementos principalmente de velocidade e outro com incrementos de inclinação. Além disso, foi avaliada a resposta no exercício em estado de equilíbrio, com prescrição baseada no ponto médio entre o  $VT_1$  e  $VT_2$ , de acordo com ambos os protocolos de TCPE.

## Capítulo II

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 1. Teste cardiopulmonar de exercício

Há décadas o teste cardiopulmonar de exercício (TCPE) é considerado uma ferramenta útil para avaliação cardiorrespiratória, prognóstica e diagnóstica de indivíduos saudáveis ou pacientes. Apesar disto, a avaliação das medidas dos gases expirados durante o TCPE por vezes pode ser subutilizada ou entendida de maneira errônea pelos profissionais (1).

A aptidão cardiorrespiratória é considerada a habilidade do indivíduo para realizar exercícios físicos com grandes grupos musculares e está relacionada com a capacidade do sistema cardiovascular e respiratório em trabalhar juntos, para promover a entrega de oxigênio e remover dióxido de carbono dos tecidos de maneira sistêmica (1). A avaliação da aptidão cardiorrespiratória é tipicamente realizada em cicloergômetro ou esteira rolante (30). Estudo realizado nos Estados Unidos, em 71 divisões de cardiologia, demonstrou que 82% das instituições utilizavam a ergometria convencional com protocolo de Bruce, para estimar o  $\dot{V}O_2\text{max}$  (31). Este uso contrasta com as recomendações dos principais órgãos acadêmicos, que defendem a utilização de protocolos individuais e progressivos (1).

A escolha do protocolo adequado é fundamental (30), pois já se sabe que os protocolos de rampa são melhor tolerados e preferidos pelos pacientes (32). Protocolos com grandes incrementos entre cada estágio geralmente apresentam uma correlação mais fraca entre o  $\dot{V}O_2$  mensurado e a carga de

trabalho. Devido a estas razões, protocolos de rampa são altamente recomendados para atingir os principais objetivos do TCPE: um aumento linear do  $\dot{V}O_2$  em relação à carga de trabalho; presença do primeiro e segundo limiar ventilatório; tempo adequado de teste (1).

Os protocolos de rampa envolvem tipicamente incrementos na carga de trabalho com intervalos de até 60 segundos (1), pois incrementos irregulares podem limitar a análise das medidas dos limiares ventilatórios durante o exercício (30). Independente dos incrementos escolhidos, o protocolo deve durar de 8 a 12 minutos, podendo se estender até 17 minutos (17). Um TCPE com tempo total menor do que 6 minutos pode resultar em ausência de linearidade entre o  $\dot{V}O_2$  e a carga de trabalho (32), ao passo que em protocolos com mais de 12 minutos os sujeitos podem finalizar o exercício devido à fadiga muscular ou fatores ortopédicos ao invés de fatores cardiopulmonares (17). Finalmente, nenhum suporte das mãos deve ser encorajado durante o teste em esteira (33), pois o suporte reduz o trabalho realizado e pode alterar a associação entre o  $\dot{V}O_2$  e a carga de trabalho (1).

Uma variabilidade de 3 a 4% nos resultados do TCPE é considerada biológica e intrínseca ao teste (1) e a mais alta concordância teste-reteste para detecção dos limiares ventilatórios se dá nos testes de indivíduos saudáveis e destreinados (34). O modo escolhido para realizar o TCPE apresenta um potencial impacto sobre o resultado dos limiares ventilatórios, o que pode modificar o nível em que o limiar é encontrado (16).

Associações fracas entre os limiares ventilatórios medidos durante diferentes modos de exercício podem ocorrer devido a diferenças na utilização

de substrato, massa muscular ativada e eficiência ventilatória durante os exercícios (35-37). Desta forma, quando os limiares ventilatórios são utilizados para prescrever a intensidade de exercício, deve-se utilizar o mesmo modo para testar e treinar o indivíduo (1).

### 1.1. Teste cardiopulmonar em cicloergômetro

Protocolos de rampa no cicloergômetro são empregados em laboratórios de pesquisa há décadas (7, 8, 10, 13). Whipp e colaboradores (7) descreveram a aplicabilidade e reprodutibilidade dos protocolos de rampa com o objetivo de verificar a função cardiopulmonar. Davis et al (10) estenderam estes resultados, demonstrando que os parâmetros básicos estudados por Whipp e colaboradores (7) são válidos em diferentes incrementos de carga em protocolos de rampa que utilizam o cicloergômetro. Ribeiro et al (11) demonstraram que, independente do tempo de teste, os valores de  $\dot{V}O_2\text{max}$ , ventilação e razão de trocas respiratórias, não são diferentes se comparadas rampas com curta vs longa duração. Por outro lado, neste mesmo estudo, demonstrou-se que a concentração de lactato no pico do teste e a frequência cardíaca (FC) são mais elevadas em testes de curta duração. Os protocolos de rampa em cicloergômetro apresentam vantagens para verificar a associação do lactato sanguíneo (8, 13) e do  $\dot{V}O_2$  com a carga de trabalho durante o exercício (7, 9, 10, 12, 38).

Sabe-se que, durante o exercício dinâmico, o  $\dot{V}O_2$  aumenta linearmente com os incrementos de carga. A ventilação minuto ( $\dot{V}_E$ ) e a produção de dióxido

de carbono ( $\dot{V}CO_2$ ) também aumentam de forma linear com a carga de trabalho até intensidades de 40 a 70% do  $\dot{V}O_{2max}$ . Acima destas intensidades, a  $\dot{V}_E$  e o  $\dot{V}CO_2$  aumentam em desproporção com o  $\dot{V}O_2$  (39).

Estudos demonstraram uma associação consistente da aptidão cardiorrespiratória medida pelo cicloergômetro e pela esteira rolante (14, 15). Por outro lado, desde 1961, sabe-se que um mesmo sujeito atinge valores mais baixos de  $\dot{V}O_{2max}$ , FC, diferença arteriovenosa de oxigênio e, conseqüentemente, menor débito cardíaco e limiares ventilatórios mais baixos no TCPE realizado em cicloergômetro, quando comparado a esteira (17, 22, 32, 40-45).

## 1.2. Teste cardiopulmonar em esteira rolante

O teste na esteira rolante proporciona ao sujeito um modo de exercício mais aproximado das atividades de vida diária (caminhada ou corrida), conseqüentemente uma forma mais comum de estresse fisiológico (1). Isto resulta em limiares ventilatórios 13% mais elevados, maior  $\dot{V}O_{2max}$ , FC, diferença arteriovenosa de oxigênio e, conseqüentemente, maior débito cardíaco no TCPE. A variabilidade destas diferenças depende do condicionamento e da força de membros inferiores do sujeito testado (17, 22, 32, 40-45).

A esteira apresenta a vantagem de induzir o indivíduo a uma taxa metabólica máxima mais alta que o cicloergômetro (1). Porém, a carga de trabalho aplicada no sujeito é quantificada com menor precisão na esteira, pois

ela é mais dependente da economia de caminhada, habituação do indivíduo ao ergômetro e ao uso do apoio das mãos durante o teste. Desta forma, é importante o modo como o teste é aplicado, pois pode interferir diretamente nas variáveis analisadas (17).

Embora os protocolos de rampa na esteira apresentem dificuldades relacionadas à aplicação generalizada da carga de trabalho, protocolos em esteira devem ser estudados e validados devido às vantagens que esta apresenta em relação ao cicloergômetro (30). Durante o teste, deve-se ter a combinação de uma velocidade e inclinação inicial baixa, para uma taxa metabólica inicial baixa, com incrementos progressivos para atingir um tempo total adequado para o teste (21). Para se conseguir um aumento linear na taxa de trabalho durante o teste, pode-se (a) manter a inclinação constante enquanto se aumenta a velocidade linearmente, (b) manter uma velocidade constante enquanto aumenta o seno do ângulo de inclinação da esteira (22) ou (c) aumentar a velocidade e a inclinação paralelamente (1). Entretanto, nenhuma das opções é totalmente satisfatória. Na primeira opção a escolha de uma inclinação baixa significa que a velocidade terá um aumento tão rápido que a tolerância pode ser ditada pela capacidade de aumentar a amplitude e a frequência de passada, ao invés de fatores metabólicos. Alternativamente, a escolha de uma inclinação inicial pode produzir um alto custo metabólico inicial. Com a segunda opção, a escolha de uma velocidade baixa significa que a esteira irá aumentar a um grau muito íngreme antes de atingir um nível de tolerância máxima, ao passo que inserindo uma velocidade inicial mais alta, isto produziria um aumento no custo metabólico inicial (22). Na terceira opção, mais comumente utilizada no ambiente clínico, a dificuldade consiste em

determinar qual a velocidade e inclinação iniciais e finais seriam as ideais para cada sujeito avaliado.

O exercício que envolve um grande número de segmentos musculares, como a caminhada e a corrida, pode ser melhor entendido se mantermos em mente a resposta metabólica em resposta ao exercício. Enquanto que na caminhada o custo de transporte não é muito elevado e é dependente da velocidade, na corrida o custo é alto e independente da velocidade (18).

Devido aos fatores supracitados, uma maior quantidade de erro pode estar presente na avaliação das medidas dos gases durante o TCPE em esteira rolante. Podendo, ainda, interferir na prescrição do exercício baseada nas curvas de análise de gases, conforme os tipos de incrementos que são utilizados durante o TCPE (30).

### 1.3. Medidas de gases expirados durante o teste cardiopulmonar de exercício máximo

Os sistemas modernos para análise dos gases expirados permitem medidas do  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$  e  $\dot{V}_E$  a cada ciclo ventilatório. Os sistemas computadorizados fornecem ao mesmo tempo informações simples e complexas. Para que se tenha uma medida precisa destas informações, os sistemas precisam ser calibrados imediatamente antes de cada TCPE e as condições do ambiente de teste devem ser controladas para que não interfiram na concentração de oxigênio no ar inspirado pelo sujeito testado (1).



Todos os valores mensurados durante o teste aparecem na interface dos softwares. Entretanto, a American Heart Association (AHA) sugere que se realize a média das medidas a cada 30 segundos para a análise dos valores em ambiente clínico (33).

A utilização das curvas ventilatórias demonstradas pelos softwares serviram para identificar os limiares metabólicos e ventilatórios, associando-os como índices de capacidade para o exercício prolongado. Na década de 60, criaram-se protocolos para identificar o que chamavam de limiar de transição entre a intensidade de esforço com predomínio do metabolismo aeróbio e a intensidade na qual havia predomínio do anaeróbio. Devido à observação que atletas demonstravam um acúmulo de lactato sanguíneo em percentuais elevados do  $\dot{V}O_2\text{max}$ , utilizaram-se as curvas ventilatórias e de lactato para a detecção dos limiares ventilatórios e metabólicos (39).

Durante a realização de um protocolo de rampa, as respostas ventilatórias e da concentração de lactato sanguíneo são descritas em três fases distintas (46). Durante baixas intensidades de esforço, há pouca variação da concentração do lactato sanguíneo, ao passo que a  $\dot{V}_E$  e  $\dot{V}CO_2$  aumentam linearmente com a carga de trabalho e o  $\dot{V}O_2$ . Conforme ocorre o aumento da intensidade do esforço, atinge-se um ponto no qual o lactato passa a acumular na circulação, enquanto que a  $\dot{V}_E$  e  $\dot{V}CO_2$  aumentam em desproporção ao  $\dot{V}O_2$ . Na medida em que a intensidade segue aumentando, um segundo ponto é atingido, no qual a concentração de lactato aumenta mais rapidamente e a  $\dot{V}_E$  passa a aumentar em desproporção ao  $\dot{V}CO_2$  (47, 48). Os limiares ventilatórios ocorrem usualmente entre 45 e 65% do  $\dot{V}O_2\text{max}$  em indivíduos saudáveis

destreinados (35) e termos tais como limiar anaeróbico, ventilatório ou de lactato são utilizados de maneira intercalada para referenciar estes momentos (1).

Outros parâmetros também são calculados durante o TCPE, entre eles: volume tidal, fluxo máximo expiratório,  $\dot{V}_E$ , pressão expirada de oxigênio ( $P_{ET}O_2$ ), pressão expirada de dióxido de carbono ( $P_{ET}CO_2$ )  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}CO_2$ , razão de trocas respiratórias (49).

#### 1.4. Determinação dos limiares ventilatórios durante o teste cardiopulmonar de exercício máximo

As variáveis ventilatórias descritas no item anterior foram interligadas aos processos metabólicos do exercício há décadas por determinados grupos de pesquisa. Na década de 70, Wasserman e colaboradores pareceram confirmar que na ausência de quimiorreceptores para detectar modificações do pH muscular causado pela produção de ácido láctico, não ocorriam alterações ventilatórias durante o exercício. Este achado indicou que as alterações ventilatórias estariam associadas ao metabolismo muscular. Entretanto, na década de 80, experimentos trouxeram à tona a dúvida sobre quanto a determinação dos limiares ventilatórios por meio de mais de uma curva de regressão linear espelhavam ou não as alterações do processo metabólico (50, 51).

Alguns estudos demonstraram que os limiares ventilatórios poderiam ser detectados antes do limiar de lactato no exercício progressivo (52, 53). Outros

demonstraram que a ventilação aumenta ou permanece constante entre os indivíduos normais em um estado de depleção do glicogênio, o lactato estava reduzido (54, 55). Existem evidências que um aumento abrupto que atinja 70% da frequência de pico se correlaciona bem com o limiar de lactato, e que o limiar de fadiga, medido na eletromiografia, se correlaciona com o limiar ventilatório (56). Estes achados levantam a possibilidade de que mudanças na concentração de lactato e dos quimiorreceptores periféricos não são os únicos responsáveis pela presença dos limiares ventilatórios, mas sim que os limiares ventilatórios são mediados por alterações na atividade neural em conjunto com o recrutamento de unidades motoras (57).

Atualmente, a combinação de três métodos (58-60) tem sido recomendada para identificar o primeiro e segundo limiar ventilatório (35, 61-63), podendo ser agrupados em dois pontos de referência:

- Primeiro limiar ventilatório: é a intensidade na qual o lactato sanguíneo aumenta em relação ao repouso e a  $\dot{V}_E$  aumenta em desproporção ao aumento de  $\dot{V}O_2$ . Também é o momento no qual ocorre um aumento sistemático na  $P_{ET}O_2$ , sem uma redução na  $P_{ET}CO_2$  (59). O primeiro limiar ventilatório também pode ser identificado por intermédio de equações de regressão pelo método V-slope (60).
- Segundo limiar ventilatório: determinado pela intensidade na qual a concentração de lactato aumenta rapidamente e a  $\dot{V}_E$  aumenta em desproporção ao  $\dot{V}CO_2$ . Entretanto, é importante destacar que grande parte da literatura cardiológica refere-se apenas ao primeiro limiar, denominando-o de “limiar anaeróbico”. Em paralelo, também se observa

um aumento sistemático da  $P_{ET}O_2$  em conjunto com uma queda abrupta da  $P_{ET}CO_2$ . (59)

O uso de diferentes terminologias pode acarretar erros de interpretação, pois os estudos europeus geralmente enfocam o segundo limiar, enquanto que os norte americanos referem-se geralmente ao primeiro limiar (47). Neste documento, utilizaremos o termo limiar ventilatório, de acordo com a diretriz da AHA (64).

Os métodos para detecção dos limiares ventilatórios resultam em limiares ventilatórios semelhantes quando determinados visualmente (65). Entretanto, ainda não está universalmente estabelecida qual a melhor metodologia a ser utilizada (57). Orienta-se que a combinação dos três métodos deve ser aplicada, pois resulta em uma maior acurácia na detecção dos limiares quando comparado com medida direta do limiar de lactato (61).

## **2. Efeitos das diferentes inclinações do solo durante o exercício em esteira rolante para indivíduos saudáveis**

O conhecimento sobre como os músculos são utilizados durante a caminhada/corrída nos diferentes planos é importante para entender as bases do movimento e os efeitos do treinamento em indivíduos saudáveis, entre outros (24).

## 2.1. Plano horizontal e plano inclinado positivo: ativação muscular

Em inclinações superiores a 5% ocorrem alterações substanciais na marcha humana, quando comparado ao plano horizontal (27). Ao se deslocar no plano inclinado positivo, o centro de massa eleva mais e cai menos (66, 67). Desta forma, aumenta-se a ativação muscular requerida para elevar o centro de massa na inclinação positiva, quando comparada com a caminhada horizontal (25).

Ao correr em uma mesma velocidade, a frequência de passada e o tempo da fase de apoio em um plano inclinado positivo (30%) é maior do que no plano horizontal (28). Também é possível que, no plano inclinado, o comprimento do passo diminui para preservar a queda do centro de massa e manter o potencial cinético a cada ciclo da marcha (68). Uma inclinação positiva de 10% ocasiona uma redução média de 11 cm no comprimento da passada de um indivíduo, quando comparado ao plano horizontal (68). Reduções na eficiência durante a corrida, em inclinação positiva, podem refletir uma redução da energia elástica armazenada (69) e um aumento na proporção do trabalho positivo em relação ao negativo (70).

Durante a corrida horizontal, o centro de massa se eleva e desce, o que produz uma troca de energia cinética e potencial, reduzindo o custo metabólico (71). O modelo massa mola propôs que os músculos e tendões da perna representam um mecanismo minimizador de energia durante a corrida, apresentando rigidez diferente quando encurtada ou alongada. Este modelo assume que: correndo no plano inclinado positivo há um aumento na rigidez da

mola quando encurtada, e redução da rigidez quando alongada, o que pode influenciar tanto na amplitude quanto na frequência da passada (72).

Consistente com estudos que demonstram um aumento nos momentos extensores e produção de força no quadril (73, 74), evidenciou-se uma maior ativação dos extensores de quadril (glúteo máximo e bíceps femoral) do que extensores de tornozelo (gastrocnêmio e sóleo) durante a caminhada no plano inclinado positivo (25). Estes achados sugerem o potencial papel dos extensores proximais ao andar no plano inclinado.

Sabe-se que a inclinação positiva acarreta um aumento da ativação da musculatura extensora do quadril, joelho e tornozelo (plantiflexores) ao caminhar em uma mesma velocidade (23). A corrida a 30% de inclinação positiva acarreta alterações cinemáticas de membros inferiores que incluem aumento na flexão das articulações do quadril, joelho e tornozelo, quando comparado à corrida horizontal. Associado a isto, ocorre um aumento da ativação dos músculos gastrocnêmico, sóleo, reto femoral, vasto lateral e glúteo máximo (28).

A ativação muscular dos membros inferiores é maior durante a corrida exaustiva no plano inclinado positivo do que no plano horizontal. Aproximadamente 73% da musculatura é ativada na corrida exaustiva com 10% de inclinação positiva, enquanto que 67% da musculatura de membros inferiores é ativada na corrida horizontal até a exaustão (75). O aumento do percentual de fibras ativado em cada músculo aumenta do plano horizontal para o plano inclinado positivo, totalizando 29% no grupo de músculos vastos

(lateral, medial e inter-médio) e 14% no sóleo. Por outro lado, decresce em 29% para o reto femoral, 18% para o grácil e 17% o semitendinoso (24).

Ao nível do tornozelo, a atividade do músculo gastrocnêmio cresce consideravelmente mais do que a do sóleo conforme os aumentos na inclinação positiva, exceto ao caminhar em velocidades muito baixas. Assim, as velocidades de 4,5km/h ou 6,3km/h, o gastrocnêmio pode desempenhar um papel mais importante que o sóleo para elevar o centro de massa e estabilizar o joelho no plano inclinado positivo (25).

A musculatura de membros inferiores não é uniformemente ativada ou utilizada no seu potencial máximo durante a corrida, independente do plano de solo. Esta ativação muscular pode não ser máxima, devido à natureza balística e dinâmica dos movimentos durante a corrida (24). Wall-Scheffler e colaboradores (26) relataram que a ativação do músculo quadríceps aumenta em uma maior proporção durante a caminhada com incrementos de inclinação positiva, quando comparada a incrementos na velocidade. Desta forma, há uma interação desproporcional na ativação da musculatura da coxa durante o exercício na medida em que se aumenta o grau de inclinação ou velocidade.

## 2.2. Plano horizontal e plano inclinado positivo: metabolismo nas fibras musculares

Dois tipos de fibras com potenciais metabólicos diferentes compõem o músculo esquelético. As fibras do tipo I, ou de contração lenta, são as mais capilarizadas, apresentam capacidade oxidativa e atividade da isoenzima da

desidrogenase láctica mais elevada, favorecendo a oxidação de lactato a piruvato. As fibras do tipo II, de contração rápida, apresentam maior atividade das enzimas glicolíticas e da isoenzima da desidrogenase láctica, favorecendo a redução de piruvato para lactato. As fibras do tipo I e II são mais recrutadas em atividades de intensidade mais baixa e alta, respectivamente. O acúmulo de ácido láctico durante o exercício está correlacionado com o percentual de fibras tipo I recrutadas, área relativa das fibras tipo I e densidade capilar. Assim, a capacidade oxidativa dos músculos exercitados é considerada um dos determinantes do acúmulo de lactato em exercício submáximo (76).

Costill e colaboradores (77) reportaram que, durante a corrida no plano inclinado positivo, o glicogênio muscular é depletado em uma maior quantidade do que no plano horizontal na musculatura avaliada (vasto lateral, gastrocnêmio e sóleo), em uma mesma intensidade relativa. Nesta situação, a depleção do glicogênio muscular aumenta em 30% nos músculos sóleo e gastrocnêmio, enquanto que o aumento foi de três vezes no músculo vasto lateral. Este achado corrobora com os resultados do estudo de Sloniger e colaboradores (24), que relataram um aumento de 35% do volume muscular ativado no sóleo e 43% nos vastos (lateral, intermédio e medial) quando comparada a corrida horizontal com a do plano inclinado.

Incrementos de carga gerados pelo tipo de rampa em um teste na esteira ocasionam diferentes respostas ventilatórias ao exercício, quando comparados aumentos da velocidade versus inclinação (19). Ao manter uma velocidade constante de 4 km/h, aumentos de 2,5% na inclinação (variando de 0 a +10%), resultam em diferenças tanto para o  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_E$  e FC entre cada



estágio. Quando avaliados os valores da razão de trocas respiratórias, com velocidade constante, encontrou-se diferença entre inclinação de 0% e 2,5% quando comparado a 5%, 7,5% e 10% (20). O  $\dot{V}O_2$  na corrida em um plano inclinado positivo é por volta de 3% mais elevado que a corrida no plano horizontal. Além disso, o déficit acumulado de oxigênio é 21% mais elevado na corrida no plano inclinado positivo do que na corrida horizontal (75). Ao passo que os achados de Kelsey & Duffin (19) relatam a  $\dot{V}_E$  mais elevada em resposta a incrementos de velocidade, comparando-se a inclinação, estudo de Costill e colaboradores (77) indicam que a inclinação aumenta a depleção de glicogênio. Desta forma, ainda não se sabe quais os efeitos dos incrementos de velocidade ou inclinação nos valores de  $\dot{V}O_2$  obtidos na avaliação dos limiares ventilatórios e, conseqüentemente, na prescrição do exercício baseada nesses limiares.

### **3. Prescrição do exercício para indivíduos saudáveis**

Existem diversos métodos de prescrição do exercício para indivíduos saudáveis que têm demonstrado resultados de melhora na aptidão cardiorrespiratória dos indivíduos. Entre eles podemos destacar os baseados na FC de reserva,  $\dot{V}O_2$  de reserva, percentual da FC, percentual do  $\dot{V}O_2$  e prescrição pelos limiares ventilatórios. Para utilização destes métodos, é prudente ter em mente que nenhum estudo comparou todos os métodos de medidas simultaneamente e, desta forma, não podemos assumir que um método é equivalente ao outro. Medidas diretas do  $\dot{V}O_2$  e da FC são frequentemente recomendadas para a prescrição de exercício, devido à

possibilidade de aumento da acurácia da prescrição aeróbica. Ao passo que, quando não é viável, alternativas para estimar a intensidade do exercício são aceitáveis (6).

A prescrição ideal do exercício pode ser determinada a partir de uma avaliação objetiva do indivíduo ao exercício, incluindo observações da FC e do  $\dot{V}O_2$ , entre outros (78). O exercício aeróbico costuma ser realizado a uma intensidade de moderada a alta, em um estado de equilíbrio do rendimento energético aeróbico, o que permite a realização de sessões prolongadas de exercício (3).

O exercício aeróbico realizado a um mesmo percentual do  $\dot{V}O_{2max}$ , porém com diferentes modalidades, pode produzir resultados diferentes quanto ao treinamento do indivíduo (79). O que nos leva a pensar que os resultados específicos almejados de forma individual devem constituir o principal foco da prescrição do exercício (78).

### 3.1. Medida direta para verificar a intensidade de prescrição do exercício

De acordo com o princípio da sobrecarga para treinamento, existe um ponto no qual, abaixo dele, o exercício pode não gerar um estímulo suficiente para promover ganhos no  $\dot{V}O_2$  (6). Estudos indicam que sujeitos menos condicionados podem ter benefício com exercícios em intensidades absolutas e/ou relativas mais baixas que indivíduos treinados (80, 81). Assim, os limiares ideais para treinamento podem variar dependendo da aptidão física do indivíduo.

Algumas evidências ressaltam que a prescrição de exercício baseada nos limiares ventilatórios pode ser mais fisiológica que a baseada em um percentual do  $\dot{V}O_2\text{max}$  ou  $FC\text{max}$  (3, 5, 6, 82, 83). O primeiro limiar ventilatório marca o limite entre uma intensidade moderada para alta, representando a intensidade de exercício a ser realizada sem que o indivíduo passe a acumular lactato (84). Enquanto que o segundo limiar ventilatório é considerado o limite superior para a prescrição do treinamento aeróbico (3, 85). Após realizar um TCPE e verificar os valores referentes ao primeiro e segundo limiares ventilatórios, a intensidade relativa de exercício costuma ser determinada por um ou mais pontos referentes aos valores de  $\dot{V}O_2$  dos limiares ventilatórios. A FC pode ser utilizada como valor de referência para substituir a medida direta do  $\dot{V}O_2$  durante o treinamento, desta forma, é feita a seleção da FC relativa correspondente ao estímulo de treinamento que deseja ser atingido (3, 78).

Valores relativos a 60%, 80% e 85% do  $\dot{V}O_2\text{max}$  são preconizados pelo American College of Sports Medicine (ACSM) para a prescrição do exercício, e equivaleriam a 70%, 85% e 90% da FC máxima, respectivamente (78). Porém, estudo de Swain e colaboradores (86) associou 76%, 89% e 92% da FC máxima aos respectivos percentuais de  $\dot{V}O_2$  preconizados pela ACSM. Além disso, a classificação de intensidade de treinamento realizada de forma indireta, por meio de tabelas oriundas de fórmulas de regressão, não ajusta para respostas metabólicas individuais (3).

Conforme as diferenças percentuais apresentadas acima, sabe-se que um mesmo percentual do  $\dot{V}O_2\text{max}$  podem refletir percentuais de FC diferentes, independente do gênero (86) e, possivelmente, resultar em efeitos de

treinamento diferentes. Uma hipótese para justificar estas diferenças se baseia na possível influência que diferentes protocolos de TCPE podem acarretar na medida das variáveis utilizadas para determinar os limiares ventilatórios (6). Lembrando que o mais desejável é que o protocolo de TCPE utilizado possa ser o mais semelhante possível com o ambiente de treinamento do sujeito (87).

Em conjunto, os estudos citados levantam a importância de se estudar os possíveis efeitos dos protocolos de velocidade e inclinação nos limiares ventilatórios durante o TCPE em esteira rolante. Indicam também que diferenças nos valores de  $\dot{V}O_2$  obtidos para os limiares ventilatórios podem impactar na prescrição do exercício aeróbico para indivíduos saudáveis. Neste contexto, conduzimos esta dissertação para verificar o impacto de protocolos de TCPE em esteira rolante, com ênfase em velocidade ou inclinação, na prescrição do exercício aeróbico baseada nos limiares ventilatórios.

#### 4. Referências

1. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: A scientific statement from the American heart association. *Circulation*. 2010;122:191-225.
2. Ross RM. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167:1451.
3. Carvalho VO, Mezzani A. Aerobic exercise training intensity in patients with chronic heart failure: principles of assessment and prescription. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*. 2011;18:5-14.
4. Meyer T, Gorge G, Schwaab B, Hildebrandt K, Walldorf J, Schafer C, et al. An alternative approach for exercise prescription and efficacy testing in patients with chronic heart failure: a randomized controlled training study. *Am Heart J*. 2005;149:e1-7.
5. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1979;42:25-34.
6. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, Franklin BA, Lamonte MJ, Lee IM, 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*. 2011;43:1334-59.
7. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol*. 1981;50(1):217-21.
8. Hughson RL, Green HJ. Blood acid-base and lactate relationships studied by ramp work tests. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:297-302.
9. Hughson RL, Inman MD. Oxygen uptake kinetics from ramp work tests: variability of single test values. *J Appl Physiol*. 1986;61:373-6.
10. Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N, Huntsman DJ, Frank MH, Wasserman K. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc*. 1982;14:339-43.
11. Ribeiro JP, Yang J, Adams RP, Kuca B, Knutten HG. Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. *Braz J Med Biol Res*. 1986;19:109-17.
12. Hansen JE, Casaburi R, Cooper DM, Wasserman K. Oxygen uptake as related to work rate increment during cycle ergometer exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1988;57:140-5.
13. Campbell ME, Hughson RL, Green HJ. Continuous increase in blood lactate concentration during different ramp exercise protocols. *J Appl Physiol*. 1989;66:1104-7.
14. Williford HN, Sport K, Wang N, Olson MS, Blessing D. The prediction of fitness levels of United States Air Force officers: validation of cycle ergometry. *Mil Med*. 1994;159:175-8.
15. Lockwood PA, Yoder JE, Deuster PA. Comparison and cross-validation of cycle ergometry estimates of VO<sub>2</sub>max. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:1513-20.
16. Hansen D, Dendale P, Berger J, Meeusen R. Low agreement of ventilatory threshold between training modes in cardiac patients. *Eur J Appl Physiol*. 2007;101:547-54.
17. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol*. 1983;55:1558-64.
18. Saibene F, Minetti AE. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Eur J Appl Physiol*. 2003;88:297-316.
19. Kelsey CJ, Duffin J. Changes in ventilation in response to ramp changes in treadmill exercise load. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1992;65:480-4.

20. Vilhena de Mendonça G, Pereira FD. Between-day variability of net and gross oxygen uptake during graded treadmill walking: effects of different walking intensities on the reliability of locomotion economy. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2008;33:1199-206.
21. Fukuba Y, Hara K, Kimura Y, Takahashi A, Ward SA, Whipp BJ. Estimating the parameters of aerobic function during exercise using an exponentially increasing work rate protocol. *Med Biol Eng Comput*. 2000;38:433-7.
22. Porszasz J, Casaburi R, Somfay A, Woodhouse L, Whipp B. A treadmill ramp protocol using simultaneous changes in speed and grade. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35:1596-603.
23. Lay AN, Hass CJ, Richard Nichols T, Gregor RJ. The effects of sloped surfaces on locomotion: an electromyographic analysis. *J Biomech*. 2007;40:1276-85.
24. Sloniger MA, Cureton KJ, Prior BM, Evans EM. Lower extremity muscle activation during horizontal and uphill running. *J Appl Physiol*. 1997;83:2073-9.
25. Franz JR, Kram R. The effects of grade and speed on leg muscle activations during walking. *Gait Posture*. 2011;35:143-7.
26. Wall-Scheffler CM, Chumanov E, Steudel-Numbers K, Heiderscheit B. Electromyography activity across gait and incline: The impact of muscular activity on human morphology. *Am J Phys Anthropol*. 2010;143:601-11.
27. Klein RM, Potteiger JA, Zebas CJ. Metabolic and biomechanical variables of two incline conditions during distance running. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29:1625-30.
28. Swanson SC, Caldwell GE. An integrated biomechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:1146-55.
29. Kindermann W, Schrmamm M, Keul J. Aerobic performance diagnostics with different experimental settings. *Int J Sports Medicine*. 1980;1:110-4.
30. Myers J, Buchanan N, Smith D, Neutel J, Bowes E, Walsh D, et al. Individualized ramp treadmill. Observations on a new protocol. *Chest*. 1992;101:236S-41S.
31. Myers J, Voodi L, Umann T, Froelicher VF. A survey of exercise testing: methods, utilization, interpretation, and safety in the VAHCS. *J Cardiopulm Rehabil*. 2000;20:251-8.
32. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol*. 1991;17:1334-42.
33. Myers J, Arena R, Franklin B, Pina I, Kraus WE, McInnis K, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the american heart association. *Circulation*. 2009;119:3144-61.
34. Amann M, Subudhi AW, Walker J, Eisenman P, Shultz B, Foster C. An evaluation of the predictive validity and reliability of ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36:1716-22.
35. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol*. 1976;41:544-50.
36. Achten J, Venables MC, Jeukendrup AE. Fat oxidation rates are higher during running compared with cycling over a wide range of intensities. *Metabolism*. 2003;52:747-52.
37. Sun XG, Hansen JE, Garatachea N, Storer TW, Wasserman K. Ventilatory efficiency during exercise in healthy subjects. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:1443-8.
38. Swanson GD, Hughson RL. On the modeling and interpretation of oxygen uptake kinetics from ramp work rate tests. *J Appl Physiol*. 1988;65:2453-8.
39. Ribeiro JP, De Rose EH. Umbral anaerobico: una alternativa en el diagnostico de la capacidad para realizar ejercicios fisicos de longa duracion. *Archivos Chilenos de Medicina dei Deporte*. 1981;26:18-25.
40. Miyamura M, Honda Y. Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol*. 1972;32:185-8.

41. Hambrecht RP, Schuler GC, Muth T, Grunze MF, Marburger CT, Niebauer J, et al. Greater diagnostic sensitivity of treadmill versus cycle exercise testing of asymptomatic men with coronary artery disease. *Am J Cardiol.* 1992;70:141-6.
42. Astrand PO, Saltin B. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol.* 1961;16:977-81.
43. Hermansen L, Saltin B. Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J Appl Physiol.* 1969;26:31-7.
44. Koyal SN, Whipp BJ, Huntsman D, Bray GA, Wasserman K. Ventilatory responses to the metabolic acidosis of treadmill and cycle ergometry. *J Appl Physiol.* 1976;40:864-7.
45. Withers RT, Sherman WM, Miller JM, Costill DL. Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1981;47:93-104.
46. Ribeiro JP. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício. *Arq Bras Cardiol.* 1995; 64:171-81.
47. Ribeiro JP. Limiares metabólicos e ventilatórios durante o exercício: aspectos fisiológicos, metodológicos e clínicos. *Revista HCPA.* 2005;25:107-15.
48. Wasserman K, Beaver WL, Whipp BJ. Gas exchange theory and the lactic acidosis (anaerobic) threshold. *Circulation.* 1990;81:II14-30.
49. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. On-line computer analysis and breath-by-breath graphical display of exercise function tests. *J Appl Physiol.* 1973;34:128-32.
50. Hughson RL, Weisiger KH, Swanson GD. Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive exercise. *J Appl Physiol.* 1987;62:1975-81.
51. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Blood lactate concentration in exercise. *J Appl Physiol.* 1988;64:1290-1.
52. Davis HA, Cass GC. The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1981;47:141-9.
53. Busse MW, Scholz J, Saxler F, Maassen N, Böning D. Relationship between plasma potassium and ventilation during successive periods of exercise in men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;64:22-5.
54. Busse MW, Scholz J, Maassen N. Plasma potassium and ventilation during incremental exercise in humans: modulation by sodium bicarbonate and substrate availability. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65:340-6.
55. McLellan TM, Gass GC. The relationship between the ventilation and lactate thresholds following normal, low and high carbohydrate diets. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;58:568-76.
56. Mateika JH, Duffin J. Coincidental changes in ventilation and electromyographic activity during consecutive incremental exercise tests. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1994;68:54-61.
57. Myers J, Ashley E. Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest.* 1997;111:787-95.
58. Naimark A, Wasserman K, McLroy MB. Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *J Appl Physiol.* 1964;19:644-52.
59. Wasserman K, Whipp BJ, Koyal SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973;35:236-43.
60. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol.* 1986;60:2020-7.
61. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1841-8.
62. Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ. Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J Appl Physiol.* 1985;59:1936-40.

63. Santos EL, Giannella-Neto A. Comparison of computerized methods for detecting the ventilatory thresholds. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93:315-24.
64. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, Myers J, Coke L, Fletcher GF, et al. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010;122:191-225.
65. Shimizu M, Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, et al. The ventilatory threshold: method, protocol, and evaluator agreement. *Am Heart J*. 1991;122:509-16.
66. Minetti AE, Ardigò LP, Saibene F. Mechanical determinants of gradient walking energetics in man. *J Physiol*. 1993;472:725-35.
67. Minetti AE, Ardigò LP, Saibene F. Mechanical determinants of the minimum energy cost of gradient running in humans. *J Exp Biol*. 1994;195:211-25.
68. Diedrich FJ, Warren WH. The dynamics of gait transitions: effects of grade and load. *J Mot Behav*. 1998;30:60-78.
69. Asmussen E, Bonde-Petersen F. Apparent efficiency and storage of elastic energy in human muscles during exercise. *Acta Physiol Scand*. 1974;92:537-45.
70. Aura O, Komi PV. Mechanical efficiency of pure positive and pure negative work with special reference to the work intensity. *Int J Sports Med*. 1986;7:44-9.
71. Margaria R. Biomechanics and energetics of muscular exercise: Clarendon Press; 1976.
72. McMahon TA, Cheng GC. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech*. 1990;23:65-78.
73. Lay AN, Hass CJ, Gregor RJ. The effects of sloped surfaces on locomotion: a kinematic and kinetic analysis. *J Biomech*. 2006;39:1621-8.
74. McIntosh AS, Beatty KT, Dwan LN, Vickers DR. Gait dynamics on an inclined walkway. *J Biomech*. 2006;39:2491-502.
75. Sloniger MA, Cureton KJ, Prior BM, Evans EM. Anaerobic capacity and muscle activation during horizontal and uphill running. *J Appl Physiol*. 1997;83:262-9.
76. Ribeiro JP, De Rose EH. Biópsia muscular e exercício: uma revisão de conceitos e metodologia. *Rev AMRIGS*. 1977; 21:120-5.
77. Costill DL, Jansson E, Gollnick PD, Saltin B. Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. *Acta Physiol Scand*. 1974;91(4):475-81.
78. Taranto G. Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição. American College of Sports Medicine. 7ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007.
79. Thomas TR, Ziogas G, Smith T, Zhang Q, Londeree BR. Physiological and perceived exertion responses to six modes of submaximal exercise. *Res Q Exerc Sport*. 1995;66:239-46.
80. Swain DP, Franklin BA. VO<sub>2</sub> reserve and the minimal intensity for improving cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34:152-7.
81. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med*. 2006;36:117-32.
82. Katch V, Weltman A, Sady S, Freedson P. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1978;39:219-27.
83. Meyer T, Lucía A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters--theory and application. *Int J Sports Med*. 2005;26:S38-48.
84. Whipp BJ, Ward SA, Rossiter HB. Pulmonary O<sub>2</sub> uptake during exercise: conflating muscular and cardiovascular responses. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1574-85.
85. Mezzani A, Corra U, Giordano A, Colombo S, Psaroudaki M, Giannuzzi P. Upper intensity limit for prolonged aerobic exercise in chronic heart failure. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42:633-9.



86. Swain DP, Abernathy KS, Smith CS, Lee SJ, Bunn SA. Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:112-6.
87. Davies B, Daggett A, Jakeman P, Mulhall J. Maximum oxygen uptake utilising different treadmill protocols. *Br J Sports Med.* 1984;18:74-9.

## **Capítulo III**

### **OBJETIVOS**

Verificar os efeitos da ênfase em incrementos de velocidade versus de inclinação durante o teste cardiopulmonar de exercício sobre a determinação dos limiares ventilatórios e, conseqüentemente, a prescrição do exercício em indivíduos saudáveis.

## **Capítulo IV**

### **Artigo em inglês**

Speed and grade increment in treadmill testing: impact on exercise prescription

(Artigo submetido para a Medicine & Science in Sports & Exercise)

# Speed and grade increment in treadmill testing: impact on exercise prescription

KARLYSE C. BELLI<sup>1</sup>, PAULA FIGUEIREDO<sup>1</sup>, RICARDO STEIN<sup>1</sup>, JORGE P. RIBEIRO<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Exercise Pathophysiology Research Laboratory and Cardiology Division, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Porto Alegre, BRAZIL; and <sup>2</sup>Department of Medicine, Faculty of Medicine, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, BRAZIL.

## ABSTRACT

**Purpose:** To test the hypothesis that exercise prescription, based on ventilatory thresholds determined by treadmill cardiopulmonary exercise testing (CPX), could be influenced by the type of load. **Methods:** We studied 9 healthy individuals (4 male and 5 female; 29±6 years; 167±8 cm; 65±8 kg) who underwent two CPXs, followed by two sessions of submaximal exercise, both in randomized order. The speed incremental protocol started at 5.5 km.h<sup>-1</sup> and 1% of grade, and increased the speed 0.1 to 0.3 km.h<sup>-1</sup> every 15 s. The grade incremental protocol started at 5 km.h<sup>-1</sup> and 1% of grade, with increments of 0.5% in grade every 0.5 min and 0.1 km.h<sup>-1</sup> every 45 s. Each submaximal exercise session lasted 40 min, at the intensity corresponding to heart rate between first and second ventilatory threshold. **Results:** The speed protocol resulted in higher first (27.5±2.3 vs 24.9±1.9 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>; *P* = 0.001) and second (32.4±2.9 vs 29.7±2.1 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>; *P* = 0.017) ventilatory thresholds, and no significant effect on maximal oxygen uptake. The target heart rate for submaximal exercise session was higher in the speed protocol (169±9 vs 156±8 bpm; *P* < 0.001) and remained stable in the two steady-state exercise sessions, with higher speed. Blood lactate remained stable during the submaximal exercise sessions, with higher values in the one based on the speed protocol (6.2±1.6 vs 4.6±1.9 mmol.L<sup>-1</sup>; *P* < 0.001). **Conclusions:** Comparing with the grade protocol, the speed protocol results in higher ventilatory thresholds, with significant impact on cardiorespiratory and metabolic responses to prescribed exercise intensity in healthy subjects.

## INTRODUCTION

Cardiopulmonary exercise testing (CPX) remains a useful tool that provides valuable diagnostic and prognostic information for healthy subjects and patients (3,23). CPX has long been used in the assessment of athletic performance, in research venues, and in the evaluation of patients (1). The results of CPX have also been extensively used for the prescription of exercise intensities during aerobic training (6,22). In this particular setting, maximal oxygen uptake ( $\dot{V}O_{2max}$ ) as well as the first (VT<sub>1</sub>) and the second (VT<sub>2</sub>) ventilatory thresholds have been used as reference points (6,10,18,22).

Ramp protocols are recommended for CPX because they result in a linear increase of  $\dot{V}O_2$  in relation to workload, particularly when performed on the cycle ergometer (13,14,28,37). Both the VT<sub>1</sub> and the VT<sub>2</sub> occur at the same  $\dot{V}O_2$ , independent on the rate of increment of exercise intensity in the cycle ergometer (9,28) and the same is true for the determination of the VT<sub>1</sub> on the treadmill (5). Despite the association between cardiorespiratory fitness measured on the cycle ergometer and the treadmill, the choice of the ergometer may influence the determination of the VT<sub>1</sub> (5,17).

In the Americas, the treadmill is the ergometer of choice in clinical settings (3,23,25). In this ergometer, it is not so

easy to obtain a linear response in metabolic rate using ramp protocols, because of the walking-running transition (31), the possible change in speed and grade (16,24,26), handrail support, and their effects on economy (5). Moreover, there is little information on the effects of different treadmill ramp protocols increments on the detection of the VT<sub>1</sub> and VT<sub>2</sub> (5,17).

Changes in speed and/or grade may be used to build a treadmill ramp protocol, trying to make the work rate increments as linear as possible (26). For that purpose, it must be kept in mind the disproportionate interaction in muscle activation (33,35) and kinematic variables of gait, according to speed or grade increments (34) and their influence on  $\dot{V}O_2$  during exercise. Moreover, the impact of the type of increment during CPX performed on the treadmill on exercise prescription has not been previously studied. Therefore, this study was conducted to compare the effects of two treadmill ramp protocols on the detection of the VT<sub>1</sub> and the VT<sub>2</sub>. We applied one protocol mainly using speed increments and another using mainly grade increments. Furthermore, we evaluated the steady-state response from the exercise prescription based on the measured ventilatory thresholds according to both protocols.

## METHODS

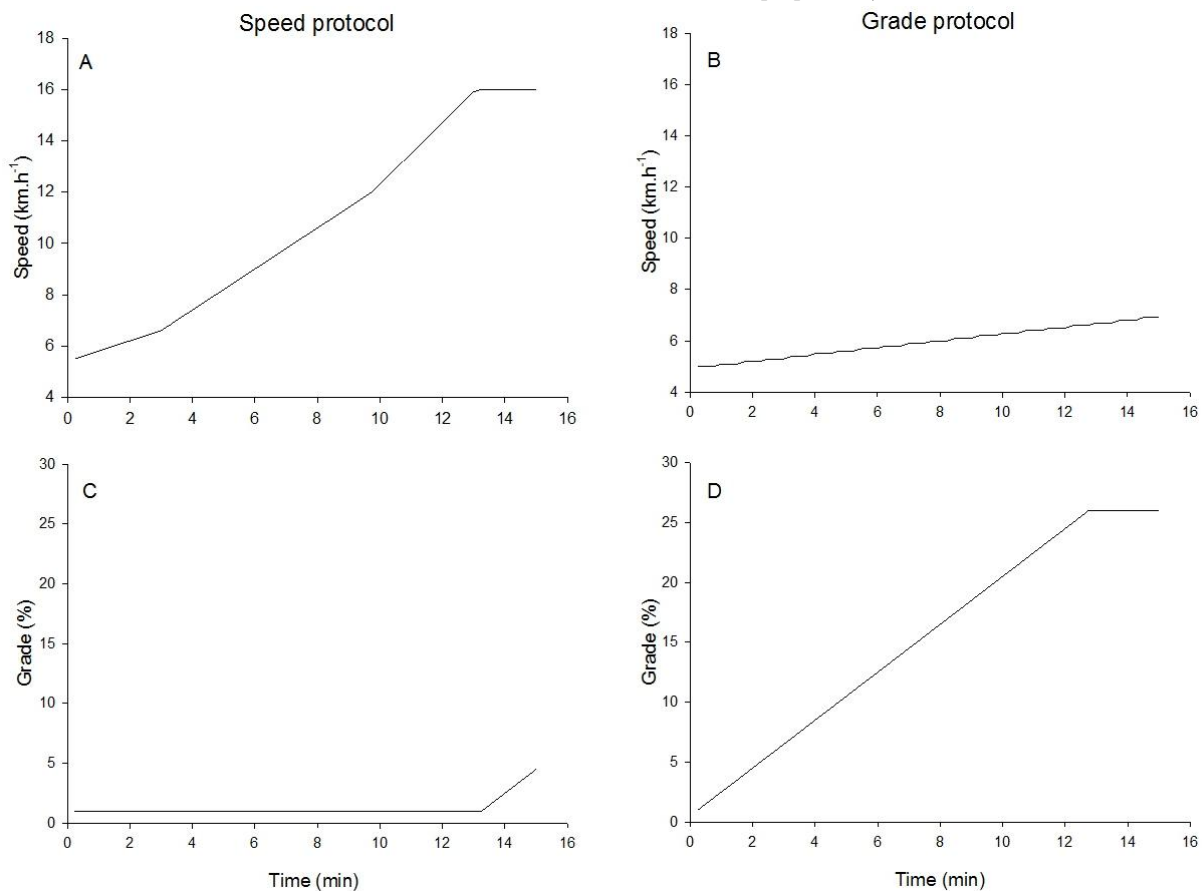
**Subjects.** Four male and five female subjects, age  $29 \pm 2$  years, height  $167 \pm 3$  cm, weigh  $65 \pm 3$  kg, participated in the study. All subjects were active and otherwise healthy as determined by medical history, physical examination, as well as resting and exercise electrocardiogram. None of them were taking medications. The subjects did not vary the level of their exercise activity during the testing period. All rights and privileges were honored in accordance with an established human subject protocol, and informed consent was obtained. The protocol was approved by the ethics committee of the institution.

**Protocol.** Our protocol included two maximal incremental CPX and two submaximal exercise sessions, performed in different days, and the type of increment was chosen according to random order. All tests were performed in a comfortable laboratory environment, with a minimum of 48 hours of interval between encounters. The CPX system was calibrated before each treadmill exercise test by gas and volume. No handrail support was allowed during all tests (3). The randomization of protocols was done by an independent researcher using the software R x 64 version 13.0 and it was kept secret. Then, the recruiter researcher obtained each randomization by telephone connection. The protocol randomized for the first incremental CPX was the same for the first submaximal exercise session.

**Incremental cardiopulmonary exercise tests.** Two incremental protocols were used for determination of  $VT_1$ ,  $VT_2$ , and  $\dot{V}O_{2max}$ . The subjects were positioned on the

treadmill (Inbramed, TK10200, Porto Alegre, Brazil) and walked at  $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  with 1% of grade, during 2 min to perform the speed or grade protocol. The speed protocol started at  $5.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  and 1% of grade and increments of  $0.1$  to  $0.3 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  were added every 15 s (Figure 1A), with constant grade (Figure 1C). If the maximal speed of the treadmill ( $16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) was attained, exercise intensity could be further increased by grade increments of  $0.5\%$  per 30 s. The grade protocol started at  $5.5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  and 1% of grade, with increments of  $0.1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  every 45 s (Figure 1B) and  $0.5\%$  in grade every 0.5 min (Figure 1D). Subjects exercised until volitional fatigue. During recovery from the incremental tests, the subjects walked on the treadmill at  $2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  during 7 min, and fingertip blood samples were collected at 1, 3, 5, and 7 min for the determination of maximal blood lactate.

**Cardiorespiratory variables.** Heart rate was determined based on the R-R intervals from a twelve-lead electrocardiogram during all tests (Micromed-biotecnologia, Brasília, Brazil). Perceived exertion, using the 0 to 10 Borg scale (12), was obtained every 2 min of the CPX and. Gas exchange variables were measured breath-by-breath by validated system (Metalyzer 3B, CPX System, Cortex, Leipzig, Germany) (21) and analyzed every 20 s.  $\dot{V}O_{2max}$  was defined as the highest value measured for a period of 20 s during the CPX. The  $VT_1$  and  $VT_2$  were determined by visual inspection of ventilatory response to CPX. The  $VT_1$  was identified as the  $\dot{V}O_2$  or heart rate immediately before a systematic increase in the ventilatory equivalent for oxygen (minute ventilation  $[\dot{V}_E] / \dot{V}O_2$ ), without an increase in ventilatory



**Figure 1** – Type of increments on speed and grade according both protocols of maximal exercise testing.

equivalent for carbon dioxide ( $\dot{V}_E$  / carbon dioxide output [ $\dot{V}_E \text{CO}_2$ ]) (1,36). The V-slope method was also used to confirm the  $VT_1$  (1). The  $VT_2$  was identified as the point immediately before a systematic increase in  $\dot{V}_E/\dot{V}_E \text{CO}_2$ , usually at the same time that the end-tidal  $\text{CO}_2$  decreased systematically (1). All ventilatory thresholds and  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$  evaluations were done by the same experienced researcher (JPR), who was blinded to the protocols.

**Exercise prescription.** The exercise intensity in the submaximal exercise sessions was based on the heart rate corresponding to the mean point between  $VT_1$  and  $VT_2$ , obtained from the speed protocol and the grade protocols. During submaximal exercise sessions, the subjects performed 10 min of walking-running to reach the target heart rate, and 30 min running at target heart rate. The treadmill was maintained at level during all submaximal exercise sessions and speed was adjusted to maintain stable heart rate. We chose to maintain a stable heart rate instead of using constant work rate because the individuals exercised at intensities above the  $VT_1$ , where steady state is not established with constant work rate (27,29). Moreover, target heart rates are frequently used to monitor aerobic training exercise sessions (6). During the submaximal exercise sessions, heart rate and gas exchange were continuously monitored as described above. Perceived exertion and blood lactate samples were obtained at rest and every 10 min.

**Blood lactate analysis.** Twenty five  $\mu\text{L}$  of fingertip blood samples were mixed with 50  $\mu\text{L}$  of sodium fluoride at 1%. This solution was then frozen for later analysis of blood lactate concentration using a dedicated analyzer (YSI 1500-L Sport, Yellow Springs, Ohio, USA).

**Statistical analyzes.** Based on previous studies (27, 30) the sample size was estimated in 7 subjects, with a power of 90% and an alpha of 0.05, to detect a 10 % difference (~16 bpm) of the prescribed heart rate. Descriptive data are presented as mean  $\pm$  standard error. To evaluate intra observer reproducibility in the detection of the  $VT_1$ ,  $VT_2$ , and  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ , gas exchange curves of all tests were presented to the same blinded investigator twice with an interval of one week. Paired t tests, Pearson's coefficient correlation, and Bland-Altman analysis (4) were used to access intra observer reproducibility. General results from the CPX were compared by paired t test. The responses to incremental and submaximal exercise tests were compared by generalized estimating equations. When appropriate, multiple comparisons were evaluated using Bonferroni correction.

## RESULTS

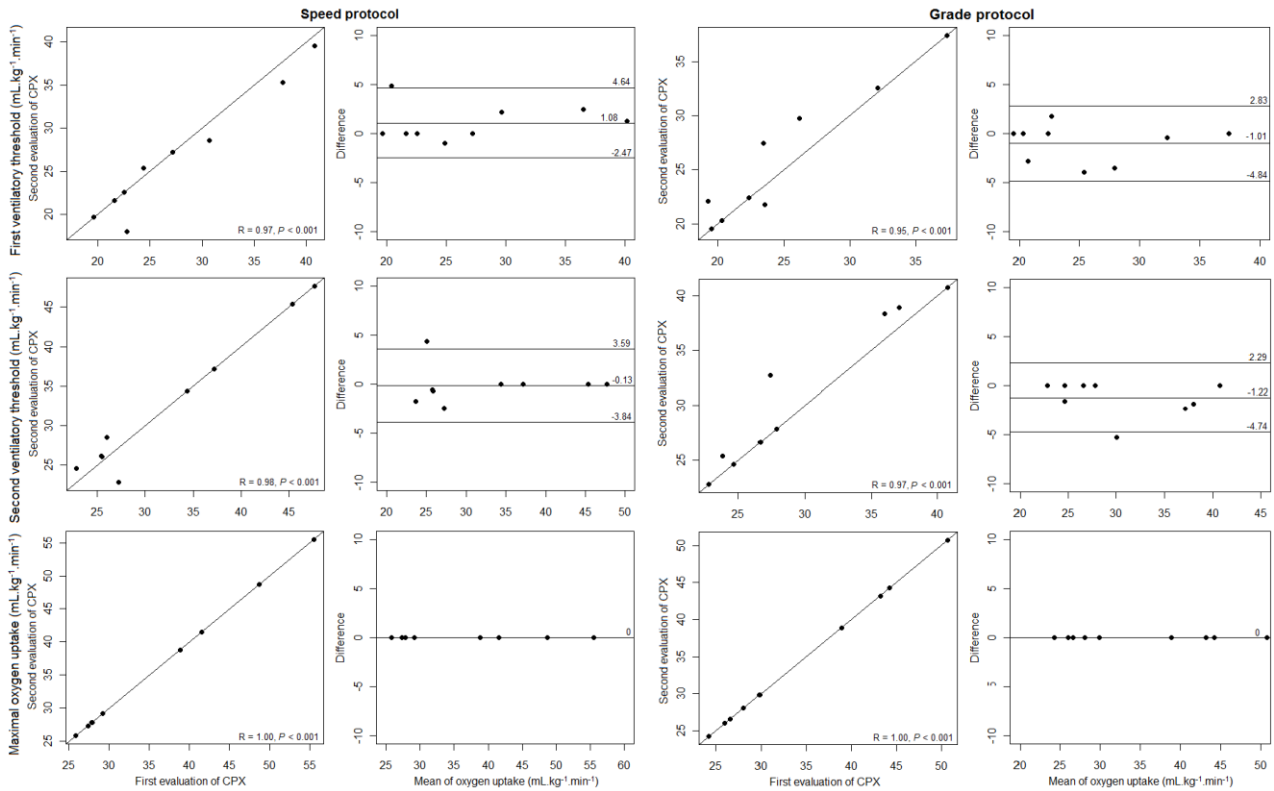
All subjects completed the incremental exercise tests and the exercise sessions without complications. For the intra observer reproducibility, there were no significant differences in  $\dot{V}_{O_2}$  between the two evaluations on the

detection of the  $VT_1$  (speed:  $27.5 \pm 7.4$  vs  $26.4 \pm 7.2$   $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ,  $P = 0.111$ ; grade:  $24.9 \pm 6.1$  vs  $25.9 \pm 6.2$   $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ,  $P = 0.162$ ),  $VT_2$  (speed:  $32.4 \pm 9.2$  vs  $32.5 \pm 9.2$ ,  $P = 0.847$ ; grade:  $29.7 \pm 6.5$  vs  $30.9 \pm 6.9$   $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ,  $P = 0.075$ ), and  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$  (speed:  $35.8 \pm 10.9$  vs  $35.8 \pm 10.9$ ,  $P > 0.05$ ; grade:  $34.5 \pm 9.8$  vs  $34.5 \pm 9.8$   $\text{mL.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ;  $P > 0.05$ ). Intraobserver agreement is presented in Figure 2. The evaluation of both protocols presented strong correlation coefficients between first and second evaluations, varying from 0.95 to 1.00 (1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> columns of Figure 2). Likewise, Bland-Altman plots demonstrated values within acceptable limits of agreement between the first and second evaluation (2<sup>nd</sup> and 4<sup>th</sup> columns of Figure 2).

Table 1 presents the results of the incremental exercise tests performed according speed and grade protocol. Resting heart rate and blood lactate were similar for both protocols. At peak exercise heart rate was higher on the speed protocol, without differences in  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ ,  $\dot{V}_{CO_2\text{max}}$ , and  $\dot{V}_{E\text{max}}$ . The peak respiratory exchange ratio was lower on the speed protocol, as was the perceived exertion for the legs. Maximal blood lactate concentration and time to maximal blood lactate concentration during recovery were similar in the two protocols.

Figure 3 presents the responses of  $\dot{V}_{O_2}$  and heart rate to incremental exercise according to the  $VT_1$ ,  $VT_2$ , the mean point between  $VT_1$  and  $VT_2$ , and  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ .  $\dot{V}_{O_2}$  at these 4 intensities was higher in the speed protocol (Figure 3A). When expressed in percentage of  $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ , these differences were also statistically significant (Intensity:  $P < 0.001$ ; Protocol:  $P = 0.001$ ; Interaction:  $P = 0.183$ ). The speed protocol resulted in higher heart rates for the  $VT_1$  ( $153 \pm 14$  vs  $144 \pm 8$  bpm,  $P < 0.001$ ), the  $VT_2$  ( $176 \pm 7$  vs  $165 \pm 8$  bpm,  $P < 0.001$ ), the mean point between  $VT_1$  and  $VT_2$  ( $169 \pm 9$  vs  $156 \pm 8$  bpm,  $P < 0.001$ ), and peak exercise ( $189 \pm 8$  vs  $183 \pm 7$  bpm,  $P < 0.001$ ) (Figure 3B). The responses were also significantly different when heart rates were analyzed as a percentage of peak heart rate (Intensity:  $P < 0.001$ ; Protocol:  $P < 0.001$ ; Interaction:  $P = 0.001$ ).

The submaximal exercise sessions were analyzed from 10 to 40 min, corresponding the steady-state phase of exercise (Figure 4). As by protocol, individuals presented stable heart rate responses (Figure 4A), with higher levels in the session based on the speed protocol. Blood lactate concentration (Figure 4B) presented stable values after 20 min, with higher concentrations on the session based on the speed protocol. To maintain a stable heart rate, speed was progressively reduced (Figure 4C), resulting in reduction of  $\dot{V}_{O_2}$  (Figure 4D).  $\dot{V}_E/\dot{V}_{O_2}$  increased progressively (Figure 4E), but without significant differences between protocols. Respiratory exchange ratio decreased progressively (Figure 4F), without significant differences between the protocols. Respiratory (Figure 4G) and leg (Figure 4H) rates of perceived exertion were significantly higher in the sessions based on the speed protocol.

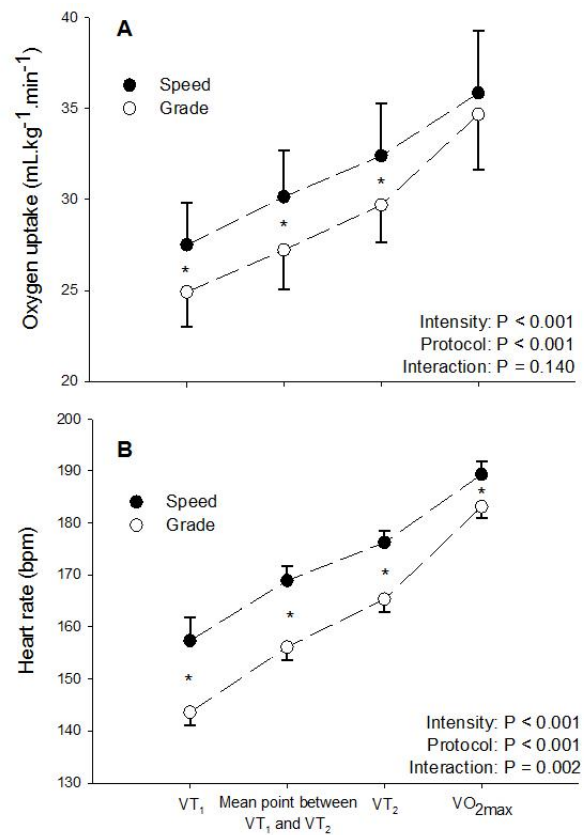


**Figure 2** – Validity testing of first and second evaluations for ventilatory thresholds and maximal oxygen uptake. The first and third columns of graphs show scatter plots and Pearson’s correlation coefficients. The diagonal lines represent the lines of identity. Graphs on second and fourth columns are Bland-Altman plots. The horizontal lines represent upper limit, bias and lower limit for difference between the two evaluations. CPX: cardiopulmonary exercise test.

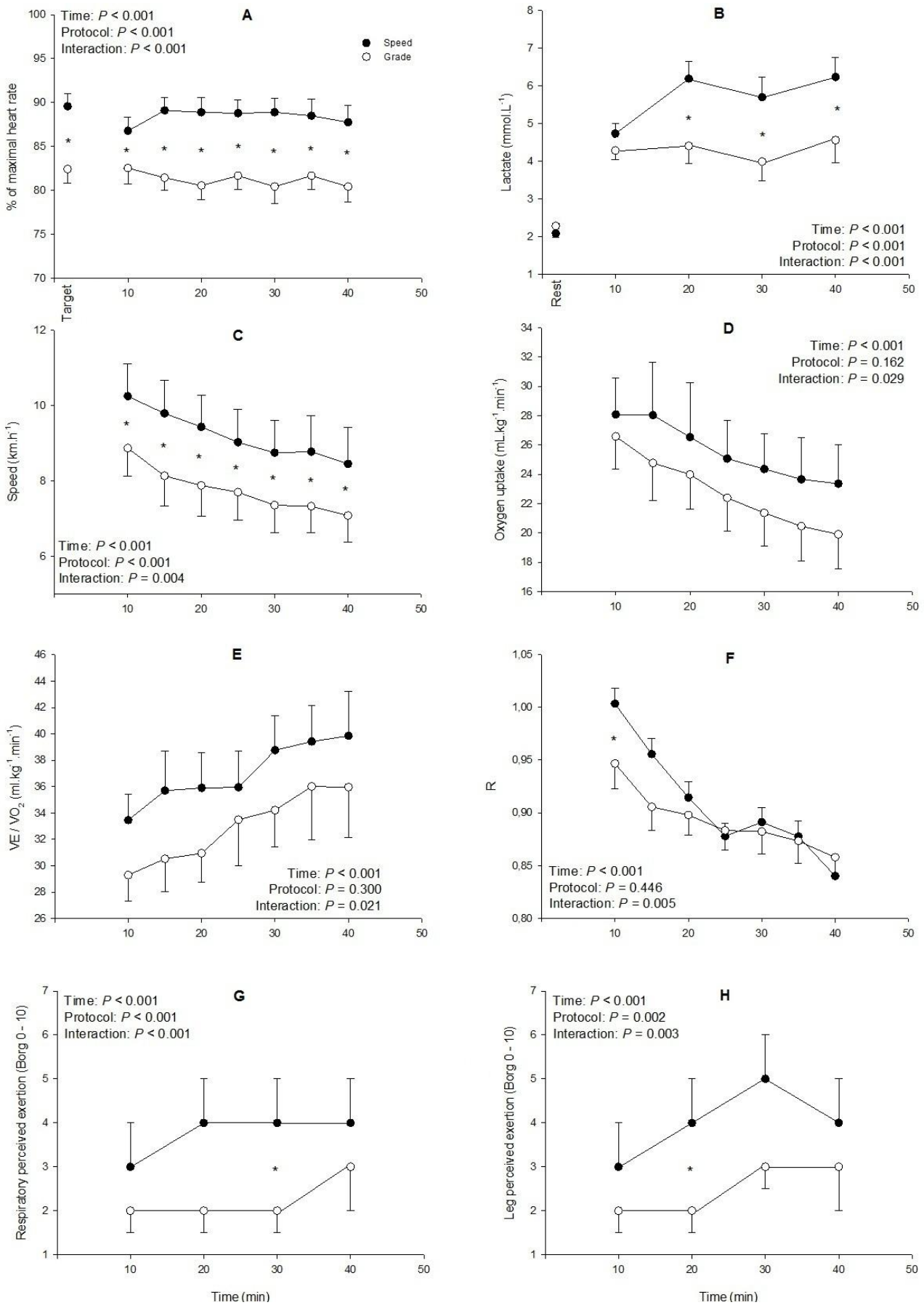
**Table 1** – Ergometric data, cardiorespiratory, and metabolic results at rest and incremental exercise test on the speed and grade protocol.

| Variables   | Speed (n=9) | Grade (n=9) | P       |
|---|-------------|-------------|---------|
| <b>Rest</b>   |             |             |         |
| Heart rate (beats.min <sup>-1</sup> )                   | 72±4        | 73±4        | 0.619   |
| Blood lactate (mmol.L <sup>-1</sup> )                   | 1.79±0.19   | 1.69±0.18   | 0.570   |
| <b>Peak exercise</b>                                    |             |             |         |
| Time (s)  | 694±68      | 568±50      | 0.001   |
| Speed (km.h <sup>-1</sup> )                             | 13.5±0.8    | 6.2±0.1     | < 0.001 |
| Grade (%)   | 2.6±0.9     | 19.7±1.6    | < 0.001 |
| Heart rate (beats.min <sup>-1</sup> )                   | 189±3       | 183±2       | 0.001   |
| Oxygen uptake (mL.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) | 35.8±3.6    | 34.7±3.2    | 0.171   |
| Carbon dioxide output (L.min <sup>-1</sup> )            | 2.69±0.33   | 2.88±0.39   | 0.098   |
| Minute ventilation (L.min <sup>-1</sup> )               | 102±11      | 106±11      | 0.232   |
| Respiratory exchange ratio                              | 1.14±0.04   | 1.25±0.04   | 0.048   |
| Perceived exertion                                      |             |             |         |
| Respiratory   | 9±1         | 9±0         | 0.108   |
| Legs  | 8±1         | 9±0         | 0.011   |
| <b>Maximal blood lactate during recovery</b>            |             |             |         |
| Blood lactate (mmol.L <sup>-1</sup> )                   | 9.07±2.29   | 9.95±2.25   | 0.247   |
| Time to maximal (min)                                   | 2±2         | 3±2         | 0.106   |

The data were expressed by mean and standard error.



**Figure 3** – Oxygen consumption and heart rate response at four moments of maximal exercise test according speed and grade protocols. Data are expressed as mean +/- SE. VT<sub>1</sub>: first ventilatory threshold; VT<sub>2</sub>: second ventilatory threshold. \* P < 0.01 between protocols.



**Figure 4** – Ventilatory and metabolic results from all subjects at submaximal exercise tests prescribed according speed and grade protocols. Filled balls: exercise prescription based on the speed protocol; blank balls: exercise prescription based on the grade protocol. All  $P$  values were obtained from generalized estimating equations.  $\dot{V}_E/\dot{V}O_2$ : ventilatory equivalent for oxygen. \*  $P < 0.05$  between protocols.



## DISCUSSION

The main finding of the present study is that a treadmill protocol based mainly on speed increments results in higher  $\dot{V}O_2$  and heart rate corresponding to the  $VT_1$  and  $VT_2$  when compared to a treadmill protocol mainly based on grade increment. Moreover, the choice of the protocol has a significant impact on exercise prescription based on ventilatory thresholds. To best of our knowledge, this is the first report describing the impact of the type of increment during CPX performed on the treadmill on aerobic exercise prescription.

In the present study, ventilatory thresholds were visually determined by one experienced investigator (JPR), who was blinded to the identity of the subjects or the protocol utilized. Despite the fact that we did not evaluate the inter observer agreement for the detection of thresholds, the intra observer agreement was appropriate (13,36), as demonstrated by similar mean values, high correlation coefficients, and Bland-Altman analysis within acceptable limits. Moreover, standard criteria used in clinical practice, including ventilatory equivalents, V-slope, and the end-tidal  $CO_2$ , were applied (1,11). With this approach, the reproducibility for the detection of ventilatory thresholds is in agreement with previous studies (2,8,11).

Previous studies have shown that, when the cycle ergometer is used for the detection of ventilatory thresholds, the results are independent of the rate of increment in power output (9,20,28). The detection of the  $VT_1$  is also not affected by the rate of increment in exercise intensity on the treadmill (5). Despite the fact that the treadmill is the ergometer of choice in many clinical settings, no study had previously evaluated the impact of changing mainly grade or speed during incremental protocols on the detection of ventilatory thresholds for the treadmill. Kinderman et al (17) evaluated the influence of different incremental treadmill protocols on the detection of the 4 mmol.L<sup>-1</sup> lactate threshold. In agreement with what had been shown for the cycle ergometer (28), when fixed, absolute blood lactate concentrations are used to detect thresholds, the results depend on the protocol used. In the present study, the  $\dot{V}O_2$  at the ventilatory thresholds was ~7 % higher in the speed-based protocol when compared with to the grade-based protocol. Likewise, the heart rate at the ventilatory thresholds was ~8 % higher in the speed-based protocol when compared with to the grade-based protocol.

The mechanisms by which a speed-based protocol results in higher ventilatory thresholds when compared to a grade-based protocol are not readily apparent from our data. Based on the findings of Kelsey and Duffin (16) of greater ventilatory responses to speed than grade increments on the treadmill for the same  $\dot{V}O_2$ , one would expect lower ventilatory thresholds with the speed protocol, if a higher limb movement frequency would be the responsible for our findings. Therefore, other mechanisms should be considered. One possible explanation for lower ventilatory thresholds on the grade-based protocol is activation of a larger muscle mass with increments in grade (35). During

uphill (+10%) running the volume of activated limb muscles increases from 67% to 73%, and this is associated with larger oxygen deficit (32). Moreover, uphill running is associated with larger glycogen depletion in the lower extremities (7). Therefore, the grade-based protocol used in the present study probably resulted in the activation of a larger muscle mass, larger glycogen utilization, and earlier blood lactate accumulation, resulting in a lower  $\dot{V}O_2$  at the ventilatory thresholds.

Some investigators believe that the prescription of exercise intensities for aerobic training using as reference ventilatory (or blood lactate) thresholds is more physiologically sound than using a percentage of  $\dot{V}O_{2max}$  or a percentage of maximal heart rate (6,15,22). Despite the fact that there are little data from controlled studies to support this strategy (19), the concept that individuals with different ventilatory thresholds may present different metabolic and cardiorespiratory responses to exercise at a certain percentage of  $\dot{V}O_2$  is well established (6,15,22,27). Therefore, we compared the metabolic and cardiorespiratory responses during exercise sessions with the intensities determined on CPX based mainly on speed or grade increments. As commonly done in practice, the exercise intensity was adjusted according to the heart rate corresponding to the mean point between  $VT_1$  and  $VT_2$ .

Our data show that the choice of the protocol has a significant impact on the exercise intensity prescribed for aerobic training based on the determination of ventilatory thresholds. The speed-based protocol resulted in higher heart rate, blood lactate, speed, and perceived exertion on the exercise sessions. The size of this difference (~8% for heart rate and ~2 mmol.L<sup>-1</sup> for blood lactate) is substantial. If, for instance, the exercise prescription were to be set at the heart rate corresponding to the  $VT_2$ , steady state blood lactate concentration would be reached using a grade-based protocol, but blood lactate could accumulate if a speed-based protocol was used (28).

Our study has some limitations. We compared protocols mainly based on speed or grade increments, but in most laboratories, protocols increase both speed and grade. Therefore, small changes in increments of grade and speed between protocols are not expected to impact exercise prescription to the degree found in our experiments. To avoid the walking-running transition, which affects the linearity of  $\dot{V}O_2$  response, both protocols started at 5.5 km.h<sup>-1</sup>, a speed in which the subjects could be jogging. Therefore, our findings cannot be extrapolated to protocols in which individuals do not run. Finally, our findings are limited to healthy young adults, so it may not reflect the effects of these type of increments in other populations such as elderly individuals, children or people with a variety of pathological conditions. However, our results underscore the fact that, in the prospective evaluation of individuals involved with aerobic training, similar exercise testing protocols should be employed.

In conclusion, during CPX on the treadmill, a speed-based protocol results in higher ventilatory thresholds when compared to a grade-based protocol, with significant

impact on cardiorespiratory and metabolic responses to prescribed exercise intensity in healthy subjects.

Superior (CAPES), Brasília, Brazil; and the National Research Council (CNPq), Brasília, Brazil.

## Acknowledgments

This study was partially supported by: the Hospital de Clinicas de Porto Alegre Fund for the Incentive of Research (FIPE-HCPA), Porto Alegre, Brazil; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível

## Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## REFERENCES

1. American Thoracic Society; American College of Chest Physicians. ATS/ACCP statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003; 15;167:211-77.
2. Aunola S, Rusko H. Reproducibility of aerobic and anaerobic thresholds in 20-50 year old men. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1984;53:260-6.
3. Balady GJ, Arena R, Sietsema K, et al; American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee of the Council on Clinical Cardiology; Council on Epidemiology and Prevention; Council on Peripheral Vascular Disease; Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research. Clinician's Guide to cardiopulmonary exercise testing in adults: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation.* 2010;122:191-225.
4. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res.* 1999;8:135-60.
5. Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp BJ. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol.* 1983;55:1558-64.
6. Carvalho VO, Mezzani A. Aerobic exercise training intensity in patients with chronic heart failure: principles of assessment and prescription. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 2011;18:5-14.
7. Costill DL, Jansson E, Gollnick PD, Saltin B. Glycogen utilization in leg muscles of men during level and uphill running. *Acta Physiol Scand.* 1974;91:475-81.
8. Davis JA, Vodak P, Wilmore JH, Vodak J, Kurtz P. Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J Appl Physiol.* 1976;41:544-50.
9. Davis JA, Whipp BJ, Lamarra N, Huntsman DJ, Frank MH, Wasserman K. Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14:339-43.
10. Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al; American College of Sports Medicine. 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.* 2011;43:1334-59.
11. Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS. Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1841-8.
12. Hamilton AL, Killian KJ, Summers E, Jones NL. Muscle strength, symptom intensity, and exercise capacity in patients with cardiorespiratory disorders. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995;152:2021-31.
13. Hansen D, Dendale P, Berger J, Meeusen R. Low agreement of ventilatory threshold between training modes in cardiac patients. *Eur J Appl Physiol.* 2007;101:547-54.
14. Hughson RL, Inman MD. Oxygen uptake kinetics from ramp work tests: variability of single test values. *J Appl Physiol.* 1986;61:373-6.
15. Katch V, Weltman A, Sady S, Freedson P. Validity of the relative percent concept for equating training intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1978;39:219-27.
16. Kelsey CJ, Duffin J. Changes in ventilation in response to ramp changes in treadmill exercise load. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1992;65:480-4.
17. Kindermann W, Schramm M, Keul J. Aerobic performance diagnostics with different experimental settings. *Int. J. Sports Medicine.* 1980;1:110-4.
18. Kindermann W, Simon G, Keul J. The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1979;42:25-34.
19. Londeree BR. Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: a meta-analysis. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:837-43.
20. McLellan TM. Ventilatory and plasma lactate response with different exercise protocols: a comparison of methods. *Int J Sports Med.* 1985;6:30-5.
21. Meyer T, Georg T, Becker C, Kindermann W. Reliability of gas exchange measurements from two different spiroergometry systems. *Int J Sports Med.* 2001;22:593-7.
22. Meyer T, Lucia A, Earnest CP, Kindermann W. A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters – theory and application. *Int J Sports Med.* 2005;26:S38-48.
23. Munhoz EC, Hollanda R, Vargas JP, Silveira CW, Lemos AL, Hollanda RM, Ribeiro JP. Flattening of

- oxygen pulse during exercise may detect extensive myocardial ischemia. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:1221-6.
24. Myers J, Buchanan N, Smith D, Neutel J, Bowes E, Walsh D, Froelicher VF. Individualized ramp treadmill. Observations on a new protocol. *Chest.* 1992;101:236S-41S.
  25. Myers J, Voodi L, Umann T, Froelicher VF. A survey of exercise testing: methods, utilization, interpretation, and safety in the VAHCS. *J Cardiopulm Rehabil.* 2000;20:251-8.
  26. Porszasz J, Casaburi R, Somfay A, Woodhouse L, Whipp B. A treadmill ramp protocol using simultaneous changes in speed and grade. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35:1596-603.
  27. Ribeiro JP, Hughes V, Fielding RA, Holden W, Evans W, Knuttgen HG. Metabolic and ventilatory responses to steady state exercise relative to lactate thresholds. *Eur J Appl Physiol.* 1986;55:215-21.
  28. Ribeiro JP, Yang J, Adams RP, Kuca B, Knuttgen HG. Effect of different incremental exercise protocols on the determination of lactate and ventilatory thresholds. *Braz J Med Biol Res.* 1986;19:109-17.
  29. Roseguini BT, Narro F, Oliveira AR, Ribeiro JP. Estimation of the lactate threshold from heart rate response to submaximal exercise: the pulse deficit. *Int J Sports Med.* 2007;28:463-9.
  30. Rusko H, Luhtanen P, Rahkila P, Viitasalo J, Rehunen S, Härkönen M. Muscle metabolism, blood lactate and oxygen uptake in steady state exercise at aerobic and anaerobic thresholds. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1986;55:181-6.
  31. Saibene F, Minetti AE. Biomechanical and physiological aspects of legged locomotion in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88:297-316.
  32. Sloniger MA, Cureton KJ, Prior BM, Evans EM. Anaerobic capacity and muscle activation during horizontal and uphill running. *J Appl Physiol.* 1997;83:262-9.
  33. Sloniger MA, Cureton KJ, Prior BM, Evans EM. Lower extremity muscle activation during horizontal and uphill running. *J Appl Physiol.* 1997;83:2073-9.
  34. Swanson SC, Caldwell GE. An integrated biomechanical analysis of high speed incline and level treadmill running. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1146-55.
  35. Wall-Scheffler CM, Chumanov E, Steudel-Numbers K, Heiderscheit B. Electromyography activity across gait and incline: The impact of muscular activity on human morphology. *Am J Phys Anthropol.* 2010;143:601-11.
  36. Wasserman K, Whipp BJ, Koyl SN, Beaver WL. Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J Appl Physiol.* 1973;35:236-43.
  37. Whipp BJ, Davis JA, Torres F, Wasserman K. A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J Appl Physiol.* 1981;50:217-21.

## Capítulo V

### CONCLUSÕES

Conforme as informações apresentadas nesta dissertação, o protocolo de teste cardiopulmonar em esteira rolante com ênfase em velocidade resultou em limiares ventilatórios mais elevados que os encontrados com o protocolo com ênfase em inclinação. Essa diferença resultou em uma frequência alvo de treinamento mais elevada, velocidade prescrita, lactato e consumo de oxigênio mais elevado na sessão de treinamento prescrita pelo protocolo com ênfase em velocidade, quando comparada com a sessão prescrita pelo protocolo com ênfase em inclinação.

Os nossos achados reforçam a ideia de que, na avaliação de indivíduos submetidos ao treinamento aeróbico, o protocolo de teste cardiopulmonar de exercício deve ser o mais semelhante possível com o exercício a ser prescrito. Também trazem em questão a necessidade de avaliar os efeitos destes protocolos em populações de pacientes rotineiramente avaliados no ambiente clínico.