

# GRANDEZAS HEMODINÂMICAS DURANTE EXERCÍCIO FÍSICO

*Simone A Bertolotti<sup>1</sup>, Kumiko K Sakane<sup>2</sup>, Mituo Uehara<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento / Engenharia Biomédica – Universidade do Vale do Paraíba  
Av.: Shishima Hifumi, 2911– Urbanova – São José dos Campos – SP, e-mail<sup>1</sup>: simone@univap.br

<sup>2</sup>Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento / Biofísica Teórica – Universidade do Vale do Paraíba  
Av.: Shishima Hifumi, 2911 – Urbanova – São José dos Campos – SP, e-mail<sup>2</sup>: mituo@univap.br

**Resumo:** Foram medidas a pressão arterial, a frequência cardíaca e a taxa de consumo de oxigênio, de uma pessoa saudável, do sexo feminino, 23 anos, 58 kg e 1,65 m, exercitando-se numa esteira ergométrica. As medidas foram efetuadas para a pessoa em repouso e em quatro níveis de exercício. Calculou-se o débito cardíaco através de uma equação ainda inédita. Estudou-se a variação do duplo produto, do débito cardíaco, do volume de ejeção e da resistência sistêmica, em função da taxa de consumo de oxigênio. Observamos que o duplo produto aumenta com o aumento do nível do consumo de oxigênio. Há uma correlação aproximadamente linear entre o débito cardíaco e a taxa do consumo de oxigênio ( $r = 0,9987$ ), sendo o coeficiente angular igual a 6,3. O volume de ejeção aumenta no início do exercício e depois permanece praticamente constante com o aumento do nível de exercício. A resistência sistêmica diminuiu com o aumento do nível de exercício, variando inversamente com o débito cardíaco.

**Palavras-chave:** sistema cardiovascular; débito cardíaco; consumo de oxigênio; exercício físico.

**Área de Conhecimento:** Ciências Biológicas.

## Introdução

O sistema cardiovascular é constituído pelo coração e dois sistemas vasculares, a circulação sistêmica e a circulação pulmonar. O coração divide-se em coração direito e coração esquerdo, cada qual com um átrio e um ventrículo, que periodicamente contraem e relaxam, com movimentos chamados, respectivamente, de sístole e diástole. Os átrios funcionam como reservatório, recebendo o sangue venoso durante a sístole ventricular. Durante a diástole ventricular o sangue flui do átrio para o ventrículo. Os ventrículos são as principais câmaras bombeadoras, sendo que o ventrículo esquerdo alimenta a circulação sistêmica, enquanto o ventrículo direito bombeia o sangue venoso, proveniente da circulação sistêmica, para a circulação pulmonar, onde o dióxido de carbono é eliminado e o sangue é enriquecido com oxigênio.

O débito cardíaco, o volume de ejeção e a resistência sistêmica são grandezas hemodinâmicas importantes do sistema cardiovascular e são definidas a seguir:

- Débito cardíaco é o volume de sangue bombeado pelo coração, por unidade de tempo;
- Volume de ejeção é o volume de sangue ejetado pelo coração em cada contração sistólica;
- Resistência sistêmica é a resistência viscosa ao fluxo sanguíneo através da circulação sistêmica, e é dada aproximadamente pela razão entre a pressão arterial média e o débito cardíaco.

A realização de exercícios físicos impõem ao sistema cardiovascular uma sobrecarga decorrente de um aumento das necessidades metabólicas dos músculos que exercem uma atividade mais intensa, ao mesmo tempo que deve

ser mantido o atendimento de outros órgãos. O sistema responde a essas exigências por um aumento da ventilação pulmonar, um aumento do débito cardíaco, em aumento da pressão arterial e uma redistribuição do fluxo de sangue, com um aumento do fluxo em direção aos músculos mais ativos. O aumento do débito cardíaco pode resultar de diversos fatores, como a frequência cardíaca, o volume de sangue contido no coração no final da fase diastólica e a contratilidade do músculo cardíaco. Esse aumento do débito cardíaco significa, portanto, que as funções cardíacas são alteradas pela realização de exercícios físicos.

Neste trabalho são determinadas várias grandezas hemodinâmicas durante a realização de exercícios físicos. Particularmente foram investigadas as relações do duplo produto, débito cardíaco, volume de ejeção e resistência sistêmica com o consumo de oxigênio.

## Materiais e Métodos

Para diversas condições (repouso, exercício 1, exercício 2, exercício 3, exercício 4 e recuperação) foram medidas a frequência cardíaca, a pressão sistólica, a pressão diastólica, o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono, de um indivíduo, do sexo feminino, 23 anos, 58 kg e 1,65 m de altura, não cardiopata.

Os materiais utilizados foram:

- Esteira Ergométrica, marca Inbrasport, modelo Super Atl;
- Analisador Metabólico, marca Medgraphics VO2000, modelo 800800-001;
- Eletrocardiograma Digital, marca Micromed;
- Esfigmomanômetro.

Procedimento das medidas:

- Repouso: parado em posição ortostática na esteira ergométrica durante 5 minutos;
- Exercício 1: caminhando a 3 km/h na esteira ergométrica durante 5 minutos;
- Exercício 2: caminhando a 4 km/h na esteira ergométrica durante 5 minutos;
- Exercício 3: caminhando a 5 km/h na esteira ergométrica durante 5 minutos;
- Exercício 4: caminhando a 6 km/h na esteira ergométrica durante 5 minutos;
- Recuperação: diminuindo o ritmo da caminhada até parar, durante 5 minutos.

O teste ergométrico foi realizado no Laboratório de Avaliação do Esforço Físico (LAEF) na Universidade do Vale do Paraíba com a supervisão do Prof<sup>o</sup> MSc. Fabiano de Barros Souza.

#### Cálculo das Grandezas Fisiológicas

Para cada grandeza fisiológica foram calculados a média, o desvio padrão e o desvio padrão da média, correspondente a cada condição. Quanto à pressão sistólica e à pressão diastólica, como foi realizada apenas uma medida para cada condição, foi atribuído um desvio avaliado de  $\pm 2$  mmHg.

Tabela 1: Pressão sistólica, pressão diastólica, frequência cardíaca, consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono, para diversos níveis de exercício.

| Condição    | $p_s$<br>(mmHg) | $p_D$<br>(mmHg) | $f$<br>( $\text{min}^{-1}$ ) | $VO_2$<br>(l/min) | $VCO_2$<br>(l/min) |
|-------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| Repouso     | $100 \pm 2$     | $70 \pm 2$      | $79,8 \pm 0,4$               | $0,46 \pm 0,01$   | $0,38 \pm 0,01$    |
| Exercício 1 | $110 \pm 2$     | $60 \pm 2$      | $90,0 \pm 0,9$               | $0,72 \pm 0,02$   | $0,55 \pm 0,01$    |
| Exercício 2 | $115 \pm 2$     | $60 \pm 2$      | $94,1 \pm 0,5$               | $0,82 \pm 0,01$   | $0,67 \pm 0,01$    |
| Exercício 3 | $115 \pm 2$     | $50 \pm 2$      | $106,7 \pm 0,7$              | $0,93 \pm 0,01$   | $0,80 \pm 0,01$    |
| Exercício 4 | $120 \pm 2$     | $55 \pm 2$      | $124,2 \pm 0,4$              | $1,13 \pm 0,01$   | $1,02 \pm 0,01$    |
| Recuperação | $110 \pm 2$     | $60 \pm 2$      | $87,7 \pm 0,7$               | $0,67 \pm 0,03$   | $0,61 \pm 0,02$    |

$p_s$ : pressão sistólica;  $p_D$ : pressão diastólica;  $f$ : frequência cardíaca;  $VO_2$ : consumo de oxigênio;  $VCO_2$ : produção de dióxido de carbono.

Com os valores médios das grandezas fisiológicas foram calculados a pressão arterial média, o duplo produto, o débito cardíaco, o volume de ejeção e a resistência sistêmica, com seus respectivos desvios.

A pressão arterial média foi calculada através da equação  $p_A = \frac{2p_D + p_S}{3}$ , onde  $p_A$  é a pressão arterial média,  $p_D$  é pressão diastólica e  $p_S$  é a pressão sistólica.

Define-se o duplo produto pela expressão:  $z = fp_S$ , onde  $z$  é o duplo produto e  $f$  é a frequência cardíaca.

O débito cardíaco foi calculado através da equação  $Q = \frac{\eta c E \Omega}{\left(1 + \frac{p_p}{p_s}\right) p_s}$ , onde  $Q$  é o débito

cardíaco;  $\eta$  a eficiência do coração no trabalho de bombeamento do sangue;  $c$  a fração do volume de oxigênio consumido pelo coração, em relação ao volume total consumido pelo corpo;  $E$  a energia liberada em reações metabólicas, por litro de oxigênio consumido;  $p_p$  a pressão sistólica

pulmonar;  $p_S$  a pressão sistólica sistêmica e  $\Omega = VO_2$  é o volume de oxigênio consumido por todo o corpo, por unidade de tempo.

A dedução dessa equação, ainda inédita, foi recentemente submetida para publicação (UEHARA, SAKANE e BERTOLOTTI; 2007).

Com base em dados publicados na literatura, utilizamos os valores:  $\eta c = 0,64 \times 10^{-2}$ ;  $E = 5,0$  kcal/(litro de oxigênio);  $p_S / p_p = 7$ .

O volume de ejeção,  $S$ , é dado por:  $S = \frac{Q}{f}$ , e

a resistência sistêmica,  $R$ , por:  $R = \frac{p_A}{Q}$ .

#### Resultados

A Tabela 2 contém os resultados dos cálculos. Com esses resultados foram traçados os gráficos mostrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4.

Tabela 2: Pressão arterial média, duplo produto, débito cardíaco, volume de ejeção e resistência sistêmica, para diversos níveis de exercício.

| Condição    | $p_A$<br>(mmHg) | $f.p_s$<br>( $\text{min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$ ) $10^3$ | $Q$<br>(l/min) | $S$<br>(ml) | $R$<br>(mmHg.s/ml) |
|-------------|-----------------|---|----------------|-------------|--------------------|
| Repouso     | $80 \pm 2$      | $8,0 \pm 0,2$   | $4,1 \pm 0,4$  | $51 \pm 5$  | $1,17 \pm 0,12$    |
| Exercício 1 | $77 \pm 2$      | $9,9 \pm 0,2$   | $5,8 \pm 0,6$  | $64 \pm 7$  | $0,80 \pm 0,09$    |
| Exercício 2 | $78 \pm 2$      | $10,8 \pm 0,2$  | $6,3 \pm 0,6$  | $67 \pm 6$  | $0,74 \pm 0,07$    |
| Exercício 3 | $72 \pm 2$      | $12,3 \pm 0,2$  | $7,2 \pm 0,7$  | $67 \pm 7$  | $0,60 \pm 0,06$    |
| Exercício 4 | $77 \pm 2$      | $14,9 \pm 0,2$  | $8,3 \pm 0,9$  | $67 \pm 7$  | $0,56 \pm 0,06$    |
| Recuperação | $77 \pm 2$      | $9,6 \pm 0,2$   | $5,4 \pm 0,6$  | $62 \pm 7$  | $0,86 \pm 0,10$    |

$p_A$ : pressão arterial média;  $f.p_s$ : duplo produto;  $Q$ : débito cardíaco;  $S$ : volume de ejeção;  $R$ : resistência sistêmica.

A Figura 1 mostra que o duplo produto aumenta com o aumento do nível do consumo de oxigênio. A relação linear que melhor se ajusta aos dados experimentais é  $f.p_s = A + B\Omega$ , onde  $f.p_s$  é o duplo produto,  $\Omega$  a taxa de consumo de oxigênio,  $A = (2,8 \pm 0,8) 10^3 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mmHg}$  e  $B = (10,3 \pm 1,0) 10^3 \text{ mmHg.l}^{-1}$ . O fator de correlação foi  $r = 0,9864$ .

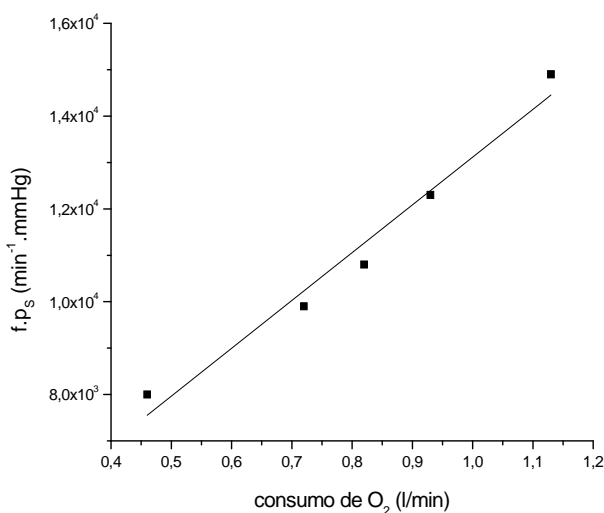


Figura 1: Duplo produto em função do consumo de oxigênio.

A Figura 2 mostra o gráfico do débito cardíaco em função da taxa do consumo de oxigênio. Os resultados mostram que há uma correlação entre débito cardíaco e consumo de oxigênio. A relação linear que melhor se ajusta aos dados experimentais é  $Q = a + b\Omega$ , onde  $Q$  é o débito cardíaco,  $\Omega$  a taxa de consumo de oxigênio,  $a = (1,21 \pm 0,16) \text{ l/min}$  e  $b = 6,3 \pm 0,2$ . O fator de correlação foi  $r = 0,9987$ .

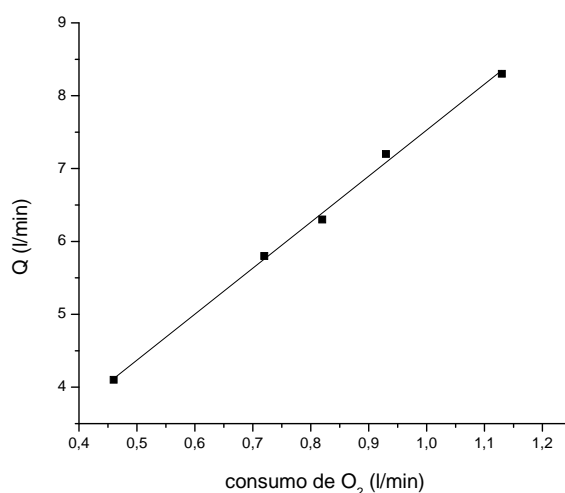


Figura 2: Débito cardíaco em função do consumo de oxigênio.

A Figura 3 mostra a variação do volume de ejeção com o nível de exercício. O volume de ejeção aumenta no início do exercício e depois permanece praticamente constante com o aumento do nível de exercício físico.

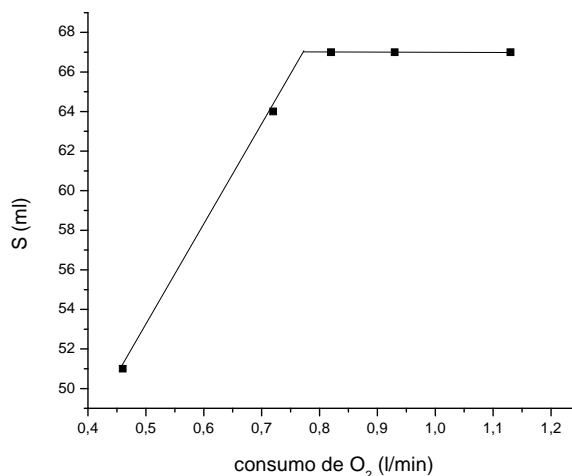


Figura 3: Volume de ejeção em função do consumo de oxigênio.

A Figura 4 mostra a variação da resistência sistêmica com o nível de exercício. Os dados mostram que a resistência sistêmica diminui com o aumento do nível de exercício físico. Supondo a relação,  $R = \frac{0,06A}{a + b\Omega}$ , onde  $a = 1,21$  l/min e  $b = 6,3$ , calculamos, pelo método dos mínimos quadrados, o valor de  $A$  que dá o melhor ajuste aos dados experimentais. Para  $A = (77,7 \pm 1,5)$  mmHg, o fator de correlação foi  $r = 0,9893$ . Para  $\Omega$  em litros/min,  $R$  é dado em mmHg.s.ml<sup>-1</sup>.

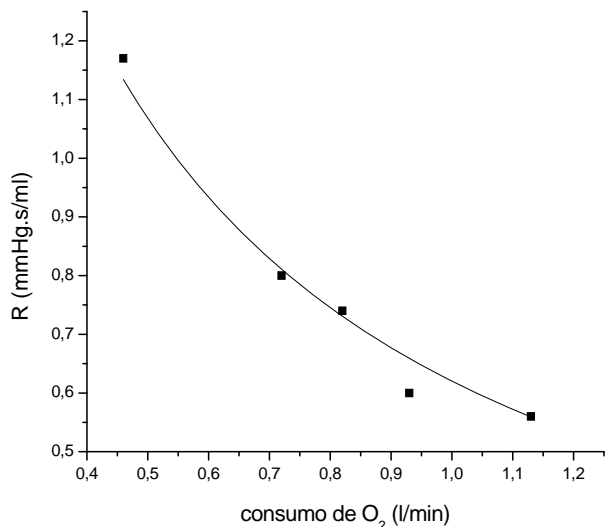


Figura 4: Resistência sistêmica em função do consumo de oxigênio.

### Discussão e Conclusão

A correlação aproximadamente linear entre o duplo produto e a taxa de consumo de oxigênio, mostrada na Figura 1, está de acordo com resultados publicados na literatura (ROWELL, 1986).

A Figura 2 mostra uma correlação aproximadamente linear entre o débito cardíaco e a taxa de consumo de oxigênio, sendo o coeficiente angular  $b = 6,3$ , o que concorda com resultados publicados (SKARVAN, 2000; ROWELL, 1993).

O aumento do volume de ejeção no início do exercício resulta do efeito de bombeamento de sangue, pelo movimento muscular, acarretando um aumento do volume de sangue no coração, no final da fase diastólica. Conseqüentemente, de acordo com a relação de Frank-Starling, na sístole seguinte o volume de ejeção aumenta. Isso ocorre até um certo nível de exercício, além do qual o aumento do volume de ejeção não é apreciável (permaneceu constante). Esse comportamento do volume de ejeção é relatado na literatura

(MILNOR, 1990; McARDLE et al., 1998; ROWELL, 1986).

A Figura 4 mostra que a resistência sistêmica diminui com o nível de exercício. Como a pressão arterial média permaneceu praticamente constante, durante o exercício, a resistência sistêmica variou inversamente com o débito cardíaco, o que é comprovado pela boa correlação ( $r=0,9893$ ) obtida no ajuste da curva  $R = \frac{0,06A}{a + b\Omega}$ , com os dados experimentais. Esse comportamento é relatado na literatura (ROWELL, 1993).

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

### Referências

- McARDLE, W. D; KATCH F. I; KATCH V. L. Fisiologia do Exercício, Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1998, p. 286.
- MILNOR W. R. Cardiovascular Physiology, Oxford University Press, New York, 1990, p. 282.
- ROWELL, L. B. Human Circulation – Regulation During Physical Stress, Oxford University Press, New York, 1986, p. 132, 215.
- ROWELL, L. B. Human Cardiovascular Control, Oxford University Press, New York, 1993, p. 168, 184, 215.
- SKARVAN, K. Ventricular Performance. In **Cardiovascular Physiology**, Second edition, edited by H. J. Priebe and K. Skarvan, BMJ Books, London, 2000, p. 64.
- UEHARA, M; SAKANE, K; BERTOLOTTI, S. Relação entre Débito Cardíaco e Consumo de Oxigênio durante Exercício Físico; a ser publicado pela **Revista Univap**, 2007.