

## Assistência Circulatória ao Coração Direito através da Contrapulsação Pulmonar Usando-se um Método Biológico

Maximiliano Otero Lacoste, José Fernandes, Alejandra I. Christen, Juan Carlos Chachques, Edmundo I. Cabrera Fischer  
Buenos Aires, Argentina

**Objetivo** - Estudar os efeitos hemodinâmicos da pulmonaroplastia dinâmica num modelo animal agudo.

**Métodos** - Seis cães anestesiados foram tratados com contrapulsação pulmonar, obtida através de um mecanismo autólogo, utilizando-se a artéria pulmonar. Procedimento que consiste em colocar ao redor das artérias aorta e pulmonar um enxerto muscular de músculo grande dorsal, introduzido na cavidade torácica logo após sua desinserção. A estimulação do músculo foi realizada durante a diástole em forma sincronizada com o eletrocardiograma (ECG) de superfície. Foram realizadas medições hemodinâmicas de pressões pulmonares, aórticas, débito cardíaco (DC) e índice cardíaco (IC). Na avaliação da eficácia da contrapulsação diastólica pulmonar, utilizou-se o índice de eficiência arterial (IEA), que considera as áreas diastólicas e sistólicas abaixo das curvas de pressão.

**Resultados** - Aumento do DC de  $2,35 \pm 0,26$  para  $2,45 \pm 0,28$  l/min ( $p < 0,005$ ). IC aumentou de  $0,108 \pm 0,020$  para  $0,113 \pm 0,020$  l/min/kg. IEA pulmonar aumentou na diástole, quando realizada a assistência, de  $8,37 \pm 0,60$  para  $11,65 \pm 0,83$  mmHg ( $p < 0,005$ ).

**Conclusão** - A eletromioestimulação do enxerto muscular de grande dorsal é um método eficiente de contrapulsação neste modelo animal de experimentação aguda.

**Palavras-chave:** contrapulsação; artéria pulmonar, grande dorsal

### Right Ventricular Assistance through Pulmonary Artery Counterpulsation Using a Biological Method

**Purpose** - To study the hemodynamic effects of latissimus dorsi dynamic pulmonaroplasty in open chest animals.

**Methods** - Six anesthetized mongrel dogs were subjected to diastolic counterpulsation using electrically stimulated latissimus dorsi muscle flap wrapped around the aortic and pulmonary arteries roots and gated to the surface electrocardiogram. Aortic and Pulmonary pressures as well as cardiac output and cardiac index were measured.

**Results** - Diastolic counterpulsation resulted in a significant increase in cardiac output (from  $2.35 \pm 0.26$  to  $2.45 \pm 0.28$  l/min) ( $p < 0.005$ ) and cardiac index (from  $0.108 \pm 0.020$  to  $0.113 \pm 0.020$  l/min/kg) ( $p < 0.05$ ). The diastolic pulmonary arterial efficiency index showed a significant increase when latissimus dorsi stimulation was on (from  $8.37 \pm 0.60$  to  $11.65 \pm 0.83$  mmHg); ( $p < 0.005$ ).

**Conclusion** - Latissimus dorsi dynamic pulmonaroplasty provides an effective means of arterial counterpulsation in open chest dogs.

**Key-words:** counterpulsation, pulmonary artery, latissimus dorsi

Arq Bras Cardiol, volume 65 (nº 5), 409-412,1995

A insuficiência cardíaca continua sendo, ao conhecimento médico atual, um problema não resolvido. Mesmo com o advento de novas terapêuticas farmacológicas, a mortalidade global nos Estados Unidos permanece entre 200.000 e 400.000 mortes por ano<sup>1</sup>.

Diferentes terapêuticas, como o uso de marcapassos, válvulas protéticas, ponte aorto-coronária e diversas

plásticas e fármacos determinaram uma diminuição significativa, tanto da morbidade como da mortalidade em cada doença em que é utilizada. Apesar disso, a insuficiência cardíaca terminal continua sendo causa de porcentagem significativa de óbitos, seja na unidade coronária<sup>2,3</sup>, como em outras situações.

A cardiomioplastia consiste na utilização de um músculo esquelético eletroestimulado para o tratamento de insuficiência cardíaca. O músculo mais utilizado é o grande dorsal esquerdo, que é transposto para o interior do tórax, em paciente convenientemente anestesiado e sob assistência respiratória mecânica. Posteriormente, esta massa muscular larga e plana é utilizada para envolver ambos ventrículos. Depois de uma série experimental, a

Centro de Pesquisas de Ciências Básicas, Instituto Universal de Ciências Biomédicas.

Fundação Favaloro - Buenos Aires

Correspondência: Edmundo I. Cabrera Fischer - Depto de Investigación y Docencia Fundación Favaloro-Soolis 453 (1078) - Buenos Aires, Argentina

Recebido para publicação em 12/1/95

Aceito em 22/5/95

cardiomioplastia foi introduzida à cirurgia cardiovascular humana por Carpentier e Chachques em 1985<sup>4</sup>.

Outra alternativa para o tratamento da insuficiência cardíaca experimental consiste na utilização do mesmo enxerto muscular, para a contrapulsção da artéria aorta<sup>5</sup>.

O objetivo do presente estudo é apresentar os resultados dos efeitos da bioassistência circulatória contrapulsando a artéria pulmonar através da eletroestimulação de um enxerto muscular pediculado de grande dorsal em um modelo animal.

### Métodos

Foram utilizados 7 cães de raça indefinida, com idades entre 4 e 6 anos, peso médio de 22 a 24kg. Foi realizada indução anestésica com tiopental sódico, 20mg/kg de peso, e mantida com halotano 1% veiculada em oxigênio a 100%, através de um tubo de Bain. A assistência respiratória mecânica foi realizada através de um respirador *Bird Mark VIII*.

Cada animal foi colocado em decúbito lateral esquerdo e praticada uma incisão da axila à crista ilíaca homolateral, na face lateral do hemitórax direito, permitindo a abordagem do músculo grande dorsal e a obtenção do retalho muscular pediculado, realizada de acordo com a técnica já descrita<sup>6-8</sup> que consiste em desprender este músculo de suas inserções e fazer hemostasia das anastomoses vasculares com os pacotes intercostais.

O músculo grande dorsal ficou liberado com exceção de sua inserção no úmero, com especial cuidado em respeitar o pedículo vâsculo-nervoso que transcorre, similarmente, aos humanos, entre o músculo em seu vértice e a gradeado costal. Posteriormente, foi dissecado o tecido célula-adiposo, evidenciando os filetes nervosos. À medida em que o músculo foi liberado de suas inserções, sofreu uma retração que fez perder, em parte, sua forma aplanada, como um "manto", aplicado sobre a grelha costar para adotar a aparência de um "novelo". Posteriormente, foram colocados dois eletrodos (modelo SP 5528; *Medtronic, Maastricht*) destinados a posterior estimulação, passados através da massa muscular adjacente à inserção umeral e em íntima relação com os filetes nervosos.

A seguir, foi realizada uma resseção parcial do 2º arco costal, dispondo-se de uma janela em que passava sem dificuldade o retalho pediculado.

Por último, o retalho pediculado foi transposto para o interior da cavidade torácica, junto com os eletrodos e fios, cuidando-se para que não fosse estrangulado o pedículo. A fenestração torácica foi fechada e, da mesma forma, foi realizada a sutura plana, completando, assim, a primeira etapa da pediculoplastia.

Virou-se, então, o animal, colocando-o em decúbito lateral direito, quando foi realizada uma toracotomia oblíqua, seguindo o 4º espaço intercostal esquerdo. O tronco da artéria pulmonar, a aorta ascendente, o arco

aórtico transverso e seus ramos foram dissecados. Em todos os animais, o músculo grande dorsal pediculado foi posicionado por trás do tronco pulmonar e da raiz aórtica. Deste modo a aorta ascendente e o tronco pulmonar foram envolvidos pelo enxerto muscular. Na figura 1 observa-se a forma em que ficou o grande dorsal quando colocado ao redor do pedículo arterial.

Colocaram-se cateteres destinados à medição das pressões aórtica e pulmonar. Os cateteres foram introduzidos nas artérias e veias femorais esquerdas e conduzidos até a raiz das artérias aorta e pulmonar, respectivamente. Um cateter de Swan-Ganz foi colocado na artéria pulmonar através da veia femoral direita. O débito cardíaco (DC) foi calculado através da técnica de termodiluição. O sinal de termodiluição foi processado por *cardiac output computer Edwards model 9520 A*.

foram medidas as pressões sanguíneas e o DC, antes e depois da eletroestimulação do músculo grande dorsal.

Os eletrodos foram conectados a um cardioestimulador externo, manufaturado em nosso laboratório, com as seguintes características: amplitude de pulso 1-15 volts;

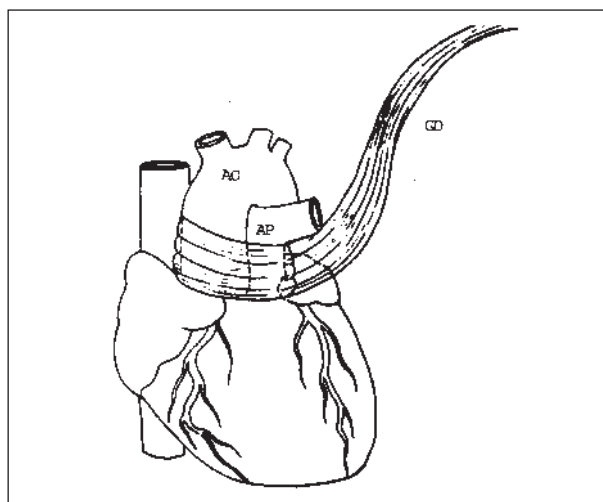


Fig. 1 - Enxerto muscular pediculado do músculo grande dorsal (GD) ao redor do pedículo vascular. Ao- artéria aorta; AP- artéria pulmonar.

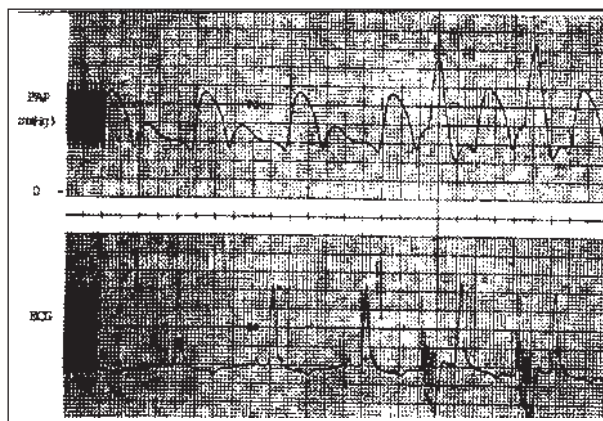


Fig. 2 - Superior: efeito da estimulação do grande dorsal sobre a pressão da artéria pulmonar (PAP). Observa-se o aumento das pressões diastólicas. Inferior: registram-se os trens de impulsos no ECG. Os trens foram realizados por um eletroestimulador.

duração do impulso 220s; frequência do trem de impulsos 30 hertz; número de impulsos 1 a 9.

A estimulação do enxerto muscular de grande dorsal foi realizada com um atraso em relação à onda R; uma amplitude de impulso de 5-7 V; uma duração de 210ms; uma frequência de 30hertz; e uma duração do impulso de 200ms. A contrapulsção diastólica foi realizada usando um atraso da onda R do eletrocardiograma (ECG) de superfície, com o objetivo de prover um bom aumento diastólico. Este atraso foi realizado de forma visual observando a onda de pressão pulmonar.

Para permitir o estudo funcional da pulmonaroplastia dinâmica foram transmitidos ciclos de curto prazo de eletroestimulação muscular esquelética (5min por ciclo). Na figura 2 observa-se um sinal eletrocardiográfico e um trem de impulsos junto a uma onda de pressão pulmonar no painel superior (calibrada em mmHg). Observa-se o incremento da pressão diastólica produzida pela estimulação do enxerto muscular.

Foram realizadas as seguintes determinações hemodinâmicas: medições de pressões aórtica e pulmonar; cálculo de índice cardíaco através do DC e o peso corporal; quantificação da eficácia da contrapulsção diastólica pulmonar usando o índice de eficiência arterial, que considera as áreas sistólicas e diastólicas abaixo da curva de pressão pulmonar<sup>9</sup>.

Nas ondas de pressão pulmonar observe-se que podem diferenciar as áreas abaixo das curvas diastólicas, e podem variar os métodos para separá-las. Na presente série experimental, tomou-se como área sistólica a sístole elétrica, ou seja, desde o começo do complexo QRS, até o final da onda T. sendo considerado o resto do ciclo como área diastólica. Em todos os casos foram tomados três ciclos consecutivos e retirada a média.

O estudo estatístico das ondas obtidas foi realizado pelo teste T de Student pareado. Os valores de pressão considerados são resultados da média de 3 batimentos consecutivos, e o valores de DC são resultado da média de 3 determinações consecutivas. Os níveis de significância considerados foram  $p < 0,05^{10}$ .

## Resultados

Dos 7 animais operados, um teve que ser dispensado devido a erros técnicos e baixa qualidade do registro de pressões. Não houve óbitos durante a cirurgia e não se apresentaram arritmias severas. A sangria, seja do músculo como das diferentes incisões, não foi significativa.

Os registros foram feitos em condições basais e depois da estimulação do grande dorsal. Em nenhum caso foi observado regurgitação valvular pulmonar ou aórtica, ou algum tipo de arritmia, prévia ou posterior à eletroestimulação.

Estes testes foram rigorosamente controlados de forma visual, já que se tratava de experimentação aguda.

Tabela I - Valores obtidos com o índice de eficiência arterial (mmHg)

Cão	Sistólico basal	Sistólico assistido	Diastólico basal	Diastólico assistido
1	18	18	8,7	11
2	20	18	8,4	10,9
3	17	16	7,5	13
4	17	16		12
5	18,5	18	9,0	11
6	21	20	7,8	12
M	18,58	17,67	8,37	11,65
DP	1,63	1,51	0,60	0,83

Significância estatística quando comparados valores diastólicos ( $p=0,002$ ). M - valor médio dos 6 animais; DP - desvio-padrão

A contrapulsção pulmonar conseguida através da contração sincronizada, determinou um incremento diastólico das pressões, semelhante ao observado na figura 2.

Os valores basais de pressão sistólica, diastólica e média aórtica ( $114,17 \pm 9,7$ ;  $78,3 \pm 2,88$ ;  $90,29 \pm 3,85$ mmHg respectivamente) não apresentaram diferenças significativas aos obtidos logo após a eletroestimulação do grande dorsal ( $115,87 \pm 11,4$ ;  $76,50 \pm 3,78$ ;  $89,13 \pm 5,19$ mmHg, respectivamente).

A frequência cardíaca não sofreu modificações antes e depois da eletroestimulação do grande dorsal ( $108 \pm 5,1$ bpm).

A pressão sistólica pulmonar prévia à assistência, foi menor logo após a mesma ( $18,67 \pm 2,25$ ;  $18,63 \pm 1,51$ mmHg), mas sem significância estatística ( $p < 0,465$ ). Um aumento significativo do DC ( $2,35 \pm 0,26$ ;  $2,45 \pm 0,28$  l/min) e do índice cardíaco ( $0,108 \pm 0,020$ ;  $0,113 \pm 0,020$  l/min/kg) foi produzido pela assistência circulatória ( $p < 0,005$ ).

O índice de eficiência arterial pulmonar mostrou que em nível sistólico havia uma diminuição sem significância estatística antes e depois da eletroestimulação do grande dorsal ( $18,58 \pm 1,63$ ;  $17,67 \pm 1,51$ mmHg, respectivamente). Em contraposição este mesmo índice incrementou-se significativamente ( $p = 0,002$ ) quando foi considerado em nível diastólico ( $8,37 \pm 0,60$ ;  $11,65 \pm 0,83$ mmHg, respectivamente) (tab. I).

## Discussão

A maioria das doenças cardíacas tem como etapa terminal a insuficiência cardiocirculatória, independente da cause que a determine<sup>1</sup>, restando aquelas cardiomiopatias cuja evolução está condenada pela presença de arritmias. Nas insuficiências cardíacas terminais, os progressos não foram muitos e infelizmente esta é uma afecção freqüente; só na França há 200.000 novos pacientes por ano<sup>11</sup>, o que se repete em outros relatórios<sup>2,3</sup>.

A insuficiência cardíaca direita, associada ou não à insuficiência cardíaca esquerda, é também uma doença que tem demonstrado necessitar de uma assistência circulatória mecânica<sup>12</sup>.

Certas técnicas, como a contrapulsção aórtica, são eficazes já que produzem um incremento do DC entre 800 e 1.000ml/min<sup>13</sup>. Diversos estudos experimentais têm demonstrado a eficácia mecânica da contrapulsção pulmonar<sup>14-17</sup>. Os benefícios desta técnica, utilizando o balão de contrapulsção, têm sido aplicados a pacientes com resultados satisfatórios<sup>18-22</sup>.

A contrapulsção da artéria pulmonar de forma crônica seria possível se fosse utilizado um enxerto de grande dorsal. Experimentos preliminares a esta série experimental tinham criado a esperança de que a contrapulsção biológica com eletroestimulação do grande dorsal podia ser um método eficaz na insuficiência cardíaca direita. A consequência óbvia desses trabalhos em conjunto era a de continuar a tentar realizar a contrapulsção dupla da artéria pulmonar. Neste trabalho observa-se claramente que a contrapulsção pulmonar sincronizada produz incrementos da pressão diastólica de forma significativa.

Deve-se destacar que na presente série experimental utilizaram-se animais nos quais o músculo grande dorsal não havia sofrido um programa de eletroestimulação prévio, uma vez que não era de interesse um estudo crônico, e sim o estudo dos efeitos com o animal anestesiado e em forma aguda. Foi demonstrado previamente que a estimulação do grande dorsal por uns poucos minutos (4 ou 5) não deriva em fadiga muscular. Logo após a

esta situação, pode ser extrapolada a situação crônica<sup>23</sup>. Apesar do enxerto muscular envolver a raiz da artéria aórtica e pulmonar, é devido à baixa voltagem utilizada na sua estimulação que só foi registrada alteração dos valores de pressão da circulação direita, pelos seus menores níveis de pressão.

O índice de eficiência arterial tem uma sólida base fisiológica que foi fundamentada em anos anteriores<sup>9</sup>. Além disso, este índice não é muito diferente do DPTI/TITI que é usado para valorizar a contrapulsção aórtica, já que compara áreas abaixo da curva de pressão arterial pulmonar nos tempos diastólicos e diastólicos por separado. A separação entre as áreas sistólica e diastólica foi realizada em relação à sístole elétrica<sup>24</sup>.

Nossos resultados, utilizando enxerto de grande dorsal, são semelhantes aos publicados por Jett e col<sup>14</sup> que relataram, em cordeiros, a contrapulsção da artéria pulmonar através de um tubo de dacron, anastomosado à raiz da mesma, previamente induzida uma hipertrofia do ventrículo direito (VD), através da ligadura da artéria pulmonar<sup>14</sup>, com resultados indicando uma melhoria da função ventricular global evidenciada pelo aumento do DC e da pressão média aórtica, da diminuição das pressões no átrio direito e diastólico final do VD.

Concluimos que mais trabalhos experimentais são necessários para demonstrar a eficácia crônica desta técnica estudada.

## Referências

- Rowlands DJ - Cardiac failure. *Curr Op Cardiol* 1987; 2: 341-2.
- Spann VF, Hurst W - The recognition and management of heart failure. In: Hurst W (ed) - *The Heart*. 6<sup>th</sup>1985; 345-69.
- McKee P, Castelli W, McNamara P, Kannel W - The natural history of congestive heart failure: The Framingham Study. *N Engl J Med* 1971; 285: 1441-6.
- Carpentier A, Chachques JC - Myocardial substitution with a stimulated skeletal muscle. First successful clinical cases. *Lancet* 1985; 440: 1267.
- Chachques JC, Grandjean PA, Caorera Fischer El et al - Dynamic aortomyoplasty to assist left ventricular failure. *Ann Thorac Surg* 1990; 49: 225-30.
- Chachques JC, Grandjean PA, Perier P et al - Cardiomyoplastie. *Arch Mal Cocur* 1989; 82: 919-26.
- Chachques JC - La cardiomyoplastie. *Coeur* 2000 1986; 4: 158-66.
- Chahques JC, Grandjean PA, Schwartz K et al - Chronically stimulated skeletal muscle: enhancement of cardiac performance de sarcomeric and non-sarcomeric muscles. Basic and applied research prospects for the 90's. Padova: Ugo Carraro 1988.
- McDonald's - Blood Flow in Arteries, Theoretical, Experimental and Clinical Principles. 3<sup>th</sup> Ed. Kent: Wilmer Nichols and Michael O'Rourke 1990; 337-40.
- Glantz SA - Primer of Biostatistics. San Francisco: Mc Graw-Hill 1987; 64.
- Richard JL, Cambient F, Ducimetiere P - Particularités épidémiologiques de la maladie coronarienne en France. *Nov Presse Méd* 1981;10: 11.
- Pennock JL, Pierce WS, Wismam CB et al - Survival and complications following ventricular assist pumping for cardiogenic shock. *Ann Surg* 1983; 68: 469-78.
- Kantrowitz A - Introduction of left ventricular assistance. *Trans Am Soc Artif Intern Organs* 1987; 23: 39-48.
- Kimble JG, Siwek LG, Picone AL, Applebaum RE, Jones M - Pulmonary artery balloon counterpulsation for right ventricular failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1983; 86: 364-72.
- Sponitz HM, Bernan A, Reis L et al - The effect of synchronized counterpulsation of pulmonary artery on right ventricular hemodynamics. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1971; 61: 167-74.
- Kimble JG, Picone AL, Clarck RE et al - Circulatory support for right ventricular dysfunction. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1987; 94: 95-103.
- Opravil M, Gorman AJ, Krejcie TC et al - Pulmonary artery balloon counterpulsation for right ventricular failure: I. Experimental Results. *Ann Thorac Surg* 1984; 38: 242-53.
- Gaines WE, Pierce WS, Prophet AG et al - Pulmonary circulatory support. A quantitative comparison of four methods. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1984; 88: 958-64.
- Miller CD, Moreno-Cabral RJ, Stinson EB et al - Pulmonary artery balloon counterpulsation for acute ventricular failure. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1980; 80: 760-63.
- Flege JB, Wright CB, Riesenger TJ - Successful balloon counterpulsation for right ventricular failure. *Ann Thorac Surg* 1984; 37: 167-8.
- Moran JM, Opravil M, Gorman AJ et al - Pulmonary artery balloon counterpulsation for right ventricular failure: II clinical Experience. *Ann Thorac Surg* 1984; 38: 254-9.
- Simbas PN, McKeown PP, Santora AH et al - Pulmonary artery balloon counterpulsation for treatment of intraoperative right ventricular failure. *Ann Thorac Surg* 1985; 39: 437-40.
- Cabrera Fischer El, Chachques JC, Garcia A, de Fortezza E, Acar C, Carpentier A - Effect of cardiomyoplasty on left ventricular function. *Basic Appl Myology* 1991; 1: 253-8.
- Yang SS, Bentivoglio LG, Maranhao V, Goldberg H - From Cardiac Catheterization Data to Hemodynamic Parameters. 3<sup>th</sup>. FA Davis Co 1980.