

Claudio Gil Soares de Araújo \*

## Respostas cardiorrespiratórias a um exercício submáximo prolongado

*Com o objetivo de avaliar a constância de variáveis cardiorrespiratórias selecionadas em um exercício submáximo prolongado, 11 homens assintomáticos, entre 21 e 35 anos, submeteram-se a 2 testes em bicicleta ergométrica. No primeiro, foram determinados os valores ergoespirométricos máximos e no segundo, os indivíduos pedalarão durante 40min ininterruptos, com medidas contínuas de  $\dot{V}_E$ ,  $\dot{V}O_2$ , FC, FR, VC,  $\dot{V}/\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}O_2/FC$ , em uma carga igual a 80% daquela na qual foi detectado o limiar anaeróbico, no teste máximo. Pelo menos 3 dias separaram a realização dos 2 testes. Para efeito de análise estatística foram consideradas as medidas obtidas a cada 5 min. Com exceção do pulso de  $\dot{V}O_2$ , ( $\dot{V}O_2/FC$ ), a ANOVA evidenciou diferenças para todas as variáveis estudadas ( $p < 0,05$ ). Foram determinadas as equações de regressão e os coeficientes de correlação dessas variáveis, em função do tempo (ex:  $FC = 0,61167 t(\text{min}) + 144,25$ ;  $r = 0,9604$ ;  $t = 8,44$  ( $p < 0,05$ )). O método dos contrastes de Scheffé, usado para comparar os valores obtidos nas duas metades do teste, mostrou diferenças significativas para FC,  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}$  e FR ( $p < 0,05$ ). Esses dados mostram que, em um esforço submáximo prolongado, a maioria das variáveis cardiorrespiratórias não atinge equilíbrio aos 5 min e questionam a validade de usar FC aos 5 ou 6 min (“steady state”) em carga submáxima, para o cálculo indireto do  $\dot{V}O_2$  máximo, por meio de nomogramas.*

É geralmente aceito que as variáveis cardiorrespiratórias atingem “steady-state” em torno dos 5 min de um esforço submáximo. Astrand e Rodahl<sup>1</sup> referem que a frequência cardíaca (PC) alcança um nível de equilíbrio quando uma determinada carga de trabalho submáxima é mantida por pelo menos 4 a 5 min. Todavia, estudos que utilizaram exercício prolongado e condições climáticas extremas sugerem que a FC e outras variáveis cardiorrespiratórias podem continuar, na realidade, a se alterar lentamente em função do tempo de exercício<sup>2,3</sup>, questionando a constância dessas variáveis após 5 min de esforço.

Saltin e Stenberg<sup>2</sup> estudando 4 indivíduos durante um esforço prolongado encontraram aumento de FC,  $\dot{V}O_2$ , e equivalente ventilatório e diminuição de pressão arterial média, volume sistólico e quociente respiratório, quando compararam os valores obtidos na fase inicial (5 a 15 min), com os da fase intermediária, (50 a 60 min). Dados similares a esses foram publicados no mesmo ano por Ekelund e Holmgren<sup>3</sup> que avaliaram 6 indivíduos normais e desde

então essas conclusões têm sido aceitas como válidas.

Há alguns anos, Wasserman e col.<sup>4</sup> estudaram alterações nas trocas gasosas durante esforços contínuos e progressivos, propondo então, um método não invasivo para detecção do ponto onde se iniciava a acidose metabólica induzida pelo exercício intenso. Esses autores sugeriram que esse ponto, denominado por eles de limiar anaeróbico (LA), poderia ser identificado pelo instante onde ocorria: aumento não linear de  $\dot{V}$ ; aumento não linear de  $\dot{V}CO_2$ ; aumento na pressão parcial de oxigênio ao final do volume corrente ( $PET\dot{O}_2$ ) sem uma correspondente diminuição da pressão parcial de gás carbônico no mesmo momento ( $PET\dot{C}O_2$ ) e aumento de RQ.

A partir desse trabalho pioneiro, o LA tem recebido atenção especial de clínicos e fisiologistas por suas aplicações potenciais. Esse índice parece se correlacionar muito melhor com o desempenho desportivo em eventos longos e é sensível a variações de níveis de atividade fí-

Este trabalho é parte da tese de mestrado em Biofísica do autor e foi elaborado no laboratório de Hemodinâmica Instituto de Biofísica e no Serviço de Cardiologia do Hospital Universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

\* Bolsista da CAPES.

sica, servindo então para monitorizar efeitos do treinamento. Ademais, o LA parece explicar fisiologicamente a ampla variabilidade dos dados cardiorrespiratórios encontrados, quando se comparam indivíduos submetidos à mesma intensidade relativa do VO máximo. Uma excelente revisão dos aspectos metodológicos e das aplicações do LA foi recentemente publicada por Ribeiro e De Rose<sup>5</sup>.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar as respostas de algumas variáveis cardiorrespiratórias durante a realização de um exercício submáximo prolongado.

No intuito de tentar diminuir a acentuada variabilidade entre indivíduos encontrada por Saltin e Stenberg<sup>2</sup>, a intensidade para a realização do esforço submáximo prolongado foi determinada a partir do LA de cada indivíduo.

## Material e métodos

Onze homens saudáveis, entre 21 e 35 anos, ofereceram-se voluntariamente para participar deste estudo. Eles eram assintomáticos em relação aos sistemas cardiovascular e respiratório por ocasião do estudo, estavam motivados, negavam tabagismo atual e tinham instrução universitária.

O nível de aptidão física, conforme anamnese prévia, variava de muito baixo a muito alto e apenas um indivíduo estava em treinamento regular (corredor de longa distância), quando do teste. Contudo, a maioria deles já possuía alguma experiência prévia com esporte e/ou testes de avaliação funcional.

Para os testes, os indivíduos apresentaram-se ao laboratório, em jejum há duas horas, sem qualquer atividade física importante nas últimas 24 horas. Vestindo apenas calção, meias e sapatos desportivos. Não foi feita a determinação da temperatura corporal durante o esforço.

Os testes foram realizados em uma sala ampla e bem iluminada, cuja temperatura variou entre 23 e 27,5°C em duas sessões distintas, com um intervalo de 3 a 4 dias.

Na 1.ª sessão, eles realizaram um teste máximo, equivalente ao estágio I descrito por Jones e col.<sup>6</sup>, que começava em 20 watts, aos quais eram acrescentados outros 20 watts a cada minuto até a exaustão voluntária, caracterizado pelo momento em que os indivíduos se tornavam incapazes de manter a rotação do pedal para aquela carga, apesar de intensa estimulação verbal.

Na 2.ª sessão, os indivíduos pedalarão durante 40 min, utilizando carga equivalente a 80% daquela na qual se verificou o limiar anaeróbico no primeiro teste, tendo essa carga sido escolhida por não produzir acidose láctica significativa<sup>7</sup>.

Um grande cuidado foi tomado para evitar alterações na altura individual do selim entre as duas sessões. No período entre as sessões foi recomendado aos indivíduos que ingerissem grande quantidade de carboidratos, de modo a reconstituir a reserva de glicogênio muscular após o teste máximo. Nenhum líquido era ingerido durante a segunda sessão.

Os testes foram efetuados em uma bicicleta ergométrica Elema-Schönander modelo 280 (Siemens) de frenagem elétrica, em uma faixa de 60 a 80 rpm. O eletrocardiograma (EGG) foi monitorizado continuamente, a partir de uma derivação bipolar modificada CC. A FC era determinada a cada minuto do registro eletrocardiográfico (velocidade previamente calibrada), pelo período compreendido entre 5 intervalos R-R.

Durante os testes, era cuidadosamente ajustada à face do indivíduo uma máscara para a coleta de gases expiratórios. Estes gases eram recolhidos em uma câmara de mistura do sistema Siregnost (Siemens). Através da quantificação da entrada do ar expirado obtinha-se a  $V$  e pelo sensor de fluxo a frequência respiratória (FR).<sup>E</sup> A diferença entre FI e FE era determinada pela análise automática de uma amostra gasosa, através de um analisador paramagnético de gases Oximat (Siemens).

A partir dos valores da FI, FE,  $V$ , pressão barométrica e temperatura, o microprocessador do Siregnost integrava e registrava em um "Kompensograph" o valor médio a aproximadamente cada 12 segundos, para  $V$ , (BTPS) e VO, (STPD) e, a cada 25 s, para FR. Diariamente, calibrava-se a  $V$  e a FR por uma bomba de volume, frequência e fluxo de ar constantes e conhecidos. Periodicamente, o analisador de O<sub>2</sub> era calibrado por gases padrões de concentrações conhecidas de O<sub>2</sub>.

A partir de FC,  $V$ , VO, e FR foram calculados os índices derivados de  $V/VO$  (equivalente ventilatório),  $V/FR$  ou VC (volume corrente) e VO/FC (pulso de O<sub>2</sub>).

O LA<sup>4</sup> foi determinado a partir da inspeção gráfica dos dados de  $V$  e VO, pelo ponto onde a  $V$  começa a aumentar não linearmente, enquanto o VO, continua a crescer linearmente com a carga de trabalho. Uma resposta gráfica típica é apresentada na figura 1.

A sensação de cansaço (RPE) era representada por uma escala de 0 a 10, onde 10 representa o estado de exaustão máxima e 0 exatamente o contrário. Esta escala era explicada em detalhes ao indivíduo, no momento em que ele era monitorizado para a segunda sessão, sendo esclarecida neste instante qualquer eventual dúvida. A cada 5 min, era perguntada a RPE ao indivíduo, sendo a resposta feita através de sinais com os dedos.

Para a análise estatística das 8 variáveis estudadas, foram empregados os valores obtidos a cada 5 min, i.e., 5, 10, ... 40 min. No quadro I, é apresentada a seqüência operacional do procedimento estatístico do estudo. Inicialmente, foram obtidas a média e desvio-padrão de cada variável em cada intervalo de tempo considerado. Para FC, foi aplicado o teste de "outlier"<sup>8</sup>, visando a detectar qualquer dado experimental que não pertencesse à população estatística estudada; em caso afirmativo, os dados do indivíduo em questão eram eliminados, a média e o desvio-padrão recalculados e o teste novamente aplicado.

Após essa etapa, foram realizadas análises de variância, de uma classificação ou fator para medidas repetidas com as 8 variáveis. Se

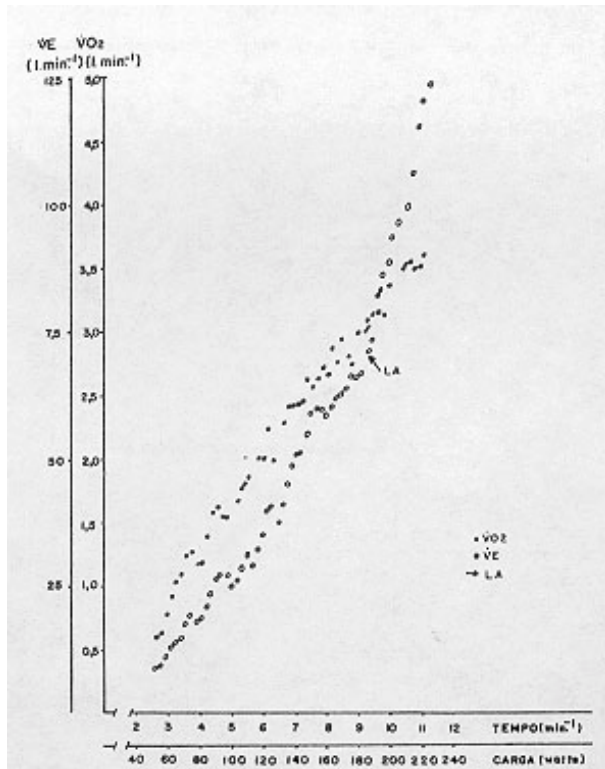


Fig. 1 - Registro gráfico da  $V_E$  e do  $VO_2$  em uma resposta típica. A seta aponta para o início da não linearidade de  $V_E$  que caracteriza o limiar anaeróbico. As curvas de  $V_E$  e  $VO_2$  são traçadas manualmente a partir dos pontos do registro.  $\circ^E$  - valores de  $V_E$  e  $\bullet$  - valores de  $VO_2$ .

um valor de  $F$  não significativo era encontrado, o procedimento era interrompido; em caso contrário, era empregado o método de Scheffé para localizar as médias que diferissem significativamente entre si o Scheffé de contrastes para comparar os primeiros e os últimos 20 minutos de exercício.

Paralelamente, era realizada uma análise de regressão linear pelo método de mínimos quadrados entre cada variável e o tempo de exercício em min e calculados os coeficientes de correlação de Pearson e os de determinação. O teste t emparelhado de Student era aplicado para verificar se os coeficientes de correlação obtidos eram significativamente diferentes de zero. Finalmente, era aplicado um teste z para verificar a existência de paralelismo entre as regressões lineares obtidas. Foi estabelecido um nível de significância de 0,05 para todos os procedimentos estatísticos deste estudo<sup>9</sup>.

## Resultados

O 1.º teste evidenciou que o consumo máximo de oxigênio médio era de 52,2 ml.  $K^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (variação entre 29 e 69%) e que o LA ocorria em média a 70,3% do  $VO_2$ , máximo como uma variação entre 47 e 93% (quadro II).<sup>2</sup>

Com exceção do pulso de  $O_2$ , a ANOVA encontrou diferenças significativas entre os valores obtidos para todas as variáveis estudadas. A FC, a  $V_E$ , o  $VO_2$  a FR a RPE e o  $V/VO_2$  aumentam com o esforço ( $p < 0,05$ ), enquanto VC parece

decrecer na mesma situação ( $p < 0,05$ ).

A velocidade de incremento da FC com o exercício é inversamente proporcional ao tempo de duração, especialmente quando se leva em consideração os valores obtidos para os 5 primeiros minutos. Se levarmos em conta apenas os valores encontrados a cada 5 min, a regressão encontrada é:  $FC = 0,6167 t (\text{min}) - 144,25$ , com uma correlação de 0,96, sendo  $p < 0,05$  (fig. 2).

Por outro lado, o consumo de oxigênio cresce de modo constante, cerca de 10 ml.  $\text{min}^{-1}$  no esforço, o que corresponde a um aumento global de aproximadamente 15%, entre o 5.º e o 40.º min de esforço, sendo  $p < 0,05$  (fig. 3).

A ventilação aumenta de 54, 1.  $\text{min}^{-1}$  no 5.º min para 69,6 1.  $\text{min}^{-1}$  no 40.º min, em um modelo, de regressão linear, conforme indica a correlação de 0,985, sendo  $p < 0,05$  (fig. 4). Um comportamento bastante similar e ainda mais exuberante foi evidenciado para a variável FR (fig. 5) que aumentou de 28,6 para 39,9 ciclos.  $\text{min}^{-1}$  do 5.º ao

40.º min de exercício, respectivamente, não obstante não houvesse diferenças entre as médias dos intervalos de tempo da segunda metade do teste em diante ( $p < 0,05$ ).

Embora houvesse uma grande variabilidade interindividual, a RPE mostrou um elevado coeficiente de correlação com o tempo ( $p < 0,05$ ), havendo um aumento considerável de 3,4 para 7,8, ou seja, mais do dobro do 5.º para o 40.º min de esforço (fig. 6).

Nos índices derivados pode se verificar um comportamento distinto Embora o equivalente ventilatório aumente significativamente com o decorrer do exercício, apenas os valores do 5.º e 40.º min diferem entre si ( $p < 0,05$ ), evidenciando um aumento de pequena proporção. Já o  $VO_2/FC$  mostrou maiores valores no início e no final do exercício, sem todavia diferirem significativamente entre si, evidenciando um aumento ínfimo ( $p > 0,05$ ). O volume corrente foi, das variáveis estudadas, a única que diminuiu durante o exercício, sendo ligeiramente maior no início do que no final. No entanto, o método de Scheffé não conseguiu apontar nenhum par de médias que diferisse significativamente entre si (fig. 7, 8 e 9).

O teste para paralelismo demonstrou que, com a exceção dos valores  $VO_2/FC \times VC$ , todos os outros diferiam significativamente entre si, no que se referia ao coeficiente angular das equações de regressão linear.

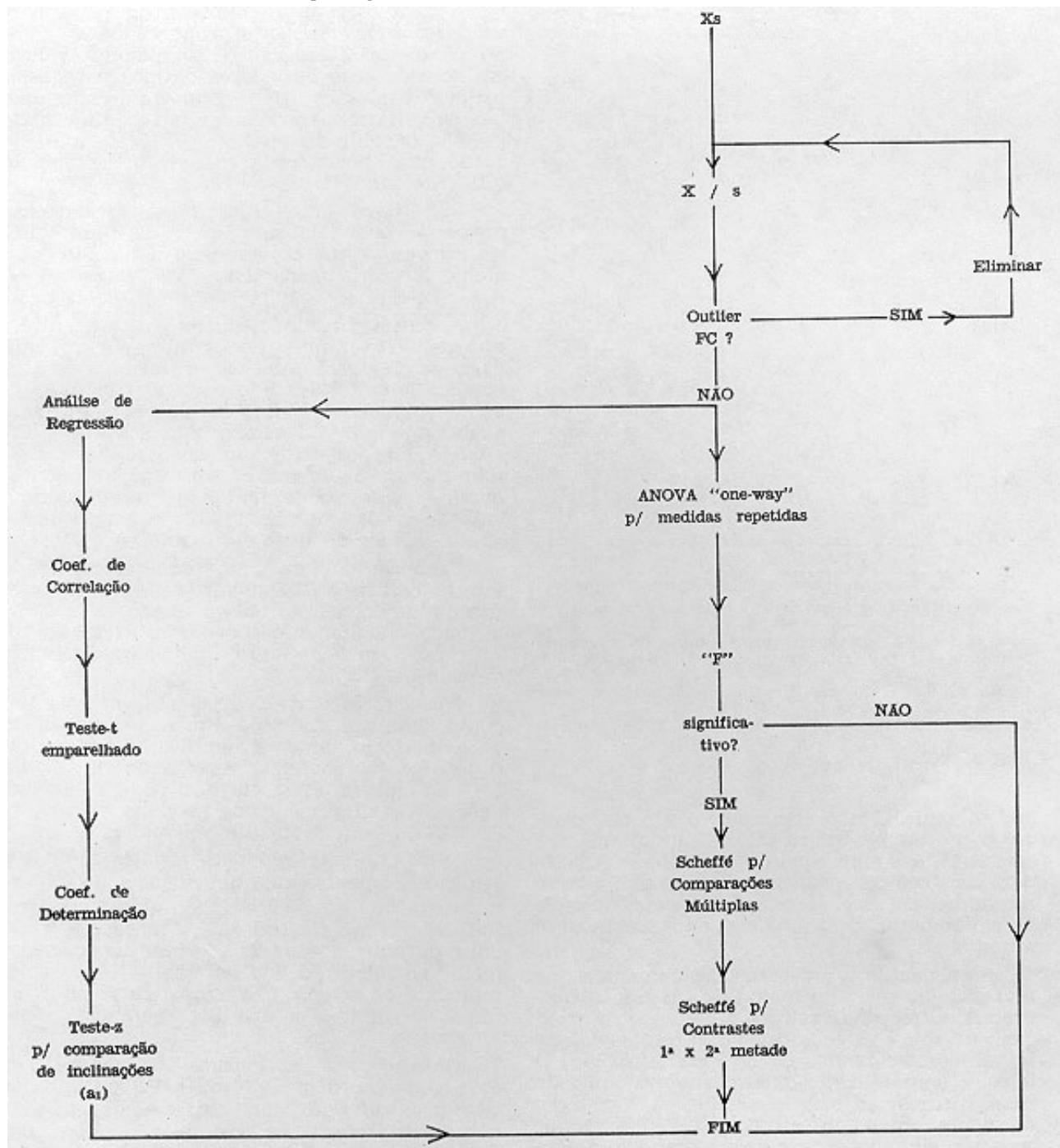
Um sumário dos principais resultados estatísticos é apresentado no quadro III.

## Discussão

Inicialmente o estudo constava de 12 elementos, todavia o teste de "outlier", realizado para a variável FC, mostrou que um dos indivíduos testados apresentava resposta anormal ao esforço prolongado, cuja etiologia não foi estabelecida, tendo-se portanto reduzido a amostra para 11.

Durante ou após a realização das duas etapas, não foram verificadas quaisquer alterações clínicas ou eletrocardiográficas, compatíveis

**QUADRO I - Sequência do procedimetro estatístico utilizado no estudo das respostas cardiorrespiratórias de 11 pacientes submetidos a exercício submáximo prolongado.**



**QUADRO II — Idade, altura, peso, carga no 1.º e 2.º teste, consumo máximo de O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>max) e limiar anaeróbico (LA) de 11 pacientes submetidos a exercício submáximo prolongado.**

	Idade (anos)	Altura (cm)	Peso (Kg)	Carga 1 (watts)	Carga 2 (watts)	VO <sub>2</sub> max (ml.Kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	% LA
Média	26,18	172,91	67,45	255,45	151,36	52,25	70,33
d.p.	4,05	6,39	8,42	37,25	33,92	13,05	14,87
Mínimo	21	163,0	55,0	190*	95	28,71	46,67
Máximo	35	187,0	78,0	320	205	69,42	93,09

\* O valor de 190 é atribuído pois o indivíduo terminou o teste máximo aos 30s de carga de 200 watts.



resposta cardiorrespiratória a um exercício submáximo

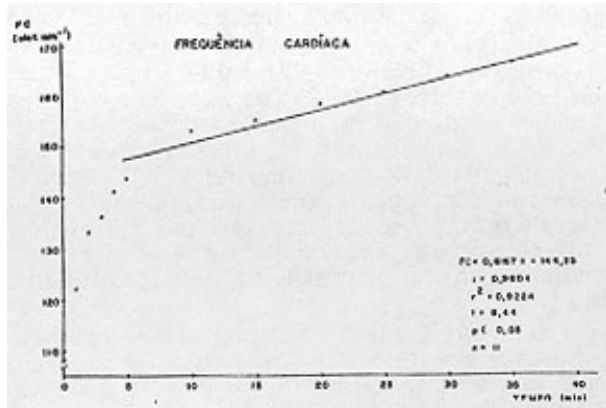


Fig. 2 - Relação entre frequência cardíaca e tempo de exercício.

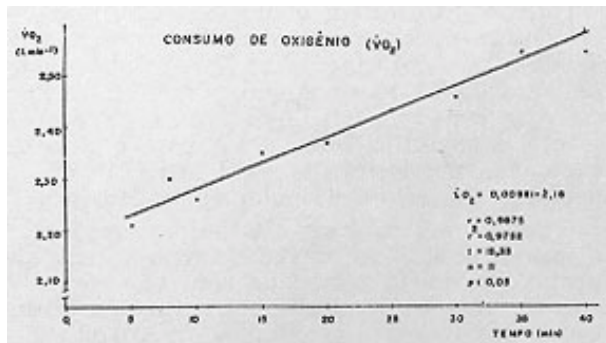


Fig. 3 - Relação entre consumo de oxigênio e tempo de exercício.

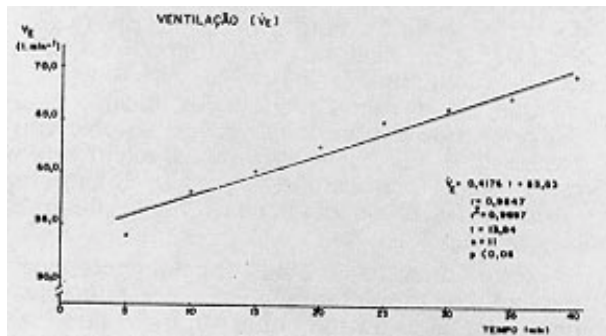


Fig. 4 - Relação entre ventilação e tempo de exercício.

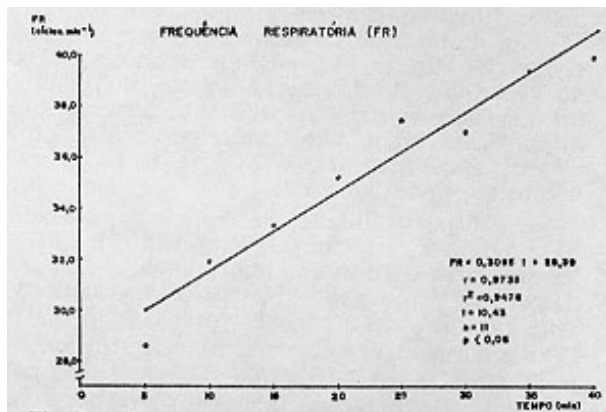


Fig. 5 - Relação entre frequência respiratória e tempo de exercício.

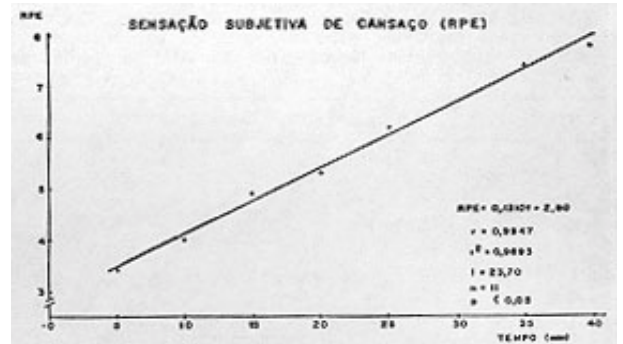


Fig. 6 - Relação entre sensação subjetiva de cansaço e tempo de exercício.

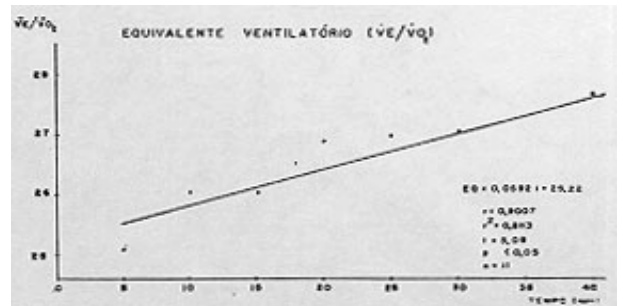


Fig. 7 - Relação entre equivalente ventilatório e tempo de exercício.

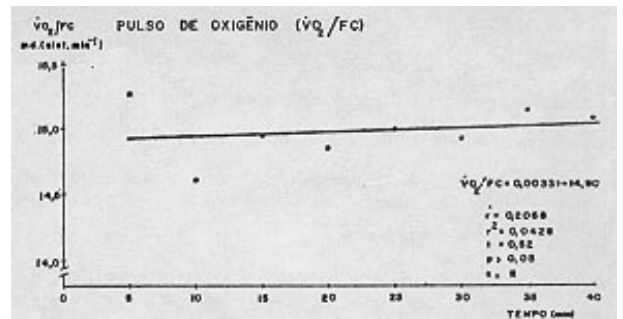


Fig. 8 - Relação entre pulso de oxigênio e tempo de exercício.

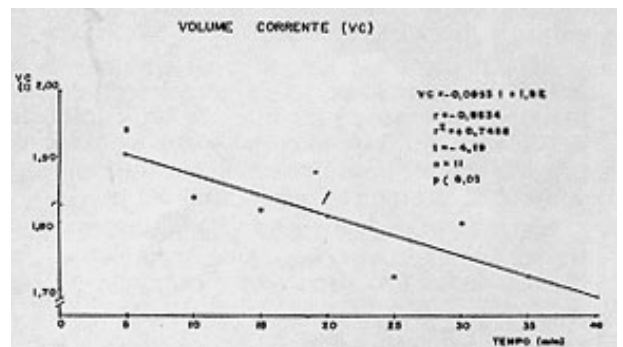


Fig. 9 - Relação entre volume corrente e tempo de exercício.

com quadro patológico do aparelho cardiovascular, exceto por extra-sístoles ventriculares isolados no indivíduo que possuía a resposta anormal acima citada.

Os indivíduos apresentavam níveis bastante heterogêneos de condicionamento cardiovascular podendo ser classificados desde muito sedentária até muito treinados. Não obstante este dado, todos os indivíduos conseguiram completar o período de 40 minutos, previstos para o esforço submáximo prolongado, com uma carga que variou entre 95 e 205 watts para os diversos indivíduos.

**QUADRO III — Resultados da análise de variância e das comparações múltiplas entre as variáveis estudadas em 11 pacientes submetidos a exercício submáximo prolongado pelo método de Scheffé.**

Variável	Intervalos em Ordem Crescente	F
FC	5 10 15 20 25 30 35 40	51,55*
$\dot{V}O_2$	5 10 15 20 25 30 35 40	33,33*
$\dot{V}_E$	5 10 15 20 25 30 35 40	32,39*
FR	5 10 15 20 25 30 35 40	13,70*
RPE	5 10 15 20 25 30 35 40	19,32*
$\dot{V}_E / \dot{V}O_2$	5 15 10 35 20 25 30 40	2,89*
$\dot{V}O_2 / FC$	10 20 30 15 25 40 35 5	1,14
$\dot{V}C$	25 35 40 30 20 15 10 5	2,89*

FC — frequência cardíaca;  $\dot{V}O_2$  — consumo de oxigênio;  $\dot{V}_E$  — ventilação pulmonar; FR — frequência respiratória; RPE — sensação subjetiva de cansaço;  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$  — equivalente ventilatório;  $\dot{V}O_2 / FC$  — pulso de O<sub>2</sub>;  $\dot{V}C$  — volume corrente. Todos os intervalos de tempo sublinhados pela mesma linha não diferem significativamente entre si. \* significativo a 5% de probabilidade.

Considerando-se ainda a maior variabilidade do percentual de  $\dot{V}O_2$ , máximo da ocorrência do LA, pode-se supor que houve um acerto metodológico para normalizar a intensidade de esforço para todos os indivíduos, através do emprego de 80% do LA.

Na realidade, se poderia supor que alguns indivíduos talvez não tivessem conseguido completar o período de 40 min se uma intensidade de 75% do  $\dot{V}O_2$  máximo, equivalente à empregada pelos pesquisadores escandinavos, tivesse sido testada experimentalmente.

Além da concentração plasmática de lactato, vários métodos têm sido propostos para identificar o LA, sendo os principais a  $\dot{V}_E$ , a PET, PET<sub>O</sub>, o RQ<sup>2</sup>, ECO e  $\dot{V}_E / \dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}C / \dot{V}O_2$  e mais recentemente, uma outra interessante possibilidade a relação FR/FC<sup>11</sup>. Desses, o mais simples e mais freqüentemente usado e que tem sido considerado válido por vários autores<sup>4,7,12</sup> é o aumento não linear de  $\dot{V}_E$ .

O protocolo de incrementos pequenos e progressivos de carga usado neste estudo parece ser o mais conveniente para a determinação do LA, devido ao maior poder discriminativo e especificidade, possibilitando, segundo Wasserman e Whipp<sup>13</sup> um maior nível de lactato e uma maior probabilidade de ocorrência do platô de  $\dot{V}O_2$ . Os

valores encontrados por Davis e col.<sup>14</sup>, para o LA em estudantes americanos  $\dot{V}O_2$  máximo médio de 46,6 ml. Kg<sup>-1</sup>. min<sup>-1</sup>, eram em média de 63,8% (variação entre 47,4 e 83,6%). Estes dados são comparáveis aos obtidos no presente estudo, cuja média foi de 70,3% (mínimo de 47% e máximo de 93%). Considerando-se que a nossa amostra apresentava  $\dot{V}O_2$  médio de 52,2 ml. Kg<sup>-1</sup>. min<sup>-1</sup>, sendo ligeiramente maior do que a de Davis e col.<sup>14</sup>, confirma-se, indiretamente, a acurácia de nossa estimativa de LA.

Segundo Davis e col.<sup>14</sup>, os valores obtidos na cicloergometria são um pouco menores do que os encontrados no tapete rolante e significativamente maiores do que os observados na cicloergometria de braço. Isso provavelmente não se deve à quantidade de musculatura envolvida no esforço, conforme sugeriram esses autores, pois Stamford e col.<sup>15</sup> verificaram iguais níveis percentuais de  $\dot{V}O_2$  máximo para LA, quando os mesmos indivíduos realizavam esforços com uma ou duas pernas. Provavelmente, a especificidade de LA para o tipo de exercício, possivelmente está mais ligada à perfusão do tecido muscular em atividade.

Dentre as variáveis que aumentaram com o exercício, a FC é aquela de maior interesse prático, devido à facilidade com que ela: é rigorosamente determinada, tomando sua utilização possível em programas de reabilitação cardíaca ou de treinamento físico em geral.

Os nossos dados estão de acordo com os de outros estudos<sup>2,3,16-19</sup>, que verificaram um nítido aumento da FC com o exercício prolongado. Na realidade, Ekelund e Holmgren<sup>3</sup> encontraram um aumento da FC de 30-50 sístoles-hora<sup>-1</sup> e Ahlborg<sup>18</sup> verificou coeficientes lineares de FC em função de tempo de 0,85 e 0,53 sístoles.min<sup>-1</sup> para a 1.ª e a 2.ª meia hora de exercício prolongado, respectivamente. Estes valores são comparáveis ao nosso coeficiente linear de 0,6167 sístoles min<sup>-1</sup>.

Esse aumento de FC é normalmente acompanhado de uma diminuição do volume sistólico e pequena ou nenhuma variação do débito cardíaco<sup>2,3,16,17</sup>. Isso é devido, primeiramente, ao aumento do volume sanguíneo central por maior filtração capilar que, por sua vez, causa uma diminuição de retomo venoso, da pressão atrial direita, do volume diastólico final do ventrículo direito e, finalmente, do volume sistólico do ventrículo esquerdo, levando por mecanismos ainda não compreendidos, a uma elevação proporcional da FC, para manter um débito cardíaco constante.

Outra possibilidade, que pode estar associada à anterior, relaciona esse aumento de FC a temperatura corporal, a qual aumenta durante o esforço prolongado<sup>20-22</sup>, na dependência do grau de hidratação corporal prévio<sup>23</sup>, já que a FC e a temperatura corporal mantêm íntima relação entre si<sup>22,24</sup>. Isso também foi sugerido por Astrand e Rodahl<sup>1</sup>, que relataram um maior valor de quando um exercício prolongado era feito em temperatura ambiente elevada. Todavia, essa hipótese não pôde ser testada no presente trabalho, pois não houve qualquer controle da temperatura corporal dos indivíduos testados.

É também possível que o reflexo desencadeado pelos barorreceptores possa influenciar de algum modo no sentido de aumentar a FC, pois a pressão arterial média diminui progressivamente em esforços contínuos prolongados<sup>3</sup>. Rowell<sup>25</sup> assinalou que os barorreceptores continuam a atuar na vigência de esforço físico.

Um efeito do lactato é pouco provável, já que os dados de Saltin e Stemberg<sup>2</sup> mostram uma diminuição da concentração plasmática de lactato durante o exercício prolongado, portanto uma resposta inversa à da FC.

O aumento de  $\dot{V}O_2$  e  $\dot{V}_E$ , já havia sido observado por outros autores<sup>2,26</sup>, embora fosse de níveis menores do que os encontrados neste estudo. Hagberg e col.<sup>26</sup> encontraram cerca de 97% do valor final de  $\dot{V}O_2$  aos 20 min de exercício, valor aproximadamente igual aos nossos resultados (93% aos 20 min).

Wasserman e Whipp<sup>13</sup> e Saltin e Stenberg<sup>2</sup> mostraram que existe uma progressiva diminuição do RQ em função de uma maior utilização de lipídios em um esforço submáximo prolongado, o que provocaria menor eficiência de trabalho. Ao nosso ver, essa é a principal razão para o aumento de  $\dot{V}O_2$  observado com o exercício prolongado, embora não tenha sido possível comprovar esta hipótese, pois problemas técnicos nos impediram de obter valores corretos de VCO<sub>2</sub> para todos os indivíduos e portanto de RQ. Um fator de importância secundária talvez seja o aumento do gasto energético para atender ao aumento de  $\dot{V}_E$ , que ocorre concomitantemente.

O aumento da  $\dot{V}_E$  pode estar relacionado com o aumento da temperatura corporal, já que estas duas variáveis são normalmente associadas em condições normais e em estados febris. Não obstante, Sawka e col.<sup>20</sup> têm discordado dessa relação, mostrando valores constantes de  $\dot{V}_E$  em esforços moderados e prolongados em indivíduos treinados apesar de um aumento da temperatura corporal.

Ao contrário dos ciclistas altamente treinados de Sawka e col.<sup>20</sup>, os nossos indivíduos aumentavam significativamente a frequência respiratória (FR) com o esforço prolongado. Não está claro se essas diferenças podem ser atribuídas à discrepância quanto ao nível de condicionamento físico entre os grupos estudados ou aos aspectos metodológicos distintos nos 2 trabalhos. Todavia, pode-se verificar que esse comportamento foi observado em todos os 11 indivíduos estudados e já era significativa a diferença entre os valores obtidos no 15.º e 20.º min.

Os índices derivados mostraram diferenças menos exuberantes com a prorrogação do esforço. O pulso de O<sub>2</sub> ( $\dot{V}O_2/FC$ ) parece refletir o volume sistólico e a diferença artério-venosa de O<sub>2</sub>. No presente estudo observou-se um valor aproximadamente constante para esse índice durante os 40 min de esforço, com o intervalo inicial (5 min) e os intervalos finais apresentando valores ligeiramente maiores, sem todavia haver diferenças significativas entre esses e os demais ( $p > 0,05$ ). Como as duas variáveis, que geram o índice crescem em magnitude aproximadamente igual durante o exercício, já seria de se esperar tal

comportamento do pulso de O<sub>2</sub>.

Se analisarmos por outro ângulo, vemos que as variáveis provavelmente refletidas por este índice se comportam de modo diametralmente oposto, ou seja, um aumento da diferença artério-venosa de oxigênio e uma diminuição do volume sistólico com o esforço submáximo prolongado, o que confirma teoricamente, o comportamento experimental observado.

Um discreto aumento do equivalente ventilatório de O<sub>2</sub> foi observado neste estudo e no de Saltin e Stemberg<sup>2</sup>, sendo contudo apenas significativa a diferença entre o 5.º e o 40.º min ( $p < 0,05$ ). Esse aumento pode ter ocorrido em função de uma diferença na cinética de  $\dot{V}_E$  e de  $\dot{V}O_2$ , já que o  $\dot{V}O_2$  tem uma constante de tempo muito mais curta<sup>7</sup>, e conforme se evidenciou em nosso estudo, por uma ausência significativa de paralelismo entre as regressões lineares de  $\dot{V}_E$  e  $\dot{V}O_2$ , em função do tempo.

O volume corrente foi a única variável estudada que diminuiu significativamente, durante o esforço submáximo prolongado, embora as comparações "post-hoc" efetuadas não localizaram diferenças significativas entre nenhum par de intervalos ou nas duas metades do tempo de esforço ( $p > 0,05$ ).

Tal fato já havia ocorrido em um trabalho de Sawka e col.<sup>20</sup> que todavia não comentam esse comportamento. Dados interessantes provêm do estudo de Doust e Patrick<sup>27</sup>, que verificaram que a leitura em voz alta de um texto de 100 palavras em 30 s, durante um exercício moderado, causava uma redução na  $\dot{V}_E$  sem alteração de VC. Na prática, o aumento de  $\dot{V}_E$  com redução de VC tende a diminuir de modo relativo a ventilação alveolar, o que seria negativo para o organismo, no seu esforço de efetuar mais eficientemente as trocas gasosas durante o exercício, ainda que favorecendo a dissipação de calor. Talvez a necessidade de maior dissipação de calor fosse na realidade a causa para um aumento de FR\*.

Existe uma boa correlação entre dados de biopsia muscular de diafragma e provas de função pulmômar<sup>28</sup> podendo levar a supor que haveria uma mudança no padrão de estimulação motora do diafragma após 40 min de esforço, que poderia levar a valores proporcionalmente maiores de FR e menores de VC, para determinado valor de  $\dot{V}_E$ .

Com base nas informações disponíveis, qualquer conclusão é meramente especulativa, não se devendo afastar a hipótese de um erro estatístico do tipo I para a ANOVA de VC, já que valores mais rigorosos de significância, (e.g. 1%) mostrariam valores não significativos de F.

A sensação subjetiva de cansaço (RPE) apresenta rotineiramente, excelentes correlações com a FC, o  $\dot{V}O_2$ , a  $\dot{V}_E$  e a FR. Não obstante acredita-se que provavelmente, inexistente uma relação causal entre essas variáveis e a RPE, muito embora a  $\dot{V}_E$  e a FR tenham sido propostos como possíveis fontes de informações para o processamento desse sinal. Como

\* N. Balfour Slonim, comunicação pessoal.

exemplo disto, podemos citar a observação de que a relação RPE e FC pode ser drasticamente alterada por manobras de bloqueio farmacológico dos ramos do sistema nervoso autônomo<sup>29</sup>.

Fatores locais, tais como lactato e até hormonais como as catecolaminas, têm recebido a tenção de pesquisadores, sem contudo ser definitivamente caracterizado qualquer comportamento que não de mera associação.

Acredita-se atualmente, que a RPE pode ser medida por fatores locais e centrais (cardiorrespiratórios), sendo provavelmente, mais importantes os primeiros nos esforços de curta duração, enquanto nos de longa duração haveria uma maior importância dos fatores centrais.

Como Mihevic<sup>29</sup> comenta em sua excelente atual revisão do tópico, a RPE parece ser dependente de uma variedade de fatores que o indivíduo pondera de um modo muito particular, para formular a sua RPE em uma dada situação de exercício.

A RPE foi mais precoce no esforço físico de intensidade constante. Isto significa que o mesmo trabalho mecânico foi percebido como progressivamente mais extenuante pelo indivíduo que o executava.

Na realidade, a RPE foi a variável, dentre aquelas estudadas, que apresentou melhor correlação com o tempo de exercício, o que vem confirmar a validade de seu emprego para a avaliação do grau de intensidade de um esforço.

Uma eventual crítica ao método usado no presente estudo é quanto ao uso de uma faixa de rotações por minuto na bicicleta - 60 a 80 rpm - ao invés de um único valor fixo tal como 60 rpm. Ela seria fundamentada na observação de que a maioria dos indivíduos tende a utilizar espontaneamente uma rotação mais rápida no período final de exercício e nas evidências experimentais de que o gasto energético para pedalar sem carga a 60 rpm é bastante menor do que o necessário para 80 rpm<sup>30</sup>. Esses autores encontraram que a RPE e a FC aumentavam linearmente com o número de rpm em uma carga, submáxima, enquanto Löllgen e col.<sup>31</sup> concordam com os dados relativos à FC e discordam dos relativos à RPE.

Todavia o aumento da FC verificado em nosso estudo dificilmente poderia ser explicado apenas por qualquer eventual variação na frequência de pedaladas, já que ocorreu de modo sistemático, enquanto o aumento de rpm com o prolongamento do esforço não foi sistemático e não ocorreu em todos os indivíduos. Menos provável ainda é um possível efeito sobre a RPE, pois se os indivíduos em algum instante pedalarão mais rápido foi porque assim julgaram melhor, não sendo coerente esperar nessas circunstâncias o aumento observado da RPE.

Sumariamente deve-se destacar o aumento de 0,62 sístoles-min<sup>-1</sup> observado para FC, pela sua pronta aplicação clínica e desportiva. Para melhor interpretação de um valor de FC no exercício, recomenda-se que não somente se conheça a intensidade, mas também a duração do exercício. Isso pode ser visto na figura 2, onde se verifica que, para um esforço de intensidade igual a 80% de LA, a FC aos 5

min e aos 40 min foram respectivamente, 143 e 167 sístoles-min<sup>-1</sup>, com uma variação percentual de aproximadamente 17%.

Paralelamente, a RPE parece ser um fiel indicador do estresse fisiológico envolvido em um esforço prolongado e seu uso poderá ser útil para a prescrição e acompanhamento da intensidade da atividade física em um indivíduo. Isso já foi recentemente sugerido por outros autores<sup>32</sup>.

Esses dados parecem sugerir ainda que a intensidade do exercício poderá ser acentuadamente normalizada para um grupo de indivíduos quando ela é expressa em um dado percentual do nível em que ocorreu o LA do indivíduo.

Finalmente, este estudo quantificou as respostas de determinadas variáveis a um exercício submáximo prolongado, confirmando a opinião de Hagberg e col.<sup>26</sup> de que valores obtidos nos primeiros 4 a 5 min de esforço a uma carga constante não traduzem exatamente, o que ocorrerá se esse esforço for prolongado, e não devem ser denominados de valores de "steady-state", pois esses certamente não ocorrem após apenas 5 min de exercício submáximo.

## Summary

It is generally accepted that the cardiorespiratory variables achieve steady-state about five minutes during a submaximal exercise. The purpose of this study was to evaluate the constancy of selected cardiorespiratory variables in a prolonged submaximal exercise. Eleven asymptomatic men (age range 21-35 years) were submitted to two tests in an electrically braked bicycle ergometer. The maximal ergospirometric data were determined in the first test. In the second test, each subject pedaled during 40 minutes using a workload equal to 80% of anaerobic threshold. At least three days were allowed between the tests. For statistical analysis, only the five minute interval values were considered (i.e, 5, 10, ..., 35, 40 minutes). The ANOVA showed significant differences for all the variables studied ( $p < 0.05$ ), except for the  $\dot{V}O_2$ , pulse ( $\dot{V}O_2$ , HR). The regression equations and the correlation coefficients between variables and time were calculated (e.g HR = 0.6167 t (min) + 144.25;  $r = 0.9604$ ;  $t = 8.44$  ( $p < 0.05$ ). Scheffé's contrast method was used to compare values obtained during the two parts of the test and showed significant difference for HR,  $\dot{V}O_2$ , V and RF ( $p < 0.05$ ). It was concluded that: 1) most of the cardiorespiratory variables studied do not achieve steady-state values at five minutes of a submaximal bicycle exercise; 2) HR values measured at five minutes can overestimate  $\dot{V}O_2$ , max calculated indirectly by nomograms, since they do not represent the actual HR steady-state values.

## Referências

1. Astrand, P. O.; Rodahl, K. - Textbook of Work Physiology. 2. Ed. Mc Graw Hill, New York, 1977. P. 356.
2. Saltin, B. ; Stenberg, J. - Circulatory response to prolonged severe exercise. J. Appl. Physiol. 19: 883, 1964.
3. Ekelund, L. G ; Holmgren, A. - Circulatory and respiratory adaptation, during long-term, non-steady



- state exercise, in the sitting position. *Acta Physiol Scand.* 62: 240, 1964.
4. Wasserman, K. ; Whipp, B. J. ; Koyal, S. N. ; Beaver, W. L. - Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35: 236, 1973.
  5. Ribeiro, J. P. ; De Rose, E. H. - Limiar anaeróbico - uma alternativa no diagnóstico da capacidade para realizar exercícios físicos de longa duração. *Ver. Bras. Cien. Esporte* 2: 10, 1980.
  6. Jones, N. L. ; Campbell, E. J. M. ; Edwards, R. H. T. ; Robertson, D. G. - *Clinical Exercise Testing.* W. B. Saunders, Philadelphia, 1975. P. 50.
  7. Hughson, R. L. ; Kowalchuk, J. M. - Influence of diet on CO production and ventilation in constant-load exercise. *Respirat. Physiol.* 46: 149, 1981.
  8. Grubbs, F. E. - Sample criterion for testing outlying observations. *Ann. Math. Stat.* 21: 27, 1950.
  9. Kleinbaum; D. G. ; Kupper, L. L. - *Applied Regression Analysis and other Multivariable Methods.* Duxbury Press, North Scituate, 1978.
  10. Reinhard, U. ; Muller, P. H. ; Shmulling, R. M. - Determination of anaerobic threshold by the ventilation equivalent in normal individuals. *Respiration*, 38: 36, 1979.
  11. Silva, A. C. ; Barros Neto, T. L. ; Piçarro, I. C. , Russo, A. K. ; Tarasantchi, J. ; Puga-Barbosa. A. S. ; Tálamo, E. ; Freire, E. - Limiar anaeróbico: determinação pela resposta de frequência respiratória. *Anais do XVI Congresso Brasileiro de Fisiologia, Rio de Janeiro, 1982.* p. 45.
  12. Weltaman, A. ; Katch, V. L. - Relationship between the onset of metabolic acidosis (anaerobic threshold) and maximal oxygen uptake. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 19: 135, 1979.
  13. Wasserman, K. ; Whipp, B. J. - Exercise physiology in health and disease. *Am. Rev. Resp. Dis.* 112: 219, 1975.
  14. Davis, J. A. ; Vodak, P. ; Wilmore, J. H. ; Vodak, J. ; Kurtz, P. - Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 41: 544, 1976.
  15. Stamford, B. ; Weltman, A. ; Fulco, C. - Anaerobic threshold and cardiovascular responses during one-versus-two-legged cycling. *Res. Quart.* 49: 351, 1978.
  16. Sawka, M. N. ; Knowlton, R. G. ; Critz, J. B. - Thermal and circulatory responses to repeated bouts of prolonged running. *Med. Sci. Sports* 11: 177, 1979.
  17. Ekelund, L. G - Circulatory and respiratory adaptation to prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 70 (suppl. 292): 1, 1967.
  18. Ahlborg, B. - Pulse rate during prolonged exercise in man. *Särtryck ur försvarsmedicin* 3: 112, 1967.
  19. Máček, M. ; Vávra, J. ; Novasadvá, J. - Prolonged exercise in prepubertal boys. I. Cardiovascular and metabolic adjustment. *Eur. J. Appl. Physiol.* 35: 290, 1976.
  20. Sawka, M. N. ; Knowlton, R. G. ; Glaser, R. M. - Body temperature, respiration and acid-base equilibrium during prolonged running. *Med. Sci. Sports Exercise*, 12: 370, 1980.
  21. Davies, C. T. M. ; Brotherhood, J. R. ; Zeidi Fard, E. - Effects of atropine and beta-blockade on temperature regulation and performance during prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 38: 225, 1978.
  22. Tanaka, M. ; Volle, M. A. ; Brisson, G. R. ; Dion M. - Body temperature and heart rate relationship during submaximal bicycle ergometer exercises. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42: 263, 1979.
  23. Nadel, E. R. - Circulation and thermal regulations during exercise. *Federation Proc.* 39: 1491, 1980.
  24. Kuhlmeur, K. V. ; Miller, J. M. - Pulse rate-rectal temperature relationships during prolonged work. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol* 44: 450, 1978.
  25. Rowell, L. B. - What signals govern the cardiovascular responses to exercise. *Med. Sci. Sports Exercise* 12: 307, 1980.
  26. Hagberg, J. M. ; Mullin, J. P. ; Nagle, F. J. - Oxygen consumption during constant-load exercise. *J. Appl. Physiol: Respirat Environ. Exercise Physiol.* 45: 381, 1978.
  27. Doust, J. H. ; Patrick, J. M. - The limitation of exercise ventilation during speech. *Respirat. Physiol.* 46: 137, 1981.
  28. Lieberman, D. A. ; Faulkner, J. A. ; Craig, A. B. ; Maxwell, L. C. - Performance and histochemical composition of guinea pig and human diaphragm. *J. Appl. Physiol.* 34: 233, 1973.
  29. Mihevic, P. M. - Sensory cues for perceived exertion: a review. *Med. Sci. Sports Exercise*, 13: 150, 1981.
  30. Hagberg, J. M. ; Mullin, J. P. ; Giese, M. D. ; Spitznagel, E. - Effect of pedaling rate on submaximal exercise responses of competitive cyclist. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 51: 447, 1981.
  31. Löllgen, H. ; Ulmer, H. V. ; Nieding, G. V. - Heart rate and perceptual response to exercise with different pedalling speed in normal subjects and patients. *J. Appl. Physiol.* 37: 297, 1977.
  32. Smutok, M. A., Skrinar, G. S. ; Pandolf, K. B. - Exercise intensity: subjective regulation by perceived exertion. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 61: 569, 1980.