

# Avaliação da Capacidade Máxima de Exercício: Uma Revisão sobre os Protocolos Tradicionais e a Evolução para Modelos Individualizados



*Exercise Maximum Capacity Assessment: A Review on the Traditional Protocols and the Evolution to Individualized Models*

Sidney Cavalcante da Silva<sup>1,2</sup>  
Wallace David Monteiro<sup>2,3</sup>  
Paulo de Tarso Veras Farinatti<sup>2,3</sup>

1. Programa de Pós-Graduação em Educação Física – Universidade Gama Filho (UGF).
2. Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (LABSAU/ UERJ).
3. Programa de Pós-Graduação em Ciências da Atividade Física – Universidade Salgado de Oliveira (Universo).

## Correspondência:

Paulo de Tarso Veras Farinatti  
Laboratório de Atividade Física e Promoção da Saúde (LABSAU),  
Instituto de Educação Física e Desportos, Universidade do Estado do Rio de Janeiro  
Rua São Francisco Xavier, 524, 8º andar,  
salas 8.121-F e 8.133-F – 20550-013 –  
Rio de Janeiro, RJ, Brasil.  
E-mail: farinatti@uerj.br

## RESUMO

Os ajustes fisiológicos ao exercício têm sido extensivamente estudados. Apesar do consenso sobre a importância de testes de exercício para a avaliação do consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), diferenças expressivas entre os protocolos utilizados podem comprometer a comparação de dados e sua utilização clínica ou funcional. A presente revisão analisou os principais protocolos correntemente utilizados na avaliação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ , destacando suas vantagens e limitações. Além disso, compararam-se as características de protocolos escalonados em estágios com aquelas de modelos individualizados, conhecidos como *protocolos em rampa*. Foram revisados 102 estudos publicados entre os anos 1955 e 2009. Os resultados indicaram que, apesar de a maior parte dos estudos apontar vantagens dos protocolos em rampa sobre os mais tradicionais, há uma evidente carência de recomendações sobre diversos aspectos de sua elaboração. São raros os estudos que analisaram a influência de variáveis dos protocolos em rampa sobre os desfechos pretendidos, como o consumo máximo de oxigênio e limiares de transição metabólica. Há dúvidas acerca da melhor maneira de se determinar a capacidade máxima de exercício, velocidade inicial do teste, razão de incremento, interação velocidade/inclinação e tempo de teste. Em suma, os testes em rampa vêm sendo aplicados com base na experiência dos avaliadores, sem que haja realmente um 'protocolo' que norteie a sua montagem. Estudos que possam contribuir para o desenvolvimento de critérios mais formais e precisos para a elaboração de protocolos em rampa, portanto, fazem-se necessários.

**Palavras-chave:** ergometria, potência aeróbia, aptidão física, saúde.

## ABSTRACT

The physiological adjustments to exercise have been extensively investigated. Despite the agreement on the importance of cardiopulmonary exercise testing to assess the maximal oxygen uptake capacity ( $\dot{V}O_{2max}$ ), expressive differences within the available protocols may compromise the comparison between studies as well as their clinical or functional utilization. The present study analyzed the most frequently used exercise testing protocols to assess the  $\dot{V}O_{2max}$ , highlighting their pros and cons. Furthermore, the characteristics of staggered protocols were compared to those of individualized models, generally referred as ramp protocols. 102 studies published between 1955 and 2009 were revised. The available studies suggest that ramp protocols would produce better results compared to more traditional staggered tests. However, there is clearly a lack of recommendations regarding the application of such individualized protocols. Very few studies investigated the influence of the testing variables on the main expected results, as  $\dot{V}O_{2max}$  and metabolic transition thresholds. It is not clear yet which is the best strategy to determine the maximal exercise capacity, the initial speed of the test, increment ratio, interaction between speed and treadmill inclination, and total duration of the protocol. In conclusion, exercise ramp protocols have been elaborated based on the evaluator experience, since precise recommendations that would define a real 'protocol' do not exist. Studies that contribute to the development of formal and precise criteria for exercise testing ramp protocols design are therefore necessary.

**Keywords:** ergometry, aerobic power, physical fitness, health.

## INTRODUÇÃO

Testes específicos e válidos às diferentes solicitações de esforço físico são necessários, já que variáveis clínicas e funcionais, aferidas no repouso, não são capazes de prever com exatidão a capacidade de um indivíduo realizar trabalho físico<sup>(1,2)</sup>. Para que os testes forneçam informações adequadas, contudo, é necessário dispor de recursos ca-

pazes de registrar e mensurar de forma precisa as variáveis estudadas. Além disso, essas variáveis devem ser apresentadas de maneira que se possa analisá-las em função de diversos aspectos como idade, sexo, dimensões corporais, nível de aptidão física, entre outros.

No que diz respeito à aplicação de testes para avaliação do metabolismo aeróbio, a variável mais utilizada é o consumo máximo de

oxigênio ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ), considerado por muitos autores um dos melhores indicadores da função cardiorrespiratória<sup>(3,4)</sup>. O  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  pode ser definido como a maior taxa de oxigênio captado, transportado e utilizado pelos músculos durante um trabalho o mais árduo possível<sup>(1,5,6)</sup>. É obtido pela aplicação de teste cardiorrespiratório de exercício, consistindo em uma medida não invasiva estreitamente associada às condições funcionais<sup>(7-9)</sup>. Trata-se, ainda, de variável clínica de exposição epidemiológica capaz de diagnóstico e prognóstico de doença cardiovascular<sup>(8,10-14)</sup>.

A utilização clínica do teste de capacidade funcional tem longa história. Willem Einthoven foi o primeiro a descrever, em 1908, que o exercício produzia depressão do segmento ST<sup>(15)</sup>. Desde então, o exercício como forma de estressar o sistema cardiovascular em situações diagnósticas tem tido papel central na avaliação de pacientes com doença arterial coronariana. O teste de exercício também fornece informações importantes para a prevenção e tratamento de outras condições patológicas, como disfunções pulmonares, intolerância ao esforço, dispnéia de origem primária cardiocirculatória, dispnéia de etiologia pulmonar ventilatória ou de troca gasosa<sup>(16-22)</sup>. Do mesmo modo, trata-se de estratégia importante no diagnóstico e acompanhamento de indivíduos envolvidos em programas de atividades físicas. Isso porque o conhecimento do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  através da aplicação de testes de exercício, auxilia na detecção da capacidade funcional e prescrição da intensidade do esforço em populações com necessidades variadas<sup>(6,23,24)</sup>.

Apesar do consenso sobre a importância do teste ergométrico e da quantificação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ , os protocolos utilizados com esse fim apresentam diferenças expressivas, o que pode comprometer a interpretação dos resultados obtidos nos contextos clínico e funcional<sup>(10,12,25,26)</sup>. Froelicher *et al.*<sup>(27)</sup>, comparando a reprodutibilidade e as respostas fisiológicas de três protocolos máximos, mostraram que, apesar de o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  não ter apresentado diferenças significativas, os tempos de teste para um mesmo protocolo mudavam em cada aplicação. Isso tem importância clínica, visto que a evolução da capacidade funcional dos indivíduos, antes e depois de serem submetidos a tratamentos e/ou cirurgias, era avaliada em função do tempo de permanência nos protocolos. Mais recentemente e ratificando essa possibilidade, Kang *et al.*<sup>(28)</sup> analisaram três protocolos de esteira em 25 indivíduos sedentários e 12 treinados, não tendo observado mudanças significativas no  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  para os sedentários, apesar de ter sido verificada diferença nos tempos de teste. Essas diferenças expressivas entre os protocolos podem comprometer a análise dos resultados obtidos, em uma perspectiva comparativa.

No início da década de 1990, Myers *et al.*<sup>(10)</sup> apresentaram o protocolo em rampa como o meio de superar limitações impostas pelos protocolos escalonados, até então prioritariamente aplicados. Isso se daria em função de o protocolo em rampa levar em consideração a capacidade máxima de exercício individual em sua elaboração, apresentando um aumento constante e contínuo da carga aplicada. O resultado seria uma maior linearidade entre consumo de oxigênio e razão de carga, em comparação com protocolos com incrementos na carga elevados e desiguais<sup>(10,11,25)</sup>. Estudos prévios indicam que protocolos escalonados com variações fortes de incremento de carga resultariam em menor estimativa da capacidade de exercício, principalmente em indivíduos com doenças cardiovasculares<sup>(13,24,29-31)</sup>. Por outro lado, protocolos em rampa induziriam respostas hemodinâmicas e respiratórias mais uniformes, facilitando a obtenção de informações em intensidades submáximas, como o limiar ventilatório<sup>(11,23,32)</sup>.

Apesar dessas vantagens, a aplicação de protocolos em rampa desperta curiosidade quando se examinam os critérios adotados em sua elaboração. Por exemplo, apesar de o desfecho principal do teste ser a capacidade máxima estimada de exercício, não há consenso na literatura quanto às formas de sua determinação. O mesmo acontece

em relação à velocidade inicial do teste, para cuja definição se carece de um critério claro, variando entre a utilização de equações de predição, a utilização do equivalente metabólico (MET) ou a aplicação de teste máximo de exercício prévio, fazendo-se então uso da potência máxima gerada dividida pelo tempo de teste. O incremento de cargas ao longo dos protocolos também é objeto de confusão, principalmente em testes de esteira: não foi possível encontrar uma descrição consensual para a variação harmoniosa de velocidade e inclinação da esteira, apesar de esse aspecto ser fulcral na elaboração de protocolos em rampa.

Na verdade, as recomendações para a aplicação de protocolos em rampa para teste de exercício cardiorrespiratório costumam ser por demais genéricas<sup>(6,13,33,34)</sup>. Em geral, limitam-se a propor que se utilizem incrementos pequenos e contínuos na potência de trabalho, velocidade e/ou inclinação de esteira, em intervalo de tempo situado entre oito e 12 minutos. Por outro lado, em protocolos escalonados mais tradicionais, recomendações detalhadas são fornecidas, como é possível verificar nos testes de Bruce, Balke-Ware e Naughton, dentre outros<sup>(6,33)</sup>. Pode-se afirmar, então, que se carece de um real "protocolo" para testes em rampa, o que dificulta a sua aplicação e comparação de resultados em distintas populações e situações de treinamento.

Assim, o objetivo do presente estudo é analisar os aspectos dos principais protocolos utilizados na determinação da capacidade máxima de exercício com ênfase no protocolo em rampa, destacando suas limitações e propondo alternativas que possam ser usadas no delineamento mais preciso desse tipo de protocolo. Para tanto, o texto é dividido em três partes. Na primeira, é descrita a utilização de protocolos para determinar a capacidade máxima de exercício. A seguir são analisados os critérios usados na literatura para determinação das velocidades inicial, final e da razão de incremento das cargas nos protocolos em rampa, levantando suas deficiências. Por fim, são tecidas considerações no sentido de se levantarem questões a serem investigadas em estudos visando o aperfeiçoamento da elaboração e aplicação de protocolos em rampa.

## Protocolos tradicionais

O primeiro protocolo de exercício em esteira rolante para medida do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  consistiu na utilização de cargas de trabalho intermitentes, progressivas e separadas por dias, designado para indivíduos saudáveis<sup>(27)</sup>. De acordo com Taylor *et al.*<sup>(35)</sup>, o procedimento se justificaria desde que as cargas fossem próximas das máximas e pudessem influenciar os esforços subsequentes. O objetivo do protocolo era que o indivíduo terminasse em carga na qual o aumento do consumo de oxigênio não pudesse mais ser verificado, sendo este considerado o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . De acordo com Froelicher *et al.*<sup>(27)</sup>, isso se estendia por vários dias, tornando o teste inconveniente e impraticável. Talvez por isso, Mitchell *et al.*<sup>(36)</sup> tenham optado por adaptar o protocolo de Taylor, separando seus estágios por intervalos de 10 minutos. Demonstrou-se que a reprodutibilidade do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  em comparação com o protocolo original, era a mesma, o que facilitaria muito sua aplicação.

Outros investigadores, todavia, acreditavam que o protocolo contínuo era a proposta mais conveniente. Nessa linha de raciocínio, o protocolo de esteira de Balke representou uma evolução. Balke justificava sua preocupação com a aptidão física, em virtude das mudanças que estavam ocorrendo com o surgimento da automação no trabalho, nos meios de transporte e em várias atividades do dia a dia, levando a uma redução significativa do esforço e, conseqüentemente, da realização de exercício físico. Publicado no final da década de 1950<sup>(37)</sup>, o protocolo de teste consistia em um aquecimento correspondente a aproximadamente 4METs e, a partir daí, o indivíduo caminhava a uma velocidade de 3,3mph, tendo a carga de trabalho intensificada a cada minuto pelo aumento da

inclinação da esteira rolante em 1% de grau. O critério adotado para interrupção do teste baseava-se na frequência cardíaca, em 180bpm. De acordo com *Balke e Ware*<sup>(37)</sup>, raros eram os testes em que este critério não podia ser adotado, apesar de, em algumas ocasiões, limitações respiratórias, mesmo em frequências cardíacas reduzidas, eram utilizadas como indicadores para interrupção. Depreende-se disso que, apesar de o protocolo de Balke ter produzido dados interessantes, oferecendo uma classificação para capacidade de trabalho em função do consumo de oxigênio em relação ao peso, idade ou estado de treinamento, ainda estava longe de ser um teste com características máximas.

Seguindo princípios parecidos com os de Balke, outro protocolo que se propunha a avaliar a função cardiovascular foi o desenvolvido por Bruce *et al.*<sup>(38)</sup>. Nele, buscou-se isolar a influência cardiovascular no  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ , classificando os indivíduos como sedentários ou ativos em função de seus hábitos de exercício. O protocolo era composto por seis estágios, com início a 1,7mph a um percentual de inclinação de 10% de grau. A partir daí, impunham-se acréscimos à velocidade que não respeitavam a mesma razão de incremento, ainda que esta permanecesse entre 0,5 e 0,8mph. Apesar de a velocidade não apresentar aumentos uniformes durante o teste, a inclinação, que se iniciava a 10% de grau, tinha seus valores alterados sempre a uma razão de 2% de grau. O tempo era constante para cada estágio, com mudanças na velocidade e inclinação a cada três minutos. O critério de interrupção estava associado à fadiga, dificuldades na respiração, cansaço muscular, dor no peito ou qualquer outro sintoma limitante do esforço. Além disso, os avaliados eram instruídos a se apoiarem no corrimão da esteira caso isso representasse a manutenção da posição ou uma medida de segurança. No entanto, deveriam utilizar no máximo dois dedos para tanto e nunca por mais de três minutos<sup>(39)</sup>.

Posteriormente, Ellestad *et al.*<sup>(40)</sup> propuseram um teste de estresse máximo como padrão para a avaliação cardiovascular. Foram analisados testes realizados por 1.000 indivíduos com idades entre sete e 83 anos, destacados dentre 4.028 previamente aplicados pela divisão de fisiologia clínica do *Long Beach Memorial Hospital*. Idealizado para esteira rolante, o protocolo era dividido em quatro estágios e a carga imposta apresentava uma inclinação de 10% de grau, fixa para todos os estágios, tendo o primeiro uma duração de três minutos a uma velocidade de 1,7mph. O segundo estágio apresentava um decréscimo de um minuto no tempo, com aumento de 1,3mph da velocidade inicial. A partir daí, o tempo era mantido em dois minutos e a velocidade elevada para 4mph e 5mph, sucessivamente. O protocolo era dado como encerrado quando o indivíduo atingisse a exaustão, apresentasse diminuição significativa da pressão arterial, alteração significativa do segmento ST (infra ou supradesnivelamento), dor precordial, múltiplas contrações ventriculares prematuras ou taquicardia ventricular. Caso nenhum desses sinais ou sintomas acontecesse, os indivíduos eram persuadidos a continuarem até atingirem 95% da frequência cardíaca máxima predita para a idade.

Apesar de tais protocolos serem apresentados como testes visando determinar o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ , na verdade todos continham características que comprometiam a sua aferição. O protocolo de *Balke*, apesar de mostrar-se o mais coerente quanto à evolução do teste, normalmente era muito longo, levando o indivíduo à fadiga precoce por conta da velocidade e aumento na inclinação, principalmente nos indivíduos com condicionamento físico reduzido. Além disso, caso nenhum problema compromettesse o teste, seu término estava associado a uma frequência cardíaca por volta de 180bpm, o que poderia subestimar ou superestimar a determinação do consumo máximo de oxigênio. Com isso, perdia-se a característica de teste máximo, já que se tomava como base uma frequência cardíaca predeterminada. O protocolo de

Bruce, apesar de ter como um dos critérios de interrupção a exaustão voluntária máxima, caso nenhum problema acarretasse sua suspensão, apresentava aumentos abruptos na carga. Com isso, a fadiga de membros inferiores poderia ser antecipada, contribuindo para subestimar o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . A proposta de Ellestad *et al.*<sup>(40)</sup> assemelhava-se muito ao protocolo de Bruce. No entanto, apesar de a inclinação (10% de grau) após o primeiro estágio não aumentar mais durante todo o teste, à medida que a velocidade aumentava dificuldades eram observadas para os indivíduos destreinados, que apresentavam desconforto na musculatura de panturrilha<sup>(40)</sup>. Além disso, o teste era encerrado quando o indivíduo atingia 95% da frequência cardíaca máxima predita para a idade, o que fere um princípio básico do teste de exercício cardiorrespiratório máximo, qual seja, a exaustão voluntária.

Em suma, esses protocolos iniciais tinham como característica comum o objetivo de quantificar a capacidade máxima de exercício através do consumo máximo de oxigênio. No entanto, diferenças na razão de incremento, tempo de permanência em cada carga, inclinação ou tempo total de teste comprometiam a comparação de dados entre indivíduos e, até mesmo, em uma série de testes para um mesmo indivíduo<sup>(27,28,37,39-42)</sup>.

### Protocolo em rampa

Possibilitado pelo avanço tecnológico, o protocolo de rampa surgiu como uma proposta inovadora, por conseguir trabalhar os elementos constituintes de um protocolo (razão de incremento, tempo de permanência em cada carga, velocidade, inclinação e tempo total de teste) de maneira mais harmoniosa<sup>(10,14,32,43,44)</sup>. Isso porque, a partir do momento em que se pode determinar velocidade inicial, final, tempo de teste, razão de incremento e inclinação, é possível individualizar o teste. Assim, se não houver mudanças na captação máxima de oxigênio – apesar das adaptações que podem ocorrer na eficiência mecânica em cargas submáximas<sup>(27)</sup> –, as mudanças ocorridas no tempo de teste provavelmente não seriam significativas. Com isso, haveria uma maior precisão na análise do condicionamento cardiorrespiratório quando associado ao tempo de permanência no teste, como é feito com os protocolos contínuos. Além disso, seria facilitada a comparação de dados entre indivíduos, independentemente da velocidade inicial, final, tempo de teste, razão de incremento e inclinação, pois os critérios de montagem adotados para a evolução da sobrecarga seriam os mesmos.

Os protocolos em rampa referem-se a testes incrementais de exercício nos quais a potência aplicada é elevada de forma contínua e constante em um dado intervalo de tempo<sup>(2,6,10)</sup>. Em uma esteira rolante, por exemplo, isso se daria através da velocidade, da inclinação ou da combinação de ambas as variáveis. O primeiro estudo propondo a utilização de um protocolo de teste de exercício nesses moldes foi realizado por Whipp *et al.*<sup>(32)</sup>. O teste foi conduzido em cicloergômetro, com duração de quatro a oito minutos. Os resultados revelaram que o protocolo de rampa reproduziu fielmente os parâmetros utilizados em vários procedimentos para obtenção da máxima capacidade funcional, o que levou os autores a recomendar sua utilização.

No entanto, a primeira proposta específica de um protocolo em rampa foi apresentada por Myers *et al.*<sup>(10)</sup>. Os autores compararam testes em cicloergômetro e esteira rolante aos protocolos mais comuns de uso clínico. Foram observados 10 pacientes com insuficiência cardíaca crônica, 11 com coronariopatia limitados por angina durante o exercício, 10 com coronariopatia assintomáticos durante o exercício e 10 indivíduos saudáveis, pareados pela idade. Os sujeitos realizaram três testes de bicicleta (25W por etapa de dois min, 50W por estágio de dois min e rampa) e três em esteira (Bruce, Balke e rampa), em ordem aleatória e dias diferentes. Para os testes em rampa, as razões de incre-

mento para bicicleta e esteira eram individualizadas, de forma a gerar testes com duração aproximada de 10 minutos.

Alguns aspectos relacionados à utilização de um protocolo em rampa puderam ser destacados a partir dos resultados obtidos por Myers *et al.*<sup>(10)</sup>: em primeiro lugar, os erros associados ao  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  a partir de grandes incrementos de carga teriam sido minimizados. Adicionalmente, os protocolos em rampa produziram melhor relação linear entre o consumo de oxigênio e a razão de carga aplicada, além de melhor relação entre a redução do consumo de oxigênio e a razão de carga devido à doença coronariana. O estudo propôs, ainda, que, apesar de curtos testes de exercício causarem discrepância entre o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  e a razão de carga, protocolos com duração de aproximadamente 10 minutos minimizariam esse problema, mostrando-se uma boa opção para os testes em rampa. Enfim, o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  seria determinado com maior precisão por protocolos curtos com pequenos incrementos de carga.

Apesar de os resultados do estudo terem aberto uma nova perspectiva para a aplicação de testes de exercício, os autores salientaram que a grande limitação na utilização do protocolo em rampa estava associada à dificuldade de desenvolvimento de *softwares* e esteiras que permitissem seu amplo emprego<sup>(10)</sup>. Posteriormente, Myers *et al.*<sup>(25)</sup>, tendo como foco a individualização do protocolo em esteira, realizaram um estudo com 173 homens e 27 mulheres. Neste estudo foi reafirmada a utilização do tempo de 10 minutos como ótimo para o protocolo em rampa. Em adição, apresentou-se um questionário específico como forma rápida de estimar a capacidade de exercício, obtendo-se parâmetros para montagem do protocolo sem a necessidade de aplicação prévia de teste máximo de exercício.

O avanço tecnológico na produção de esteiras rolantes e no desenvolvimento de *softwares* expandiu-se, permitindo a utilização de protocolos em rampa de forma mais fácil<sup>(1,14,23,25,43-46)</sup>. Essa disseminação refletiu-se nas recomendações de documentos publicados por agências normativas, dedicados à aplicação de testes e prescrição de exercícios de forma geral<sup>(6,13,33,34)</sup>. No entanto, essas recomendações permanecem por demais genéricas, dificultando a sua aplicação em situações específicas. Em outras palavras, é difícil defender que existem, realmente, indicações de protocolos para testes em rampa, nos moldes encontrados para testes mais tradicionais, como os de Bruce, Ellestad, ou Balke-Ware.

Talvez seja mais correto afirmar que a denominação “protocolos em rampa” traduz um conjunto de princípios que dão base fisiológica a certa abordagem para o delineamento de testes de exercícios – uma vez respeitados esses princípios, cada avaliador elabora o seu, com base em sua experiência e conhecimento. Se, por vezes, isso traz certa flexibilidade na condução de testes, também causa problemas. Avaliadores inexperientes, por exemplo, têm grande chance de errarem na escolha da razão de incremento de cargas, velocidade inicial e tempo de teste, considerando o grau de condicionamento físico do sujeito testado ou os propósitos da avaliação. Além disso, a falta de procedimentos padronizados dificulta a comparação entre os resultados de testes. Isso, aliás, explica a popularidade mantida de protocolos como o de Bruce, cujos resultados são facilmente comparáveis e contam com bases de dados extensas em diversos centros de avaliação. A próxima seção, assim, dedica-se à análise dos problemas para a elaboração de protocolos em rampa e como os estudos disponíveis os vêm tratando.

### Problemas associados ao delineamento de protocolos em rampa

Apesar de sua difusão, o protocolo em rampa apresenta características que não estão bem definidas e que são, por outro lado, fundamentais para sua aplicação. Dentre elas, destacam-se: qual a velocidade inicial a ser aplicada? Qual a melhor maneira de determinar a capacidade máxima de exercício para ser utilizada como critério na montagem

do protocolo? Qual a melhor razão de incremento das cargas? Que grau de inclinação é mais adequado? Quanto tempo deve durar o teste?

O quadro 1 apresenta as recomendações de alguns documentos norteadores, publicados por agências normativas, para a realização de um teste de exercício em esteira rolante, tomando-se como base o protocolo em rampa. Observando-se as recomendações preconizadas pelas entidades normativas mencionadas no quadro 1, nota-se que o único critério que, de certa forma, fornece uma padronização, refere-se ao tempo de teste, que deveria manter-se entre seis e 12 minutos. Com exceção das recomendações da *American Heart Association*, um pouco mais detalhadas, mas ainda assim insuficientes, os documentos são incapazes de traduzir a magnitude da relação entre velocidade inicial, velocidade final, razão de incremento, grau de inclinação e tempo de teste na determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . Em outras palavras, há carência de um real “protocolo” para o delineamento de testes em rampa.

O quadro 2 apresenta os resultados de um levantamento dos princípios norteadores da elaboração de protocolos em rampa, extraídos de alguns estudos que se valeram desse tipo de teste, desde a proposta inicial de Myers *et al.*<sup>(10)</sup>.

Examinando os trabalhos selecionados, a única característica que parece ser comum a todos – ainda que apresentada em diversos formatos – é a determinação da capacidade máxima de exercício (Quadro 2). Apesar de Myers *et al.*<sup>(10,25)</sup> fazerem uso de teste máximo para esse fim, em 1992 propõem a utilização de questionário. Posteriormente, Myers *et al.*<sup>(47)</sup> apresentaram um nomograma para prever a capacidade de exercício a partir de atividades específicas. No entanto, apesar dos bons resultados apresentados pelos autores, a amostra estudada era extremamente específica – indivíduos com problemas cardíacos, hipertensos e com excesso de peso (IMC =  $28 \pm 5 \text{ kg/m}^2$ ). Além disso, não foi utilizado nenhum sistema padrão para medida do consumo máximo de oxigênio e uma posterior correlação entre os valores preditos pelo questionário e aqueles medidos de forma direta. Mesmo assim, o questionário continuou sendo largamente utilizado, validado apenas sete anos depois de sua aparição<sup>(48)</sup>.

Analisando-se trabalhos posteriores que fizeram uso de protocolos em rampa, observa-se que, em sua grande maioria, o critério adotado para elaborá-lo foi a aplicação prévia de teste máximo de exercício (Quadro 2)<sup>(9,11,14,43,46,49-51)</sup>. Ora, a escolha de um protocolo se dá, em grande parte, em função de sua aplicabilidade. Por razões evidentes, não é prática uma avaliação na qual o sujeito precisa realizar dois testes máximos. Por outro lado, como fazer uso de um questionário que, mesmo depois de validado e revisado<sup>(48,52)</sup>, continua sendo específico para uma determinada população? A literatura não carece de trabalhos que mostram a importância da determinação da capacidade máxima de exercício na elaboração de um protocolo individualizado; contudo, a forma pela qual isso é feito dificilmente é descrita de maneira clara.

Outro elemento importante é o incremento de cargas durante o teste. Apesar de fundamental para o seu delineamento, essa variável também tem sido pouco estudada. Grande parte das pesquisas trabalhou com velocidades fixas, promovendo incremento na inclinação da esteira rolante. O curioso é que esta inclinação variou em alguns estudos de 0 a 29% de grau<sup>(11,26,43,47-49,53)</sup>. Midgley *et al.*<sup>(26)</sup>, em estudo analisando a utilização do tempo de teste de exercício entre oito e 12 minutos, recomendam que os testes em esteira rolante não ultrapassem 15% de grau na inclinação. Contudo, mais uma vez não fica claro o motivo de tal recomendação.

A crítica que se faz ao protocolo de Bruce<sup>(38)</sup> recai exatamente sobre a razão de incremento empregada no teste, a qual pode influenciar no padrão das respostas fisiológicas. Protocolos com essa natureza frequentemente superestimam a capacidade aeróbia máxima, quando

**Quadro 1.** Recomendações para realização de testes para medida da capacidade máxima de exercício utilizando protocolo em rampa em esteira rolante.

Documento	Critério para montagem do protocolo	Velocidade inicial	Razão de incremento na velocidade	Razão de incremento na inclinação	Tempo de teste	Observações
American Heart Association (2001) <sup>(33)</sup>	Estima a capacidade funcional (CF) a partir de escala de atividades, mas não a apresenta	Baixa	Aumento gradual até o indivíduo estar correndo a passos largos (good stride)	Início a 0 grau, com aumentos progressivos em tempo fixo (10 a 60 segundos)	6 – 12 min.	- Ocasionalmente o teste pode ser encurtado ou prolongado em função de erros na predição da CF, comprometendo os resultados.
American College of Cardiology e a American Heart Association (2002) <sup>(13)</sup>	-	-	-	-	6 – 12 min.	- A vantagem em personalizar o protocolo é realizá-lo entre seis e 12 minutos. - O protocolo em rampa permite o aumento de carga de forma gradual, melhorando assim a determinação da CF.
American Thoracic Society/American College of Chest Physicians (2003) <sup>(34)</sup>	-	1,0 a 1,6 km.h <sup>-1</sup>	Intervalos regulares	Intervalos regulares	-	- O protocolo em esteira pode ser montado semelhantemente ao protocolo de rampa em bicicleta.
American College of Sports Medicine (2009) <sup>(6)</sup>	Predizer a CF	-	Contínua e progressiva	Contínua e progressiva	8 – 12 min.	- O protocolo em rampa é um modelo de teste que trabalha com cargas contínuas e progressivas. - Aumento de 1 a 3% por minuto no grau de inclinação a uma velocidade constante (2,4 a 4,0km/h) podem ser utilizados no protocolo em rampa para indivíduos descondicionados.

**Quadro 2** – Princípios utilizados para a montagem de protocolos em rampa para determinação do consumo máximo de oxigênio ( $\dot{V}O_{2max}$ ) em diversos estudos: critério para montagem do protocolo, velocidade inicial (VI), razão de incremento na velocidade (RIV), razão de incremento na inclinação (RII), velocidade final (VF) e tempo de teste (TT).

Estudo	Critério para montagem do protocolo	VI	RIV	RII	TT
Myers et. al. <sup>10</sup> (1991)	Realização de teste máximo Bicicleta e esteira	-	$\dot{V}O_{2max}$ no 1º teste. Bicicleta e esteira	$\dot{V}O_{2max}$ no 1º teste. Bicicleta e esteira	≅ 10 minutos
Myers et. al. <sup>25</sup> (1992)	Realização de teste máximo	3,2 km.h <sup>-1</sup>	1) $\dot{V}O_{2max}$ . 2) velocidade de pico para caminhada 3) projeção para 10 minutos de teste	1) $\dot{V}O_{2max}$ . 2) velocidade de pico para caminhada 3) projeção para 10 minutos de teste	≅ 10 minutos
Kaminsky et. al. <sup>11</sup> (1998)	Utilizou Protocolo de Bruce no formato rampa	Intensidade de ≅2 METs	A cada 20 seg. até a vel. de cada estágio (Bruce original)	A cada 20 seg. até a inclinação de cada estágio (Bruce original)	≅ 5 a 16 min.
Silva e Sobral Filho, <sup>14</sup> (2003)	Individualizado com razão de incremento ajustada para durar ≅ 10 min.	Determinada pelo <i>software</i> Micromed Ergo PC-13/Ergo PC Elite	Para manter o tempo de teste (10 min), ajustes na velocidade e inclinação sugeridos pelo sistema Micromed foram feitos, de modo que jovens atingissem $\dot{V}O_{2max}$ 20 a 30% e idosos cerca de 10% acima do previsto		≅ 10 minutos
Maeder et. al. <sup>9</sup> (2005)	Determinação da capacidade máxima de exercício (VSAQ) Bicicleta e esteira	Para bicicleta a equação: (METs nomograma – 1) x (massa corporal [kg])/3,486. Para esteira foram predefinidos 5 protocolos em rampa em função da capacidade de exercício variando entre 9 e 17 METs. A escolha se dava pelo protocolo que alcançasse a máxima capacidade de exercício predita pelo VSAQ, em função da idade.			≅ 8 e 12 min.
Yoon, Kravitz e Robergs, <sup>46</sup> (2007)	Realização de um teste máximo. Bicicleta	MPTF dividida pelo tempo de teste.	MPTF (W)/t (min) x Constante. Constantes = 1,2; 1,1; 1,0; 0,9	-	≅ 5 e 16 min.
Azevedo et al. <sup>51</sup> (2007)	Capacidade máxima de exercício de cada atleta.	-	Incrementos realizados a cada minuto, de acordo com a capacidade máxima de exercício individual, para um tempo de teste entre 8 e 17 minutos.		≅ 8 e 17 min.

vel.= velocidade; incl. = inclinação; VSAQ = Veteran Specific Activity Questionnaire; MPTF = Máxima Potência gerada no Teste de Familiarização.

esta é estimada a partir do tempo de exercício ou carga de trabalho atingida. A fadiga precoce de membros inferiores também tem mais chance de ocorrer em decorrência de grandes incrementos de carga<sup>(6,10)</sup>. Pois bem, é lógico assumir que, em um protocolo em rampa, os incrementos devam ser contínuos e com aumento constante, diferentes de protocolos similares ao tradicional de Bruce. No entanto, é perfeitamente factível que uma inclinação elevada prejudique a execução do teste, levando-o a incrementos de carga igualmente bruscos e acentuados, principalmente em se tratando de indivíduos sedentários. Nesse caso, se o critério adotado para a determinação da velocidade inicial não é claro (quadro 2), isso poderá possivelmente influenciar a razão de incremento adotada, principalmente se esta conjugar velocidade e inclinação.

Jones e Doust<sup>(54)</sup> verificaram o custo energético de uma corrida em ambiente aberto e fechado e mostraram que seria similar a quando se utiliza uma esteira rolante a 1% de grau na inclinação. Isso desde que a velocidade da corrida em ambiente aberto esteja entre 2,9 e 5,0m.s<sup>-1</sup> e a duração acima de cinco minutos, equivalendo a uma corrida entre 10,5 e 18,0km.h<sup>-1</sup>. Åstrand e Rodahl<sup>(55)</sup> advertem que nem mesmo atletas excepcionais conseguiriam correr a uma velocidade próxima à máxima velocidade de corrida, por mais de sete minutos, com uma inclinação de aproximadamente 2,67% de grau a cada três minutos. Assim, pergunta-se: é possível que todos os indivíduos sedentários ou não atletas suportem incrementos desta natureza (por minuto) até o fim de um protocolo em rampa com aproximadamente 10 minutos de duração? Provavelmente, não.

Aliás, o tempo de teste também é um fator a ser discutido. Apesar de ser a variável em relação à qual haja mais consenso na literatura, vários estudos indicaram como tempo ótimo para um teste máximo de exercício o limite de 10 minutos (quadro 2). Um estudo clássico, considerado referência na questão do tempo de protocolo, foi publicado por Buchfuhrer *et al.*<sup>(49)</sup>. Nele, os autores testaram 20 indivíduos saudáveis, em cinco protocolos diferentes. Esses protocolos faziam uso de duas velocidades (3,4mph e 4,5mph) para distintas variações de inclinação por minuto (0,8%, 1,7%, 2,5%, 4,2%, 1,7%, 4,2%). Os autores dividiram os testes em curtos, intermediários e longos, mostrando que os resultados situados entre oito e 17 minutos eram os que produziam os maiores valores de  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . Sugeriram, então, que os protocolos fossem elaborados para que a tolerância máxima ao esforço se desse em 10 minutos. Billat *et al.*<sup>(56)</sup>, em estudo verificando o efeito do protocolo na determinação da velocidade de  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  ( $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ ) e tempo de exaustão em atletas de corrida de longa duração, relataram um tempo de teste para  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  entre 5,45 ± 2,00 min e 6,13 ± 2,49 min. Em outro estudo, Astorino *et al.*<sup>(50)</sup> não encontraram diferença significativa para o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  entre protocolos curto e médio (7,38 ± 0,60 min e 10,50 ± 0,87 min, respectivamente). Sugeriu-se, então, também como tempo ótimo para a obtenção do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  uma faixa de sete a 10 minutos.

Mais recentemente, Yoon *et al.*<sup>(46)</sup> fizeram críticas ao estudo de Buchfuhrer *et al.*<sup>(49)</sup>, ressaltando problemas metodológicos que impossibilitariam a verificação da influência do tempo de protocolo na determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . Alegou-se, por exemplo, que apesar de Buchfuhrer *et al.*<sup>(49)</sup> terem utilizado uma amostra com 12 sujeitos, fizeram uso de apenas cinco para determinar a influência do tempo de duração do protocolo na determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . Além disso, o mais alto  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  para a amostra avaliada foi atingido com oito minutos de teste e 88% dos sujeitos conseguiram reproduzir para esse tempo o  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  alcançado na avaliação inicial.

Midgley *et al.*<sup>(26)</sup> realizaram um levantamento com 12 estudos que analisaram a determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  a partir de testes incrementais para diferentes tempos de teste em cicloergômetro e esteira rolante

(cinco e nove estudos, respectivamente). Em suas conclusões, os autores relatam que o estudo de Buchfuhrer *et al.*<sup>(49)</sup> foi utilizado para formar uma visão dogmática de que o tempo de teste de exercício incremental deveria durar entre oito e 12 minutos. Por outro lado, evidências mais atuais sugeririam que, para a obtenção do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  em cicloergômetro e esteira rolante, o mesmo deveria oscilar, respectivamente, entre sete e 26 e cinco e 26 minutos. Além disso, Midgley *et al.*<sup>(26)</sup> advertiram que a eficiência dos testes de curta duração estaria associada à qualidade do aquecimento realizado antes do teste.

Na verdade, o exame da literatura não permite conclusões tão peremptórias. Em primeiro lugar, não foi possível identificar uma relação de dogma na utilização do tempo para teste de exercício incremental entre oito e 12 minutos. O próprio estudo de Buchfuhrer *et al.*<sup>(49)</sup> já indicava que possíveis fatores associados à redução do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  em função do maior tempo de teste, poderiam incluir alta temperatura corporal, maior desidratação, diferença na utilização de substratos ou fadiga da musculatura ventilatória. Isso levou à recomendação de uma faixa de duração para os testes incrementais, de 10 ± 2 minutos. Outros estudos relataram que um menor  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$  em função do tempo poderia estar relacionado a mudanças na temperatura no músculo, oferta de O<sub>2</sub> e equilíbrio ácido-base, recomendando a utilização de uma faixa entre oito e 12 minutos para a realização de teste de exercício em indivíduos ativos e atletas de longa distância<sup>(46,50)</sup>.

Em segundo lugar, quando se analisam os estudos disponíveis, verifica-se que os maiores tempos de teste associam-se a baixas velocidades (< 6,0km/h) e razões de inclinação (0,8%/1min). O inverso também é verdadeiro, ora pela ação da associação de velocidade/inclinação, ora pelo aumento em apenas uma dessas variáveis. É bem verdade que isso parece não acarretar diferenças significativas na determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . No entanto, fica a dúvida: será que diferenças tão grandes na relação velocidade/inclinação não influenciariam a determinação de variáveis secundárias, como a relação de consumo de oxigênio para cargas submáximas e limiares ventilatórios? Infelizmente, isso ainda não está claro na literatura.

Em suma, existe uma carência de critérios objetivos que favoreçam a montagem de protocolos em rampa. Protocolos que dependam apenas da experiência do avaliador para sua ótima aplicação não parecem ser adequados. Enquanto a montagem dos protocolos considerarem isoladamente aspectos como o tempo de teste, a velocidade de teste e o percentual de inclinação, delineamentos precisos e reprodutíveis não poderão ser estabelecidos. Assim, talvez o melhor protocolo seja aquele que consiga combinar todas as variáveis da rampa de forma integrada, possibilitando uma melhor determinação do  $\dot{V}O_{2m\acute{a}x}$ . Estudos que possam contribuir com a definição de critérios mais formais e precisos para a elaboração de testes em rampa são muito raros. Um maior investimento em investigações nesse campo é, desse modo, necessário.

## CONCLUSÃO

A revisão da literatura revela que os documentos e estudos disponíveis não logram propor recomendações que permitam com que qualquer avaliador, independentemente de sua experiência na condução de testes cardiorrespiratórios de exercício, possa elaborar com segurança protocolos em rampa. Em outras palavras, conforme previamente mencionado, na acepção pura do termo não existe um protocolo definido para a montagem de testes de exercício em rampa, ao menos nos moldes em que existe para testes como o de Bruce, Balke, Naughton, Ellestad e tantos outros.

Em termos práticos, é forte a probabilidade de exames serem mal aplicados ou, simplesmente, perdidos, em função de uma definição inadequada da capacidade máxima de exercício, variável fundamental

na predição da velocidade inicial, velocidade final, razão de incremento (esteira rolante: velocidade e inclinação; cicloergômetro: carga em watts) e, portanto, tempo de teste. Além disso, a carência de recomendações mais formais para as variáveis envolvidas no teste reduz a sua reprodutibilidade, dificultando sobremaneira a comparação dos resultados obtidos por diferentes protocolos.

Estudos que venham a buscar formas mais precisas para a determinação da capacidade máxima de exercício representarão um grande passo na criação de critérios para montagem de protocolos em rampa. Além disso, pesquisas que se debruçam sobre a interação velocidade/inclinação e tempo de teste são fundamentais para estabelecer critérios

a serem respeitados quando da montagem de um protocolo em rampa, mantendo sua principal característica, qual seja, a individualização do protocolo sem prejudicar a análise e comparabilidade dos resultados obtidos como um todo.

## AGRADECIMENTOS

Estudo financiado pela FAPERJ (processo E-26/150.751/2007) e pelo CNPq (processo 305729/2006-3).

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

## REFERÊNCIAS

- Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports* 2000;10:123-45.
- Neder JA, Nery LE. *Fisiologia Clínica do Exercício – teoria e prática*. Artes Médicas: São Paulo, 2003.
- Basset DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:70-84.
- Snell PG, Stray-Gundersen J, Levine BD, Hawkins MN. Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:103-7.
- Howley ET, Basset DR, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27:1292-301.
- American College of Sports Medicine (ACSM). *Guidelines of exercise testing and exercise prescription*. 8<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 2009.
- Carter H, Jones AM, Barstow TJ, Burnley M, Williams GA, Doust JH. Oxygen uptake kinetics in treadmill running and cycle ergometry: a comparison. *J Appl Physiol* 2000;89:899-907.
- Peterson MJ, Pieper CF, Morey MC. Accuracy of VO<sub>2</sub>max prediction equations in older adults. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:145-9.
- Maeder M, Wolber T, Atefy R, Gadza M, Ammann P, Myers J, et al. Impact of the exercise mode on exercise capacity: bicycle testing revisited. *Chest* 2005;128:2804-11.
- Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, Froelicher VF. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol* 1991;17:1334-42.
- Kaminsky LA, Whaley MH. Evaluation of a new standardized ramp protocol: the BSU/Bruce ramp protocol. *J Cardiopulmonary Rehabil* 1998;18:438-44.
- Ashley EA, Myers J, Froelicher V. Exercise testing in clinical medicine. *Lancet* 2000;356:1592-7.
- Gibbons RJ, Balady GJ, Bricker JT, Chaitman BR, Fletcher GF, Froelicher VF, et al. ACC/AHA Guideline update for exercise testing: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Exercise Testing). 2002.
- Silva OB, Sobral Filho DC. A new to guide velocity and inclination in the ramp protocol for the treadmill ergometer. *Arq Bras Cardiol* 2003;81:48-53.
- Ashley EA, Myers J, Raxwal V, Froelicher V. Advances in exercise testing. *International Journal of Bioelectromagnetism* 2000; 1 (2) <<http://ijbem.khosei.ac.jp/volume2/number1/art7.htm>> .
- Schrijen F, Ferrara G, Romero CP, Sadoul P. Is it possible to predict pulmonary arterial hypertension from an exercise test? *G Ital Cardiol* 1984;14 Suppl 1:50-60.
- Martinez, FJ, Stanopoulos I, Acero R, Becker FS, Pickering R, Beamis JF. Graded comprehensive cardiopulmonary exercise testing in the evaluation of dyspnea unexplained by routine evaluation. *Chest* 1994;105:168-74.
- Carone M, Patesio A, Appendini L, Purro A, Czernicka E, Zanaboni S, et al. Comparison of invasive and noninvasive saturation monitoring in prescribing oxygen during exercise in COPD patients. *Eur Respir J* 1997;10:446-51.
- European Respiratory Society (ERS) Task Force. Clinical exercise testing with reference to lung diseases: indications, standardization and interpretation strategies. *Eur Respir J* 1997;10:2662-89.
- Hansen JE, Wasserman K. Exercise testing in patients with interstitial lung disease. *Chest* 1998;113:1148-9.
- Myers J, Gullestad L, Vagelos R, Do D, Bellini D, Ross H, Fowler MB. Clinical, hemodynamic, and cardiopulmonary exercise test determinants of survival in patients referred for evaluation of heart failure. *Ann Intern Med* 1998;129:286-93.
- Myers J, Gullestad L, Vagelos R, Do D, Bellini D, Ross H, Fowler MB. Cardiopulmonary exercise testing and prognosis in severe heart failure: 14 mL/kg/min revisited. *Am Heart J* 2000;139:78-84.
- Myers J, Bellin D. Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. *Sports Med* 2000;30:23-9.
- Froelicher VF, Myers JN. *Exercise and the heart*. 4<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Saunders Company, 2000.
- Myers J, Buchanan N, Smith D, Neutel J, Bowes E, Walsh D, Froelicher VF. Individualized ramp treadmill: observations on a new protocol. *Chest* 1992;101:236-41.
- Midgley AW, Bentley DJ, Luttikholt H, McNaughton LR, Millet GP. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO<sub>2</sub>max determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med* 2008;6:441-7.
- Froelicher VF, Jr, Brammell H, Davis G, Nogueira I, Stewart A, Lancaster MC. A comparison of the reproducibility and physiologic to three maximal treadmill exercise protocols. *Chest* 1974;65:512-7.
- Kang J, Chaloupka EC, Mastrangelo MA, Biren GB, Robertson RJ. Physiological comparisons among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *Eur J Appl Physiol* 2001;84:291-5.
- Redwood DR, Rosing DR, Goldstein RE, Beiser GD, Epstein SE. Importance of the design of an exercise protocol in the evaluation of patients with angina pectoris. *Circulation* 1971;43:618-28.
- Webster MWI, Sharpe DN. Exercise testing in angina pectoris: the importance of protocol design in clinical trials. *Am Heart J* 1989;117:505-8.
- Working Group Report (WGR). Recommendations for exercise testing in chronic heart failure patients. *Eur Heart J* 2001;22:37-45.
- 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.
- Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, Eckel R, Fleg J, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation* 2001;104:1694-740.
- American Thoracic Society (ATS)/American College of Chest Physicians (ACCP). ATS/ACCP Statement on cardiopulmonary exercise testing. *Am J Respir Crit Care Med* 2003;167:211-77.
- Taylor HL, Buskirk E, Henschel A. Maximal oxygen intake as an objective measurement of cardiorespiratory performance. *J Appl Physiol* 1955;8:73-80.
- Mitchell JH, Sproule BJ, Chapman CB. The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J Clin Invest* 1958;38:47.
- Balke B, Ware RW. An experimental study of "Physical Fitness" of air force personnel. *US Armed Forces Med J* 1959;10:675-88.
- Bruce RA, Blackman JR, Jones JW. Exercise testing in adult normal subjects and cardiac patients. *Pediatrics* 1963;32:742-55.
- Bruce RA. Exercise testing of patients with coronary heart disease, principles and normal standards for evaluation. *Ann Clin Res* 1971;3:323-32.
- Ellestad MH, Allen W, Wan MCK, Kemp GL. Maximal treadmill stress testing for cardiovascular evaluation. *Circulation* 1969;39:517-22.
- Froelicher VF Jr, Thompson AJ, Davis G, Stewart AJ, Triebwasser JH. Prediction of maximal oxygen consumption. Comparison of the Bruce and Balke treadmill protocols. *Chest* 1975;68:331-6.
- Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, Ayres JJ, Ward A, White SR, et al. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am Heart J* 1976;92:39-46.
- Will PM, Walter JD. Exercise testing: Improving performance with a ramped Bruce protocol. *Am Heart J* 1999;138:1033-7.
- Bentley DJ, Newill J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis. *Sports Med* 2007;37:575-86.
- Tebexreni AS, Lima EV, Tambeiro VL, Barros Neto TL. Protocolos tradicionais em ergometria, suas aplicações práticas "versus" protocolo de rampa. *Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo* 2001;3:519-28.
- Yoon B, Kravitz L, Roberts R. VO<sub>2max</sub> protocol duration, and the VO<sub>2</sub> Plateau. *Med Sci Sports Exerc* 2007;39:1186-92.
- Myers J, Do D, Herbet W, Ribisl P, Froelicher VF. A nomogram to predict exercise capacity from a specific activity questionnaire and clinical data. *Am J Cardiol* 1994;73:591-6.
- Myers J, Bader D, Madhavan R, Froelicher VF. Validation of a specific activity questionnaire to estimate exercise tolerance in patients referred for exercise testing. *Am Heart J* 2001;142:1041-6.
- Buchfuhrer MJ, Hansen JE, Robinson TE, Sue DY, Wasserman K, Whipp B. Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *J Appl Physiol* 1983;55:1558-64.
- Astorino TA, Rietschel JC, Tam PA, Taylor K, Johnson SM, Freedman TP, et al. Reinvestigation of optimal duration of VO<sub>2</sub>max testing. *JEPonline* 2004;7:1-8.
- Azevedo LF, Brum PC, Roseblatt D, Perlingeiro P de S, Barreto ACP, Negrão CE, et al. Características cardíacas e metabólicas de corredores de longa distância do ambulatório de cardiologia do esporte e exercício, de um hospital terciário. *Arq Bras Cardiol* 2007;88:17-25.
- McAuley P, Myers J, Abella J, Froelicher VF. Evaluation of a specific activity questionnaire to predict mortality in men referred for exercise testing. *Am Heart J* 2006;151:890.e1-e7.
- Maeder M, Wolber T, Atefy R, Gadza M, Ammann P, Myers J, et al. A nomogram to select the optimal treadmill ramp protocol in subjects with high exercise capacity – validation and comparison with the Bruce protocol. *J Cardiopulm Rehabil* 2006;26:16-23.
- Jones AM, Doust J. A 1% treadmill grade most accurately reflects the energetic cost of outdoor running. *J Sports Sci* 1996;14:321-7.
- Åstrand P, Rodahl K. *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill, 1986.
- Billat VL, Hill DW, Pinoteau J, Petit B, Koralsztein J-P. Effect of protocol on determination of velocity at VO<sub>2</sub>max and on its time to exhaustion. *Arch Physiol Bioch* 1996;104:313-21.