

Ajustes lineares vs quadráticos da curva de consumo de oxigênio em teste progressivo

Linear vs quadratic adjustments of oxygen uptake curve in incremental test

Adriano Eduardo LIMA SILVA^{1,2,3}
João Fernando Laurito GAGLIARDI^{1,2,3}
Renato Fraga Moreira LOTUFO¹
Maria Augusta Peduti Dal' Molin KISS²

Resumo

SILVA LIMA, A.E; GAGLIARDI, J.F.L; LOTUFO, R.F.M; KISS, M.A.P. D'M. Ajustes lineares vs quadráticos da curva de consumo de oxigênio em teste progressivo. R. bras. Ci. e Mov. 2003; 11(4): 13-18.

Objetivo. Comparar ajustes lineares (LIN) com quadráticos (QUA) na descrição da curva de $\dot{V}O_2$ em teste progressivo (TP). **Metodologia.** Quatorze homens fisicamente ativos realizaram um TP, velocidade inicial 5 km.h⁻¹(incremento 1 km.h⁻¹.min⁻¹ até a exaustão). As curvas foram ajustadas individualmente pelas equações LIN e QUA (médias dos últimos 10 s⁻¹ de cada estágio). As comparações foram feitas a partir dos resíduos gerados pelas equações (teste F) e entre os valores preditos e medidos em cargas absolutas e relativas ao máximo (teste Wilcoxon). **Resultados.** Os ajustes QUA foram melhores em oito indivíduos (57,1%; p < 0,05), e em três (21,4%), próximos ao nível de significância (p < 0,15). Os valores preditos para QUA foram semelhantes aos medidos em quase todas as intensidades estudadas (absolutas e relativas; p < 0,05), enquanto nos ajustes LIN, foram sistematicamente diferentes. **Conclusão.** Os dados do presente estudo consolidam que a resposta da curva de $\dot{V}O_2$ em cargas elevadas é curvilínea, inviabilizando a utilização de ajustes simples (LIN) para descrevê-la.

PALAVRAS-CHAVE: teste progressivo, ajuste de curva, cinética do $\dot{V}O_2$, recrutamento de fibra.

Abstract

SILVA LIMA, A.E; GAGLIARDI, J.F.L; LOTUFO, R.F.M; KISS, M.A.P. D'M. Linear vs quadratic adjustments of oxygen uptake curve in incremental test. R. bras. Ci. e Mov. 2003; 11(4): 13-18.

Purpose. Compare linear adjustments (LIN) with quadratics (QUA) when describing $\dot{V}O_2$ curve on incremental test (IT). **Methods.** Fourteen physically fit men underwent an IT, at the initial speed 5 km.h⁻¹ (increasing 1 km.h⁻¹.min⁻¹ until exhaustion). The curves were adjusted individually using LIN and QUA equations (average of the last 10 s⁻¹ of each stage). The comparisons have been made using residues of equations (test F) and between predicted and measured values considering absolute and relative loads to maximal (Wilcoxon test). **QUA adjustments were better in eight individuals (57.1%; p < 0.05) and in three individuals (21.4%), near the level of significance (p < 0.15).** **Results.** The predicted values about QUA were similar to the ones measured in almost all intensities studied (absolute and relative intensities; p < 0.05) whereas in LIN adjustments they were systematically different. **Conclusion.** The data presented in this study consolidate the curvilinear response of $\dot{V}O_2$ curve in higher loads making the use of simple adjustments (LIN) unfeasible to describe them.

KEYWORDS: incremental test, curve adjustment, kinetics of $\dot{V}O_2$, fibers recruitment.

¹ Instituto de Avaliação Física do Esporte

² Laboratório de Desempenho Esportivo (EEFE-USP-CENESP)

³ Universidade Ibirapuera

Introdução

A medida do consumo máximo de oxigênio ($\dot{V}O_{2max}$) é vastamente utilizada como indicador de saúde e de potência aeróbia^{2,6}. Recentemente, outros indicativos fisiológicos, aparentemente mais sensíveis ao treinamento, como os limiares de lactato (LL) e/ou ventilatório (LV), passaram a ser utilizados como discriminantes da condição aeróbia. A criação de testes com aumento progressivo de intensidade facilitaram a identificação do $\dot{V}O_{2max}$ e LV em um único teste, sendo amplamente utilizados por serem práticos e relativamente rápidos de serem executados¹⁷.

O comportamento da curva de $\dot{V}O_2$ em função do incremento da velocidade de corrida foi estudado no início do século XX por Archibald Vivian Hill e Hartley Lupton⁶ em 1923. Esses autores descreveram uma resposta linear do $\dot{V}O_2$ até aproximadamente 16 km.h⁻¹. Acima dessa intensidade, nenhum aumento no consumo de oxigênio podia ser observado, sugerindo uma “estabilização” na curva (platô). O platô de $\dot{V}O_2$ em cargas elevadas, entretanto, apresenta discordância entre os estudos e continua sendo alvo de discussão na literatura^{2,6,10,13,15}. Atualmente, alguns autores observaram que durante teste progressivo, a inclinação da curva de $\dot{V}O_2$ nitidamente diminui após o segundo limiar de lactato, caracterizando apenas um ponto de modificação da cinética, diferente do conceito inicial de Hill e Lupton^{10,15}.

A partir das evidências citadas acima, pode-se pressupor que a curva de $\dot{V}O_2$ não apresenta característica linear com o incremento constante da intensidade durante toda extensão e que ajuste considerado simples, como o linear, pode ser insuficiente para descrevê-la. Possivelmente, outro ajuste mais complexo, como o quadrático, possa ser capaz de identificar o comportamento curvilíneo do $\dot{V}O_2$ nos últimos estágios do teste incremental^{10,15}, sendo mais sensível na caracterização da curva. Assim, o objetivo do presente estudo foi comparar esses dois tipos de ajustes (lineares vs quadráticos) na descrição da curva de $\dot{V}O_2$ durante teste progressivo.

Metodologia

Amostra

Quatorze homens saudáveis (34,4 ± 6,6 anos; 178,6 ± 6,0 cm; 87,7 ± 14,9 kg; 21,9 ± 4,3% de gordura corporal), praticantes de exercício físico com predominância aeróbia, sem caráter competitivo, foram selecionados para participar desse estudo. Cada um dos indivíduos foi informado sobre os riscos associados com o protocolo experimental. Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo para pesquisas envolvendo seres humanos.

Uma avaliação antropométrica foi realizada para caracterização da amostra. O método de dobras cutâneas foi aplicado para obtenção do percentual de gordura dos indivíduos. Um exame médico e um eletrocardiograma de repouso com doze derivações foram realizados para averiguar as condições de saúde dos indivíduos.

Protocolo

Após as avaliações morfológica e clínica, os indivíduos foram submetidos a um teste progressivo em esteira rolante previamente calibrada (Sensormedics® modelo 2000),

iniciando com velocidade de 5 km.h⁻¹, com quatro minutos de aquecimento na carga inicial e incrementos de 1 km.h⁻¹ a cada minuto, até a exaustão. A esteira foi mantida no plano horizontal (0% de inclinação) até o final do teste. Esse protocolo foi escolhido com o intuito de levar os indivíduos à exaustão em aproximadamente dez minutos, tempo próximo ao ideal para obtenção do $\dot{V}O_{2max}$ ¹². Os testes foram realizados no período matutino, entre sete e dez horas. A temperatura ambiente média variou entre 20 e 23 °C e a umidade relativa do ar entre 45 e 55%.

Coleta dos dados

Durante todo o teste, os indivíduos respiraram pela boca com respostas da ventilação e trocas gasosas mensuradas por um sistema computadorizado e com transmissão imediata, respiração a respiração, para o software (Sensormedics® Vmax series 29). O volume de ar expirado foi mensurado por um sensor de fluxo bidirecional, calibrado antes do início de cada teste com uma seringa contendo 3 litros de ar (calibração com precisão de ± 3%). Esse sistema define um espaço morto inferior a 100 ml do total. A fração expirada de O₂ foi analisada com sensor de zircônio, com precisão de 0,02%, com dois pontos de calibração (16 e 26% O₂). A fração expirada de CO₂ foi medida por absorção de infravermelho, com precisão de 0,02%, igualmente com dois pontos de calibração (0 e 4,10% de CO₂). Ambos os sensores apresentam resolução de ± 0,01%, tempo de resposta inferior a 130 mseg e foram calibrados de forma automática antes do início de cada teste. Os indivíduos foram monitorados durante todo o teste com eletrocardiograma de doze derivações.

Ajustes das curvas

As curvas com os dados padronizados de $\dot{V}O_2$ (ml.kg⁻¹.min⁻¹) foram construídas individualmente, utilizando a média das respirações contidas no intervalo dos dez segundos finais (10s⁻¹) de cada estágio e plotadas em função da velocidade (km.h⁻¹). Um mínimo de sete pontos por curva foi exigido visando a diminuir a possibilidade de erro nos ajustes. Os dados não representativos (outliers), definidos como três desvios-padrão acima da linha de tendência (gerada pelas respirações do intervalo de 10s⁻¹), foram excluídos.

As curvas foram ajustadas por meio de equações lineares (LIN) e quadráticas (QUA). Um dos indicativos da qualidade de um ajuste é o somatório dos quadrados dos resíduos (distância vertical entre o valor experimental e o valor estimado pela equação de ajuste)⁹. O objetivo é um ajuste com menor somatório de quadrados, ou seja, com valores estimados o mais próximo possível dos valores medidos. Partindo do pressuposto que esses modelos aparecem ordenados pelo nível de complexidade, o ajuste mais complexo (nesse caso o QUA) foi aceito apenas quando apresentava somatório de quadrados significativamente menor do que o mais simples (nesse caso o LIN) (15). As figuras 1 e 2 apresentam exemplos de como foram ajustadas as curvas.

Existe outra possibilidade de comparação entre os ajustes, derivada da observação na distribuição dos resíduos gerados pelas equações. Nos estágios em que os valores preditos apresentam uma tendência a superestimar ou subestimar os valores medidos, assumiu que existe uma deficiência no ajuste proposto e constituiu um forte motivo para despezá-lo⁹.

A tendência na distribuição dos resíduos foi avaliada de duas maneiras:

1) Cargas absolutas: análise comparando os valores medidos com os estimados pelas equações LIN e QUA, nas velocidades entre 5 e 14 km.h⁻¹. A comparação não foi realizada na velocidade de 15 km.h⁻¹ porque apenas um indivíduo atingiu essa intensidade, inviabilizando o tratamento estatístico. 2) Cargas relativas: como foi exigido um valor mínimo de sete pontos por curva, conforme descrito anteriormente, um total de sete cargas relativas ao máximo foram escolhidas para comparação entre os valores medidos e preditos pelas equações LIN e QUA. As intensidades escolhidas foram as sete cargas antes do fim do teste. O controle da intensidade foi feito dessa forma, em vez de utilizar cargas relativas ao $\dot{V}O_{2max}$, para que os valores preditos das equações fossem comparados diretamente com os medidos, evitando a utilização de interpolação linear.

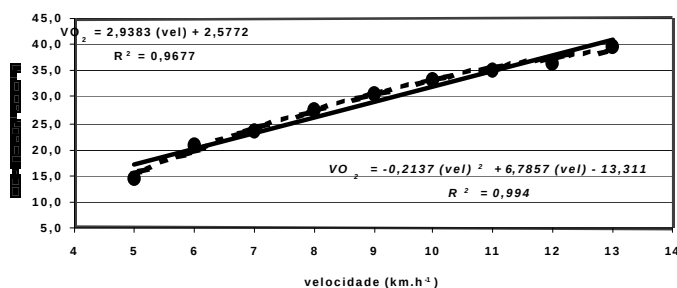
Identificação do $\dot{V}O_{2max}$ e velocidade máxima atingida no teste

O $\dot{V}O_{2max}$ foi determinado utilizando os critérios propostos por McConnell¹². A maior velocidade atingida no teste e sustentada por um minuto foi considerada o pico de velocidade (PV) e corresponde ao último ponto de cada curva.

Análise estatística

Os dados antropométricos e os obtidos durante o teste progressivo foram expressos em média e desvio padrão. Os dados que não apresentaram distribuição normal foram expressos em mediana e desvio médio. A comparação entre os ajustes LIN e QUA foi feita a partir da somatória dos quadrados dos resíduos, utilizando teste F. A comparação entre os valores medidos e preditos (LIN e QUA), tanto para valores absolutos (carga a carga), quanto relativos (sete últimas cargas), foram feitos a partir do teste de ordenação sinalizada de pares combinados de Wilcoxon. Para todos os tratamentos foi aceito um nível de significância menor que 5% ($p < 0,05$).

Figura 1 – Valores de consumo de oxigênio (10s⁻¹) plotados em função da velocidade e ajustados por equações lineares (linha contínua) e quadráticas (linha tracejada) do indivíduo ABS. Os valores foram preditos para cada velocidade a partir das equações e verificada a distância em relação ao valor medido (resíduos). Os resíduos de ambas as equações foram elevados ao quadrado, somados e comparados, verificando qual foi o melhor ajuste. Nesse caso, o melhor ajuste provém de uma equação quadrática ($p = 0,01$).



Resultados

Todos os quatorze indivíduos avaliados atingiram velocidade superior a 11 km.h⁻¹, gerando o número necessário de pontos exigidos. Em todos os indivíduos os critérios para obtenção do $\dot{V}O_{2max}$ foram alcançados, tornando dispensável a nomenclatura $\dot{V}O_{2pico}$. A Tabela 1 apresenta os resultados do PV, juntamente com as variáveis fisiológicas utilizadas como critério para identificação do $\dot{V}O_{2max}$.

TABELA 1 – Variáveis identificadas no teste progressivo

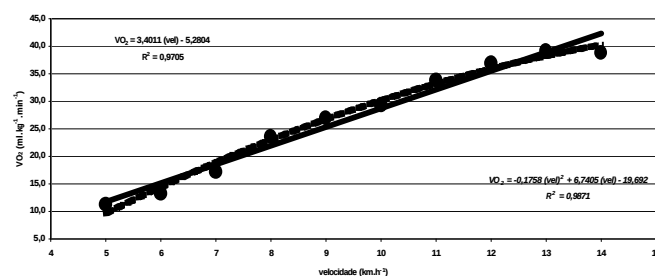
	PV (km.h ⁻¹)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	R _{max} (VCO ₂ /VO ₂)	FC _{pico} (bpm)
Média	13,1	36,0	1,17	184
DP	1,0	4,9	0,06	11

R_{max}: razão de troca respiratória máxima

FC_{pico}: frequência cardíaca de pico

Dentre os indivíduos avaliados, oito (57,1%) apresentaram melhor ajuste QUA, quando comparado com o ajuste LIN. Nesse caso, nos seis indivíduos restantes (42,9%), optou-se pelo ajuste LIN por ser o mais simples, embora alguns se aproximassem do valor crítico de significância [três indivíduos (21,4%); $p = 0,10$; $0,12$ e $0,15$]. A Figura 1 apresenta um indivíduo com a curva mais bem ajustada por um modelo QUA. A Figura 2 apresenta um indivíduo que, embora o ajuste QUA tenha produzido menor somatório de resíduos, não foi estatisticamente significativo.

FIGURA 2 – Valores de consumo de oxigênio (10s⁻¹) plotados em função da velocidade e ajustados por equações lineares (linha contínua) e quadráticas (linha tracejada) do indivíduo FPR. Os procedimentos para análise foram os mesmos descritos na figura 1. Nesse caso, o ajuste quadrático produz menor somatório de resíduos, porém estatisticamente não significativo ($p = 0,12$).



Os ajustes LIN geraram valores de $\dot{V}O_2$ significativamente diferentes dos valores medidos em praticamente todas as cargas absolutas, com exceção das velocidades 7 e 12 km.h⁻¹ ($p = 0,59$ e $0,56$; respectivamente). Em contrapartida, os ajustes QUA não foram bons preditores apenas nas duas velocidades iniciais (5 e 6 km.h⁻¹). Na Tabela 2 estão contidos os valores de $\dot{V}O_2$ medidos e estimados pelas equações LIN e QUA dos quatorze indivíduos em cada velocidade (mediana $\pm$ desvio médio).

TABELA 2 – Valores de $\dot{V}O_2$ medidos e estimados pelas equações lineares (LIN) e quadráticas (QUA) em cada velocidade (mediana $\pm$ desvio médio).

Velocidade (km.h ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ medidos (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ LIN (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ QUA (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Diferença (QUA – LIN) (%)	Número de indivíduos
5	11,4 $\pm$ 1,6	12,7 $\pm$ 1,3*	10,7 $\pm$ 1,5*	21,3 $\pm$ 7,2	14
6	14,2 $\pm$ 1,6	15,7 $\pm$ 1,4*	15,4 $\pm$ 1,5*	3,9 $\pm$ 1,7	14
7	19,1 $\pm$ 1,8	18,8 $\pm$ 1,5	19,5 $\pm$ 1,6	2,3 $\pm$ 1,4	14
8	23,7 $\pm$ 1,8	22,1 $\pm$ 1,6*	23,4 $\pm$ 1,6	5,0 $\pm$ 1,6	14
9	27,2 $\pm$ 1,8	25,4 $\pm$ 1,7*	26,7 $\pm$ 1,7	5,4 $\pm$ 1,5	14
10	29,6 $\pm$ 1,9	28,7 $\pm$ 1,8*	30,1 $\pm$ 1,9	4,4 $\pm$ 1,5	14
11	32,7 $\pm$ 2,1	32,0 $\pm$ 2,0*	32,8 $\pm$ 2,2	2,3 $\pm$ 1,9	14
12	36,0 $\pm$ 2,7	35,5 $\pm$ 2,3	35,3 $\pm$ 2,6	1,3 $\pm$ 2,0	13
13	37,7 $\pm$ 3,1	38,9 $\pm$ 2,7*	38,2 $\pm$ 3,2	2,2 $\pm$ 3,1	11
14	41,5 $\pm$ 2,4	42,4 $\pm$ 1,2	41,5 $\pm$ 1,4	5,3 $\pm$ 1,4	5
15	42,5	45,9	43,6	8	1

* Significativamente diferente dos valores medidos. Obs: A análise não foi feita na velocidade 15 km.h⁻¹ porque tinha apenas um indivíduo.

Semelhantemente aos resultados da comparação entre cargas absolutas, o ajuste LIN produz valores de $\dot{V}O_2$ sistematicamente diferentes dos medidos em quase todas as intensidades relativas ao máximo avaliadas. Em contrapartida, os valores estimados por equações QUA não foram diferentes dos valores medidos em nenhuma das sete cargas antes do fim do teste, embora na sexta o valor de probabilidade aproximou-se do valor crítico de significância ($p = 0,06$). A Tabela 3 apresenta a comparação entre os valores de $\dot{V}O_2$ medidos e preditos pelas equações LIN e QUA dos quatorze indivíduos.

TABELA 3 – Valores de $\dot{V}O_2$ medidos (MED) e estimados pelas equações lineares (LIN) e quadráticas (QUA) nas sete últimas cargas do teste progressivo (mediana $\pm$ desvio médio).

Estágios antes do fim do teste	$\dot{V}O_2$ medidos (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ LIN (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	$\dot{V}O_2$ QUA (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	Diferenças (QUA – LIN) (%)	Número de indivíduos
7	21,6 $\pm$ 3,8	21,1 $\pm$ 3,2*	21,7 $\pm$ 3,7	3,5 $\pm$ 3,6	14
6	25,6 $\pm$ 3,7	24,1 $\pm$ 3,4*	25,5 $\pm$ 3,9	5,3 $\pm$ 6,6	14
5	28,8 $\pm$ 3,4	27,1 $\pm$ 3,5*	28,8 $\pm$ 3,5	5,1 $\pm$ 1,6	14
4	31,6 $\pm$ 3,7	30,1 $\pm$ 3,7*	31,5 $\pm$ 3,5	3,7 $\pm$ 1,6	14
3	33,8 $\pm$ 3,7	33,1 $\pm$ 3,8*	33,7 $\pm$ 3,6	1,5 $\pm$ 1,0	14
2	36,2 $\pm$ 3,8	36,2 $\pm$ 4,0	35,4 $\pm$ 3,9	1,7 $\pm$ 0,6	14
1	36,0 $\pm$ 4,2	39,2 $\pm$ 4,1†	36,7 $\pm$ 4,2	5,8 $\pm$ 1,8	14

* Significativamente menores do que os valores medidos.

† significativamente maiores do que os valores medidos.

Discussão

Os resultados apresentados, com melhores ajustes provindos de equações quadráticas em oito (57,1%) dos quatorze avaliados, e mais três (21,4%) próximos ao nível de significância, são consistentes com a hipótese de que o $\dot{V}O_2$ não apresenta característica linear em função da carga durante toda sua extensão^{3,9,20}. Dentre os trabalhos citados, apenas Lima⁹ (1997) comparou ajustes lineares com ajustes quadráticos, encontrando resultados semelhantes ao observado na presente investigação. Contudo, vale ressaltar

que a curva de consumo de oxigênio dos nossos indivíduos apresentou característica convexa, enquanto, no trabalho do Lima⁹ (1997), característica côncava. Embora existam relatos na literatura descrevendo um menor aumento de $\dot{V}O_2$ para um determinado incremento na intensidade do exercício, ocorrendo em intensidade coincidente com o segundo limiar de lactato¹⁵, nenhum trabalho, dentro do nosso conhecimento, utilizou ajustes matemáticos para determinação desse fenômeno em teste progressivo.

Possíveis determinantes fisiológicos

O consumo de oxigênio aumenta exponencialmente nos exercícios com carga constante e em intensidades abaixo do primeiro limiar ventilatório (LV1)⁷, atingido estado de equilíbrio (*steady-state*) aproximadamente dentro de três minutos. Em intensidades acima de LV1, um estado de equilíbrio no $\dot{V}O_2$ pode ser atrasado, ou até mesmo, não ser atingido antes do fim do exercício⁹. Esse oxigênio “extra” consumido é comumente denominado componente lento¹⁸. Diversos mecanismos fisiológicos foram associados ao componente lento do $\dot{V}O_2$, mas dentre os principais listados na literatura, estão: aumento das concentrações de lactato sanguíneo, aumento dos níveis circulantes de catecolaminas, maior gasto energético dos músculos ventilatórios em intensidades altas, aumento da temperatura corporal e maior recrutamento das fibras de contração rápida¹⁸. Embora comumente se utilize para identificação do componente lento do $\dot{V}O_2$ testes com carga constante, os mecanismos fisiológicos responsáveis por esse fenômeno podem ser semelhantes aos responsáveis pelo “declínio da curva” do $\dot{V}O_2$ em intensidades elevadas (parte superior da curva) na maior parte dos indivíduos do presente estudo (Figura 1). Mesmo nos indivíduos em que se optou pelo ajuste linear, essa tendência também foi visível (Figura 2). Uma possível explicação para tal fenômeno pode ser o tempo de duração dos estágios (um minuto), o que possivelmente defasa a resposta do consumo de oxigênio na parte superior da curva. De fato, existem relatos de maior constante de tempo para reposta do $\dot{V}O_2$ em cargas elevadas⁷. Como nessas intensidades as fibras de contração rápida são recrutadas em maior número^{1, 4}, a defasagem de resposta do $\dot{V}O_2$ em intensidades elevadas poderia ser atribuída às características cinéticas dessas fibras. Analisando os dados apresentados por Barstow *et al.*¹(1996) esse pensamento fica mais claro. De fato, indivíduos com maior percentual de fibras do tipo I apresentam menor tempo de resposta no início do exercício do que seus congêneres com menor percentual de fibras desse tipo. Se extrapolarmos para situação de testes progressivos, podemos assumir que as fibras rápidas possuem tempo de resposta mais lento na parte superior da curva.

Em estudos com animais, notou-se que com o aumento da estimulação elétrica para contração muscular (Hz), a curva de $\dot{V}O_2$ nos músculos com predominância de fibras rápidas tendia a aumentar mais do que os com predominância de fibras lentas, quando analisados na fase de baixa frequência (8). Com maiores frequências, as fibras rápidas apresentavam platô de $\dot{V}O_2$ enquanto as fibras lentas continuavam aumentando hiperbolicamente até a frequência estudada. Dessa forma, em intensidades após o segundo limiar ventilatório, onde ocorre uma maior estimulação elétrica, a curva tenderia a apresentar esse comportamento hiperbólico, tornando o ajuste QUA mais

eficiente. Essa pode ser uma explicação alternativa e ser digna de futuros trabalhos com métodos mais invasivos.

A aparente “estabilização” no $\dot{V}O_2$ das fibras rápidas, durante alta estimulação elétrica, sugere um aumento na produção de energia por meio das vias glicolíticas⁵ e, conseqüentemente, maior produção de lactato. Conforme mencionado acima, o lactato poderia ser o responsável pelo componente lento. Entretanto, o aumento do lactato pode ser devido simplesmente ao aumento da carga e, ambos [La] e componente lento, serem conseqüência do aumento da intensidade, sem nenhuma relação de causa e efeito¹⁸. Essa hipótese está de acordo com o trabalho de Poole *et al.*¹⁴(1994), em que a infusão de lactato dentro dos músculos ativados artificialmente (30 a 40% do VO_{2max}) não induz o aparecimento do componente lento.

Características dos ajustes

No presente estudo, a distribuição dos resíduos ao longo da curva também foi avaliada, utilizando cargas absolutas (Tabela 2) e cargas relativas (Figura 3). Quando utilizadas cargas absolutas, o ajuste linear é ineficiente durante quase todas as velocidades (Tabela 2). Curiosamente, nas velocidades 12 e 14 km.h⁻¹, a ineficiência de LIN foi menos visível. Provavelmente, isso tenha ocorrido porque os indivíduos estavam em “momentos relativos diferentes” do teste, com alguns próximos ao fim, e outros, mais distantes, ocasionando produção de resíduos, ora positivos, ora negativos. Como a comparação foi feita a partir de um teste de ordenação sinalizada (teste Wilcoxon), foram consideradas distribuições aleatórias. Porém, esse não foi o caso quando foram utilizadas comparações relativas ao máximo. Na Tabela 3 pode ser observado que o ajuste LIN subestima significativamente os valores medidos da sexta à terceira carga antes do final do teste e superestima os valores do último estágio. Isso pode ter ocorrido devido à própria característica matemática do ajuste linear. Para ajustar uma curva com uma equação linear, os pontos principais para elaboração do intercepto (a) e inclinação (b), são os valores das extremidades e o valor médio¹⁶. Como quase todos os nossos sujeitos apresentaram tendência à característica curvilinear da curva na porção superior, essa disposição dos pontos faz que a linha de regressão passe exatamente abaixo dos pontos medidos da sexta até a terceira carga antes do final. Uma linha de regressão atenuada em decorrência principalmente do valor médio originado, altera também as extremidades, gerando valores superiores aos medidos no último estágio (Figuras 1 e 2; Tabela 3).

Apresentadas as limitações dos ajustes LIN, percebe-se que os ajustes QUA produzem valores muito próximos aos medidos na parte superior da curva, tanto em cargas absolutas, quanto relativas, justamente porque são capazes de descrever esse comportamento curvilinear do $\dot{V}O_2$ em testes incrementais. Conforme ilustrado nas Figuras 1 e 2, a alteração na inclinação da curva inicia-se entre o terceiro e quarto ponto antes da última carga, não devendo ser confundido com o platô de consumo de oxigênio, alvo de inúmeras discussões na literatura^{2,6,10,13,15}. Entretanto, os dados do presente estudo incluem uma explicação adicional aos mecanismos fisiológicos responsáveis pelo platô, que pode ser devido simplesmente ao “atraso” na resposta do $\dot{V}O_2$ das fibras do tipo II, como descrito anteriormente.

Parte inferior da curva

Por fim, nenhum dos dois ajustes propostos (LIN e QUA) foi eficaz na descrição do comportamento do $\dot{V}O_2$ nas cargas iniciais (velocidade 5 e 6 km.h⁻¹; tabela 2). O ajuste LIN produziu valores superiores aos medidos nas duas velocidades, enquanto o QUA, inferiores na primeira e superiores na segunda. Em oito (57,1%) indivíduos, dos quatorze avaliados, foi aparente um ponto de inflexão (aumento acentuado) na curva de $\dot{V}O_2$ em intensidades próximos a 7 km.h⁻¹. Visivelmente, ambos os ajustes foram prejudicados pela inclusão dos dados das velocidades iniciais em alguns indivíduos (Figura 2). As alterações cinéticas que ocorrem após LV1, avaliado em testes com cargas constantes, estão bem documentadas na literatura³ e recentemente, descritos também durante testes escalonados²⁰. Porém, a comparação entre os achados desses estudos e os dados da presente investigação precisa ser vista com cautela. Esses trabalhos analisaram o comportamento do $\dot{V}O_2$ em bicicleta ergométrica o que permite iniciar com cargas muito baixas e constituir um maior número de pontos na extremidade inferior da curva, enquanto em nossos sujeitos, foi possível gerar apenas dois pontos, podendo ainda, alguns indivíduos terem iniciado o teste acima do ponto de inflexão. Outra limitação pode ser considerada se levarmos em consideração que os indivíduos começavam a correr a 8 km.h⁻¹, próximo à intensidade do ponto de inflexão, sugerindo que o aumento no consumo de oxigênio pode ser devido simplesmente ao comportamento curvilinear da curva de $\dot{V}O_2$ na caminhada e linear durante a corrida¹¹, o que dificultaria a utilização de um único ajuste.

Conclusão

Em resumo, a modificação da curva de $\dot{V}O_2$ em intensidades elevadas inviabiliza a utilização de ajustes simples, como o linear, para caracterizá-la. O melhor ajuste foi o QUA em oito (57,1%) dos quatorze avaliados, tendo mais três (21,4%) atingidos níveis próximos ao de significância. Quando cargas baixas (5 e 6 km.h⁻¹) são incluídas nos ajustes, o ajuste QUA também pode ser insuficiente. As explicações fisiológicas para tais fenômenos não estão esclarecidas, mas o aumento no recrutamento de fibras de contração rápida em cargas altas, proporcionando um atraso na resposta do consumo de oxigênio, pode ser considerado, até o momento, o principal responsável pela característica curvilinear na parte superior da curva de $\dot{V}O_2$ em testes progressivos com um minuto de estágio.

Agradecimentos

Agradecemos aos professores Flavio Pires e Rômulo Bertuzzi pela revisão do trabalho.

Referências Bibliográficas

1. Barstow, T.J., Jones, A.M., Nguyen, P.H., Casaburi, R. Influence of muscle fiber type and pedal frequency on oxygen uptake kinetics of heavy exercise. *J. Appl. Physiol.* 1996; 81: 1642 – 1650.

2. Basset, D.R. e Howley, E.T. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints. **Med. Sci. Sports Exerc.** 1997; 29: 591 – 603.
3. Bearden, S.E. e Moffatt, R.J. Leg electromyography and the $\dot{V}O_2$ -power relationship during bicycle ergometry. **Med. Sci. Sports Exerc.** 2001; 33: 1241 – 1245.
4. Borrani, F., Candau, R., Millet, G.Y., Perrey, S., Fuchslocher, J., Rouillon, J.D. Is the slow component dependent on progressive recruitment of fast – twitch in trained runners? **J. Appl. Physiol.** 2001; 90: 2212 – 2220.
5. Crow, M.T. e Kushmerick, M.J. Chemical energetics of slow – and fast – twitch muscles of the mouse. **J. Gen. Physiol.** 1982; 79: 147 – 166.
6. Hill, A.V. e Lupton, H. Muscular exercise, lactic acid, and the supply and utilization of oxygen. **QQ J. Med.** 1923; 16: 135 – 171.
7. Hughson, R.L., O’Leary, D.D., Betik, A.C., Hebestreit, H. Kinetics of oxygen uptake at the onset of exercise near or above peak oxygen uptake. **J. Appl. Physiol.** 2000; 88: 1812 – 1819.
8. Kushmerick, M.J.; Meyer, R.A.; Brown, T.R. Regulation of oxygen consumption in fast and slow – twitch muscle. **Am. J. Physiol.** 1992; 263 (Cell Physiol.32): C598 – C606.
9. Lima, J.R.P. **Frequência cardíaca em cargas crescentes de trabalho:** ajuste sigmóide, ponte de inflexão e limiar de variabilidade da frequência cardíaca. São Paulo; 1997 [Tese de Doutorado – Escola de Educação Física e Esporte da USP].
10. Lima Silva e Lotufo, R.F. Identificação do ponto de modificação cinética da curva de $\dot{V}O_2$ em testes progressivos. **Motriz** (Supl.). 2003; 9 (1): S121.
11. Margaria, R., Cerretelli, P., Aghemo, P., Sassi, G. Energy cost of running. **J. Appl. Physiol.** 1963; 18: 367 – 370.
12. McConnell, T.R. Practical Considerations in the testing of $\dot{V}O_{2max}$ in runners. **Sports Med.** 1988; 5: 57 – 68.
13. Noakes, T.D. Maximal oxygen uptake: “classical” versus “contemporary” viewpoints: a rebuttal. **Med. Sci. Sports Exerc.** 1998; 30: 1381 – 1398.
14. Poole, D.C. Gladden, L.B., Kurdak, S., Hogan, M.C. L- (+)- Lactate infusion into working dog gastrocnemius: no evidence lactate per se mediates $\dot{V}O_2$ slow component. **J. Appl. Physiol.** 1994; 76: 787 – 792.
15. Robergs, R.A. An exercise physiologist’s “contemporary” interpretations of the “ugly and creaking edifices” of the $\dot{V}O_{2max}$ concept. **J. Exer. Physiol.** 2001; 4: 1 – 44.
16. Thomas, J.R. e Nelson, J.K. **Métodos de Pesquisa em atividade física.** 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2002.
17. Wasserman, K. e Whipp, B.J. Exercise Physiology in Health and Disease. **Am. Review of Resp. Dis.** 1975; 112: 219 – 249.
18. Whipp, B.J. The component of O_2 uptake kinetics during heavy exercise. **Med. Sci. Sports Exerc.** 1994; 26: 1319 – 1326.
19. Whipp, B.J. e Wasserman, K. Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant-load work. **J. Appl. Physiol.** 1972; 33: 351 – 356.
20. Zoladz, J.A., Szkutnik, Z., Majercezak, J., Duda, K. Detection of the change point in oxygen uptake during an incremental exercise test using recursive residuals: relationship to the plasma lactate accumulation and blood acid base balance. **Eur. J. Appl. Physiol.** 1998; 78: 369 – 377.