

Artigo Original

Recebido em 28/05/2009, aceito em 28/04/2010

Considerações sobre métodos de ajuste de bombas de roletes usadas em circulação extracorpórea: velocidade de queda e calibração dinâmica

Considerations on roller pumps setting methods used in cardiopulmonary bypass: drop rate and dynamic calibration

Francisco Ubaldo Vieira Junior*
Reinaldo Wilson Vieira
Nilson Antunes
Pedro Paulo Martins de Oliveira
Orlando Petrucci Junior
Marcio Roberto do Carmo
Elaine Soraya Barbosa de Oliveira Severino

Núcleo de Medicina e Cirurgia Experimental,
Faculdade de Ciências Médicas / UNICAMP
R. Alexandre Fleming, 181
Cidade Universitária "Zeferino Vaz"
13083-970 Campinas, SP – Brasil
E-mail: fubaldo@terra.com.br

*Autor para correspondência

Resumo

As bombas de roletes ocupam um papel de destaque entre os dispositivos utilizados na circulação extracorpórea, pois são responsáveis pela movimentação do sangue. O ajuste adequado desses equipamentos é fundamental para minimizar o trauma nas células sanguíneas. O presente trabalho analisou dois métodos para ajuste das bombas: o método de medida de velocidade de queda e a calibração dinâmica em dois modelos de bombas, com o objetivo de avaliar as suas variações e limitações práticas de uso em centro cirúrgico. A velocidade de queda foi medida em dois modelos de bombas de roletes e em três pontos do leito rígido com valor final calculado pela média entre eles. A calibração dinâmica foi medida sequencialmente às medidas de velocidade de queda, e os valores médios de pressão foram registrados em arquivo, com intervalo entre medidas de 20 ms. Os valores médios de velocidade de queda mostraram diferenças significantes ($p < 0,0007$), quando comparados com os valores mínimos e entre os dois modelos de bombas. Nos dois métodos analisados foram observadas variações de ajuste entre os roletes, com possíveis consequências para a hemólise. A bomba 1 mostrou descentralização do leito rígido entre os pontos medidos ($p < 0,02$). O método de ajuste por medida de velocidade de queda mostrou erros em seus valores absolutos e com dificuldade de repetitividade e não foi possível estabelecer correlação com a respectiva medida de calibração dinâmica.

Palavras-chave: Calibração de bombas de roletes, Hemólise, Circulação extracorpórea.

Abstract

Roller pumps have an important role among the devices used in cardiopulmonary bypass, being responsible for pumping blood. The setting of pumps is essential to minimize the trauma on blood cells. This study examined two methods for pump adjustment: the drop rate method and dynamic calibration method, applied to two different pumps in order to evaluate their variations and practical limitations of use in operating room. The drop rate was measured in the lowest point of pump raceway (0°) and in two other points close to it (-20° and $+20^\circ$) and the average values of the three points was also taken. The dynamic calibration was measured sequentially, and the pressure average values were recorded on file with a sampling interval of 20 ms. There were significant differences ($p < 0.0007$) in drop rate averages when compared with the lowest point in the two types of pumps. In two pumps were observed variations in settings between rollers with possible consequences for the hemolysis. The pump 1 showed decentralization in raceway between points measured ($p < 0.02$). The drop rate method showed errors in their absolute values and with limited repeatability, and it was not possible to correlate with their dynamic calibration measurements.

Keywords: Roller pumps setting, Hemolysis, Cardiopulmonary bypass.

Extended Abstract

Introduction

The roller pumps used in cardiopulmonary bypass (CPB) have an important role moving the blood through the circuits and devices to the patient. Hemolytic aspects have been studied by researchers in trying to understand the factors causing the hemolysis (Leverett et al., 1972; Sutura e Mehrjardi, 1975). The roller pump setting is an important factor in the rate of hemolysis (Bernstein e Gleason, 1967; Tamari et al., 1997) and new procedures and devices have been studied in an attempt to minimize its effects (Pierangeli et al., 2001; Jegger et al., 2007). Several Brazilian professionals involved in cardiopulmonary surgery have shown their concern, in private communications, about roller pumps setting, its repeatability and variations observed in hemolysis when different pump models are used.

In this study we evaluate pump setting procedures in drop rate method and dynamic calibration method using two roller pumps.

Material and Methods

The tests were performed with saline in $\frac{3}{8} \times \frac{1}{16}$ inches silicone tubes. The drop rate was measured and sequentially the average pressure values were obtained from dynamic method.

The drop rate was measured timing the decrease from a fixed range of 50 mm column saline with 1,000 mm in standard PVC tubing of $\frac{1}{4}$ inches diameter (Figure 1). It was calculated by the average from two consecutive measurements performed in the three standard roller positions along the raceway in two pumps.

The dynamic calibration measurements were performed by the method proposed by Tamari et al. (1997). The circuit was filled with saline and a pressure monitor installed at the outlet of the

pump. With the rollers retreated, the pump was set at 10 rpm and output tubing was clamped. Then, the rollers were occluded until the desired pressure. The average pressure was calculated from the values recorded on file.

The pressure signal was recorded and stored in a file with appropriate software at 20 ms sampling interval and total record of 60 seconds (Figure 2).

Results and Discussion

The drop rate values for the two pump models examined showed variations, as expressed in terms of standard deviation over 80%. These variations point to a difficulty of establishing absolute values and ensure reproducibility in settings. Comparison between drop rate measures obtained in the 0° position and the average of three points examined for both types of pumps presented differences. The angular coefficients of linear regressions presented in pump 1 ($\beta = 1.35$) and pump 2 ($\beta = 0.99$) indicate that their values do not represent the lowest occlusions for the two models examined.

During the dynamic setting variations in pressure were observed by the mismatch between the rollers. These variations were also observed in the corresponding drop rate measurements. We do not know the influence of mismatches in hemolysis and an investigation would be appropriate. The differences between pressures in each roller are absorbed by the average when specific devices are used (Mongero et al., 1998). Pressure measurements in dynamic settings using conventional gauges are difficult to manage in surgery room. This procedure should be evaluated by pump manufacturers as a way to adjust the rollers between each others.

Introdução

Desde o início da cirurgia cardíaca, fabricantes e pesquisadores de diversas áreas buscam continuamente a melhoria dos equipamentos, dispositivos e procedimentos utilizados na circulação extracorpórea (CEC). A substituição das funções do coração-pulmão, durante cirurgia cardíaca, se caracteriza pela substituição temporária da circulação sanguínea.

A CEC é identificada pelo organismo como um agente agressor; o contato do sangue com superfícies estranhas bem como as condições impostas para o escoamento, são fatores que podem contribuir nos resultados cirúrgicos.

Durante a perfusão, as células sanguíneas estão sujeitas à ação de diversas forças, que diferem das que atuam na circulação normal. As hemácias, os leucócitos e as plaquetas podem ser profundamente afetados pela circulação extracorpórea, tanto pelo trauma físico quanto pelo contato com as superfícies do circuito.

Dentre os equipamentos utilizados na CEC, as bombas de roletes têm fundamental importância, com a função de movimentar o sangue através dos dispositivos e circuitos até o paciente. Devido à facilidade de operação, manutenção e custo, as bombas de roletes são universalmente adotadas para a circulação extracorpórea (Boettcher *et al.*, 2003).

Durante a CEC, o trauma sofrido pelas hemácias libera o conteúdo intracelular, causando a hemólise. Isso acontece por solicitação mecânica, seja pelo efeito da passagem do sangue pelos roletes, cânulas e aspiradores, seja pela exposição sobre diferentes superfícies a diferentes velocidades.

Os aspectos hemolíticos têm sido estudados por diversos pesquisadores na tentativa de entender e isolar os fatores causadores da hemólise (Leverett *et al.*, 1972; Sutura e Mehrjardi, 1975). Tensões cisalhantes sofridas pelas hemácias nem sempre provocam a sua destruição, mas podem causar deformações permanentes em suas membranas que comprometem as funções de transporte de gases.

O ajuste das bombas de roletes durante a CEC é um fator importante nas taxas de hemólise (Bernstein e Gleason, 1967; Tamari *et al.*, 1997). Procedimentos e novos dispositivos têm sido estudados na tentativa de minimizar os efeitos da aspiração do sangue em campo cirúrgico (Pierangeli *et al.*, 2001; Jegger *et al.*, 2007).

Apontamentos importantes têm sido feitos por profissionais brasileiros, envolvidos em cirurgia cardíaca, quanto à falta de repetitividade e variações nos índices de hemólise, com uso de determinados

modelos de bombas. São observações empíricas que merecem investigação apropriada.

A calibração é a técnica de ajuste da distância entre o rolete e o leito rígido (oclusão), e tem como finalidade determinar o ponto onde o rolete apenas colapsa internamente o tubo, sem comprimir suas paredes.

Dois métodos são os mais relatados na literatura: o método de medida de velocidade de queda e o método de calibração dinâmica.

O método estático ou medida de velocidade de queda consiste em observar a queda de uma coluna líquida, representando a resistência contra a qual a bomba irá trabalhar. Ajustam-se os roletes para apenas interromper a queda lenta. Convencionalmente, a oclusão é ajustada para permitir uma velocidade de queda de 2,5 cm/min, a partir de uma coluna de 1.000 mm de solução fisiológica (Tayama *et al.*, 2004).

O método dinâmico ou calibração dinâmica consiste em ajustar a oclusão dos roletes com a bomba em movimento. Um monitor de pressão é colocado na tubulação de saída da bomba e a tubulação é pinçada, distante do monitor de pressão. A bomba é colocada em movimento e a pressão de calibração dinâmica é ajustada através de um dispositivo, já incorporado à bomba pelo fabricante, que movimentam simultaneamente os dois roletes.

Este trabalho avaliou os procedimentos de ajuste das bombas de roletes pelos métodos de medida de velocidade de queda e calibração dinâmica, em dois modelos de bombas fabricados no Brasil.

Materiais e Métodos

O presente trabalho foi realizado no Núcleo de Medicina e Cirurgia Experimental da Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP. Todos os procedimentos de calibração foram realizados com o uso de solução fisiológica a 0,9% de NaCl. Foram testados dois modelos diferentes de bombas de roletes de 6 polegadas, do tipo DeBakey, constituídas por dois roletes. Foram medidas velocidades de queda e sequencialmente medidos os respectivos valores de pressão média de calibração dinâmica. Todos os testes foram realizados em tubos de silicone de $\frac{3}{8} \times \frac{1}{16}$ polegadas.

Os dois modelos de bombas de roletes analisados possuíam dispositivo de ajuste simultâneo para oclusão dos roletes.

Medidas de velocidade de queda

As medidas de velocidade de queda foram realizadas nos ângulos -20° , 0° e $+20^\circ$ conforme ilustra a Figura 1.

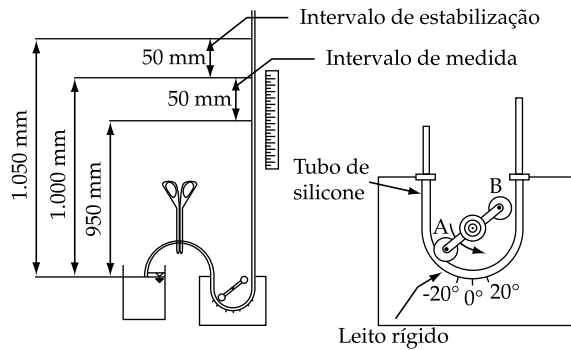


Figura 1. Ilustração dos dispositivos usados para medidas de velocidade de queda. **Figure 1.** Illustration of devices used for measurements of drop rate.

Os tempos foram medidos para uma variação fixa de 50 mm de coluna de solução fisiológica, com 1.000 mm de altura, em tubo padronizado de PVC de ¼ de polegada. A leitura dos tempos foi realizada com o auxílio de um cronômetro digital, com precisão de centésimos de segundo. As medidas de velocidade de queda foram tomadas sequencialmente, -20° , 0° e $+20^\circ$ para os roletes A e B. O procedimento adotado para as medidas foi:

- A bomba foi ajustada no ponto de oclusão desejado;
- O rolete foi movimentado manualmente até a coluna de solução fisiológica atingir a medida de 1.050 mm;
- O rolete A foi posicionado inicialmente no ângulo de -20° ;
- A tubulação de entrada da bomba foi pinçada e aguardaram-se alguns segundos até a estabilização;
- A tubulação foi liberada e os tempos medidos entre as posições 1.000 mm e 950 mm;
- Mantendo-se o rolete na mesma posição, a tubulação de entrada foi novamente pinçada. Com o auxílio de uma seringa, a coluna foi preenchida até a posição de 1.050 mm;
- Nova medida foi feita na mesma posição;
- O rolete foi movimentado para a posição 0° , e novamente preenchido com auxílio de seringa, até a posição de 1.050 mm. Esse procedimento foi repetido para a posição de $+20^\circ$; e
- Repetido o mesmo procedimento para o rolete B.

Cada conjunto de medidas realizadas nos roletes A e B, para cada posição, totalizou quatro medidas individuais. A velocidade de queda adotada para cada posição (-20° , 0° , $+20^\circ$) foi a média entre esses quatro valores medidos. Todos os experimentos foram realizados com a temperatura da solução fisiológica em $24 \pm 1,0^\circ\text{C}$ e temperatura ambiente em $24 \pm 2,0^\circ\text{C}$.

Calibração dinâmica

As medidas de calibração dinâmica foram realizadas utilizando o método proposto por Tamari *et al.*, 1997:

- O circuito da bomba foi preenchido com solução fisiológica;
- Monitor de pressão foi instalado na saída da bomba;
- Os roletes foram retraídos para posição não oclusiva;
- A bomba foi colocada a velocidade constante de 10 rpm;
- A tubulação de saída foi pinçada, longe da posição do monitor de pressão;
- A pressão foi monitorada e os valores registrados continuamente; e
- A oclusão dos roletes foi ajustada até a pressão média desejada (entre 150 mmHg e 500 mmHg).

Foi utilizado um sensor de pressão (Ashcroft Willy Instrumentos de Medição Ltda.) com faixa de $-1 \cdot 10^5$ Pa a $2 \cdot 10^5$ Pa, (-750 mmHg a 1.500 mmHg), calibrado. Para leitura e aquisição de dados foi utilizada uma placa de aquisição de dados (Adlink, modelo PCI-9112) instalada em um microcomputador.

Foi desenvolvido um programa de computador para aquisição e armazenamento dos valores do sinal de pressão. Este foi amostrado a cada 20 ms com duração total do registro de 60 segundos, resultando em 3.000 registros de valores medidos.

Os valores de pressão média de calibração dinâmica ($PCD_{\text{méd}}$) foram calculados pela média dos valores registrados em arquivo.

A Figura 2 ilustra a variação da pressão durante a calibração dinâmica, no intervalo de 12 segundos. Medições realizadas na bomba 1 com o tubo 6. $PCD_{\text{méd}}$ de 265 mmHg.

Resultados

Velocidade de queda

A Tabela 1 mostra os resultados das medidas em 16 tubos novos, com valores de velocidade de queda expressos pela média \pm desvio padrão, e a correspondente pressão média de calibração dinâmica, expressa pela média \pm erro padrão.

A Figura 3 mostra o gráfico das medidas de velocidade de queda no ponto 0° em relação aos valores médios calculados para os pontos -20° , 0° e $+20^\circ$, para os dois modelos de bombas em 16 tubos.

A Tabela 2 mostra os resultados estatísticos obtidos por regressão linear simples dos valores visualizados na Figura 3. Apresentaram distribuição normal com nível de significância de 5%. A comparação entre as regressões mostrou diferenças significantes entre os coeficientes angulares β ($p < 0,0007$) e interceptos ($p < 0,003$).

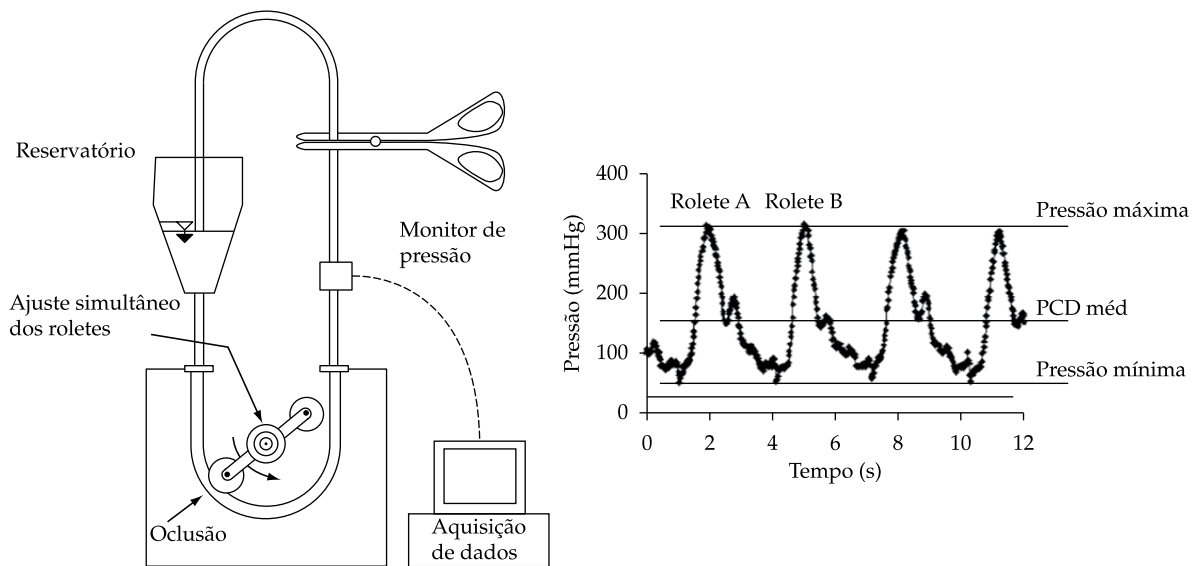


Figura 2. Ilustração dos equipamentos utilizados para medições de pressão pelo método de calibração dinâmica e gráfico com valores parciais de pressão durante o processo. Indicação dos valores de pressão máximos, mínimos e médios. Bomba 1, tubo 6, $PCD_{méd} = 265$ mmHg. **Figure 2.** Schematic drawing for pressure measurements by the dynamic method and graph of the partial pressure measurements during the process. Maximum, minimum and average pressure values. Pump 1, tube 6, $PCD_{méd} = 265$ mmHg.

Tabela 1. Resultados dos testes de velocidade de queda. **Table 1.** Results of drop rate tests.

Velocidade de queda [cm/min]									
Bomba 1									
Rolete	Ângulo	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
A	-20°	32	28	23	17	45	54	155	124
	0°	8	15	15	7	20	23	68	66
	+20°	9	22	11	7	18	18	61	65
Média A ± DP		16 ± 14	21 ± 7	16 ± 6	10 ± 6	28 ± 15	32 ± 20	95 ± 53	85 ± 34
B	-20°	16	18	30	45	28	48	61	54
	0°	3	12	19	26	13	19	25	30
	+20°	6	17	16	23	18	15	30	58
Média B ± DP		8 ± 7	16 ± 4	22 ± 8	31 ± 12	20 ± 7	27 ± 18	39 ± 20	47 ± 15
Média geral ± DP		12 ± 10	19 ± 6	19 ± 7	21 ± 14	24 ± 11	30 ± 17	67 ± 47	66 ± 31
PCD _{méd} ± EP		306 ± 2	137 ± 1	273 ± 2	212 ± 2	271 ± 2	265 ± 2	275 ± 2	126 ± 1
Bomba 2									
Rolete	Ângulo	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
A	-20°	9	8	13	20	41	38	48	101
	0°	10	12	16	20	36	75	45	101
	+20°	7	23	19	36	38	61	44	50
Média A ± DP		8 ± 2	14 ± 8	16 ± 3	25 ± 9	38 ± 3	58 ± 18	46 ± 2	84 ± 29
B	-20°	11	7	11	14	33	30	32	102
	0°	11	9	12	14	32	30	31	95
	+20°	5	16	11	28	39	38	33	39
Média B ± DP		9 ± 3	11 ± 5	11 ± 1	19 ± 8	35 ± 3	33 ± 5	32 ± 1	79 ± 35
Média geral ± DP		9 ± 2	13 ± 6	14 ± 3	22 ± 9	36 ± 3	45 ± 18	40 ± 7	81 ± 39
PCD _{méd} ± EP		280 ± 2	263 ± 2	322 ± 2	330 ± 2	203 ± 2	286 ± 2	191 ± 1	211 ± 2

Tabela 2. Resultados estatísticos dos coeficientes de determinação ajustados e coeficientes angulares para os dois modelos de bombas. **Table 2.** Statistical results of the adjusted determination coefficients and angular coefficients for the two pump models.

Modelo de bomba	R ²	Coefficiente angular (β)
1	0,98 (p < 0,0001)	1,35 (p < 0,0001)
2	0,92 (p < 0,0002)	0,99 (p < 0,0001)

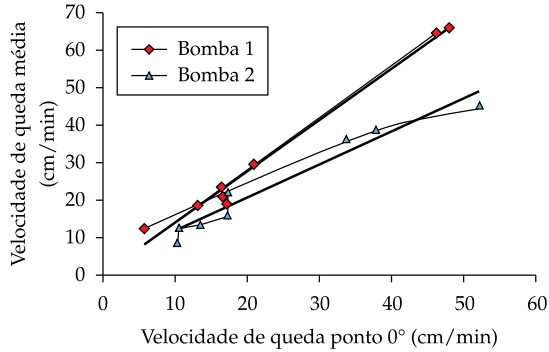


Figura 3. Gráfico dos valores medidos de velocidade de queda no ponto 0° pelos valores médios em três pontos -20°, 0° e +20°. Regressão linear simples. **Figure 3.** Graph of the drop rate measurements in 0° and average of three positions -20°, 0° and +20°. Simple linear regression.

Calibração dinâmica

A Figura 4 mostra os resultados parciais das medidas de pressão nos tubos 1, 8, 11 e 15 respectivamente, durante o processo de calibração dinâmica, com as bombas 1 e 2.

A Figura 5 mostra a relação entre os valores médios da velocidade de queda, calculados nos pontos -20°, 0° e +20°, com a respectiva calibração dinâmica (dados obtidos a partir da Tabela 1).

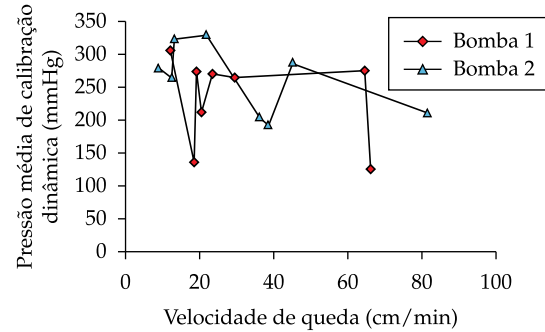


Figura 5. Gráfico dos valores de velocidade de queda e respectiva pressão média de calibração dinâmica dos pontos -20°, 0° e +20°. **Figure 5.** Graph of drop rate measurements and their average pressures in dynamic calibration of the points -20°, 0° and +20°.

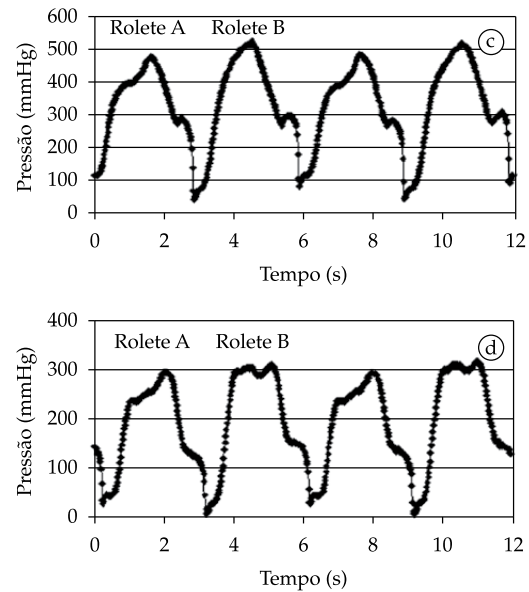
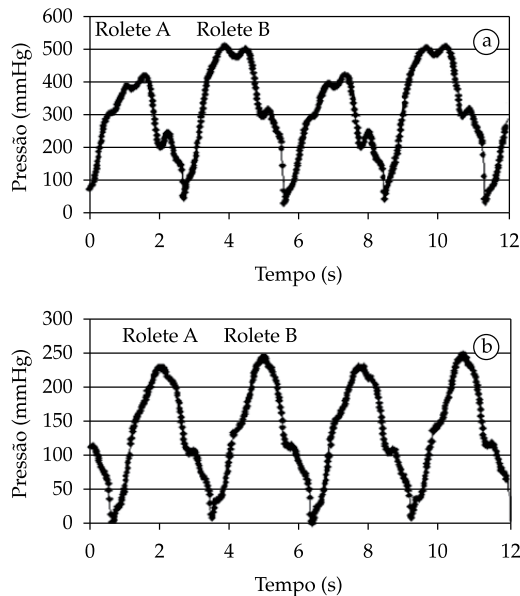


Figura 4. a) Valores parciais de pressão durante a calibração dinâmica. Tubo 1, bomba 1. b) Valores parciais de pressão durante a calibração dinâmica. Tubo 8, bomba 1. c) Valores parciais de pressão durante a calibração dinâmica. Tubo 11, bomba 2. d) Valores parciais de pressão durante a calibração dinâmica. Tubo 15, bomba 2. **Figure 4.** a) Partial pressure values during dynamic calibration. Tube 1, pump 1. b) Partial pressure values during dynamic calibration. Tube 8, pump 1. c) Partial pressure values during dynamic calibration. Tube 11, pump 2. d) Partial pressure values during dynamic calibration. Tube 15, pump 2.

Discussão

As bombas de roletes utilizadas durante a CEC são de grande importância, pois são responsáveis pela movimentação do sangue através dos dispositivos instalados até seu envio ao paciente. Os aspectos hemolíticos das bombas de roletes têm sido estudados por diversos pesquisadores. Métodos de calibração podem minimizar o trauma sofrido pelas células, durante a perfusão. Dentre os métodos analisados, a medida de velocidade de queda foi o que mostrou mais facilidade de uso, por ter sua técnica melhor conhecida e necessitar de poucos equipamentos para o ajuste.

As medidas de velocidade de queda para os dois modelos de bombas analisados mostraram variações com a metodologia de medida utilizada. Apresentaram valores expressos em termos de desvio padrão superiores a 80%, em algumas medidas. Essas variações demonstraram a dificuldade de estabelecer medidas absolutas, e não garantiram a reprodutibilidade dos ajustes. Isso dificulta relacionar a hemólise, algumas vezes observada em cirurgia, com o valor de calibração ajustado. Outro aspecto a ser considerado é que, em centro cirúrgico, nem sempre há condições de realizar as medidas de velocidade de queda com a altura da coluna de solução fisiológica preconizada.

A Figura 3 mostra os valores medidos de velocidade de queda no ponto 0° em relação à média calculada dos três pontos (-20°, 0° e +20°), para os dois modelos de bombas. A diferença entre os coeficientes angulares da bomba 1 ($\beta = 1,35$) e bomba 2 ($\beta = 0,99$) demonstra que a média não corresponde às oclusões mínimas no modelo de bomba 1. Essa correspondência só pode ser considerada para o modelo de bomba 2.

Tamari *et al.* (1997) estabeleceram relações bem definidas entre as medidas de velocidade de queda e a respectiva calibração dinâmica, para diversas oclusões e tubos. Com a metodologia utilizada neste trabalho não foi possível estabelecer uma relação entre os dois métodos de ajuste. Uma provável causa a ser considerada foram as possíveis tensões residuais nos tubos, ocasionadas pelo processo de fabricação ou pela própria característica da estrutura do silicone. A Figura 5 mostra os resultados obtidos de medidas de velocidade de queda e respectiva calibração dinâmica em 16 tubos.

O uso prático da calibração dinâmica com método de ajuste, em centros cirúrgicos, apresentou dificuldades. As características cíclicas de pressão das bombas de roletes dificultam a visualização dos valores máximos e mínimos em ambiente operatório.

As Figuras 4a-d mostram as medidas de pressão nos dois modelos de bombas, durante o processo de calibração dinâmica, realizadas em laboratório.

A Figura 4a mostra o efeito da desregulação dos roletes, isto é, a diferença entre as distâncias dos roletes A e B em relação ao leito rígido. A desregulação acarretou picos de pressão diferentes em cada passagem do rolete pelo leito rígido. Essa variação também foi obtida nas correspondentes medidas de velocidade de queda.

Não se sabe a influência da descalibração entre os roletes na hemólise, e uma investigação nesse sentido seria apropriada.

Para o uso da calibração dinâmica média em centro cirúrgico, o perfusionista deve considerar a média entre as pressões máximas e mínimas visualizadas no monitor de pressão, além de considerar as possíveis alterações nessas pressões, relacionadas à descalibração entre os roletes.

Mongero *et al.* (1998) apresentaram estudos com um dispositivo (BH, Circulatory Technology) onde foi possível ajustar a pressão para calibração dinâmica. Esse dispositivo facilitou o ajuste pelos valores médios, e considerou as pressões na entrada e saída da bomba, com o uso de uma câmara para equalização das pressões.

Outro ponto importante para o uso da calibração dinâmica é a contaminação dos dispositivos para monitoramento da pressão (descartáveis ou reutilizáveis). Com o uso de manômetros convencionais (tipo Bourdon) não descartáveis, o contato da solução fisiológica com as partes internas do manômetro é um fator proibitivo. Uma alternativa, algumas vezes usada, é manter uma coluna de ar na mangueira que interliga a saída da bomba ao manômetro, evitando o contato da solução com o manômetro, mas esse procedimento não é recomendado. A utilização de transdutores de pressão descartáveis é uma boa alternativa para evitar contaminação. Para a regulação adequada da oclusão seria necessário o uso de um dispositivo específico de monitoramento e integração do sinal de pressão.

Atualmente, alguns fabricantes de bombas utilizam a medida de velocidade de queda para regular periodicamente os roletes entre si. A substituição desse procedimento pelo processo de calibração dinâmica, com o uso de manômetros convencionais, deveria ser considerada. O uso do método para esse fim diminui consideravelmente o tempo de ajuste entre os roletes, normalmente realizado no centro cirúrgico.

Conclusões

As bombas de roletes ajustadas com a técnica de medida de velocidade de queda mostraram variações significantes entre os dois modelos ($p < 0,0007$), quando comparadas as medidas realizadas no ponto 0° e as calculadas pela média nos pontos -20° , 0° e $+20^\circ$. Não se mostrou adequada como representação da velocidade mínima de queda e nem como forma de comparação entre modelos. A medida no ponto 0° se mostrou mais representativa dos valores mínimos de oclusão comparada com a média dos três pontos.

A bomba 1 mostrou assimetria nas medidas de velocidade de queda nos ângulos -20° e $+20^\circ$, comparados com o ponto 0° , pela análise de covariância (coeficiente angular, $p < 0,0002$ e intercepto, $p < 0,002$), indicando descentralização no leito rígido. A bomba 2 não apresentou assimetria (coeficiente angular, $p > 0,06$, e intercepto, $p > 0,99$).

As medidas pelo método de calibração dinâmica mostraram a possibilidade de tratar os valores de oclusão pela média ao longo do leito rígido. A sua utilização prática requer equipamentos específicos e treinamento. O método de calibração dinâmica deveria ser considerado pelos fabricantes de bombas como uma alternativa para ajuste periódico dos roletes.

As duas técnicas de medida mostraram diferenças de ajuste entre os roletes (A e B) e não se conhece a influência dessas variações nas taxas de hemólise.

Na opinião dos autores, para o uso adequado da calibração dinâmica, há necessidade de se desenvolver dispositivos que auxiliem os perfusionistas no ajuste das bombas em centro cirúrgico. Estudos devem ser conduzidos para avaliar o uso do método de calibração dinâmica em sistemas de sucção cardiôtômica.

Referências

- BERNSTEIN, E. F.; GLEASON, L. R. Factors influencing hemolysis with roller pumps. *Surgery*, v. 61, n. 3, p. 432-442, 1967.
- BOETTCHER, W.; MERKLE, F.; WEITKEMPER, H. H. History of extracorporeal circulation: the invention and modification of blood pumps. *Journal of Extracorporeal Technology*, v. 35, n. 3, p. 184-191, 2003.
- JEGGER, D.; HORISBERGER, J.; JACHERTZ, M.; SEIGNEUL, I.; TOZZI, P.; DELAY, D.; von SEGESSER, L. K. A novel device for reducing hemolysis provoked by cardiotomy suction during open heart cardiopulmonary bypass surgery: a randomized prospective study. *Artificial Organs*, v. 31, n. 1, p. 23-30, 2007.
- LEVERETT, L. B.; HELLMUMS, J. D.; ALFREY, C. P.; LYNCH, E. C. Red blood cell damage by shear stress. *Biophysical Journal*, v. 12, p. 257-273, 1972.
- MONGERO, L. B.; BECK, J. R.; ORR, T. W.; KROSLOWITS, R. M.; LEE-SENSIBA, K.; OZ, M. C. Clinical evaluation of setting pump occlusion by the dynamic method: effect on flow. *Perfusion*, v. 13, n. 5, p. 360-368, 1998.
- PIERANGELI, A.; MASIERI, V.; BRUZZI, F.; DE TONI, E.; GRILLONE, G.; BONI, P.; DELNEVO, A. Haemolysis during cardiopulmonary bypass: how to reduce the free haemoglobin by managing the suctioned blood separately. *Perfusion*, v. 16, n. 6, p. 519-524, 2001.
- SUTERA, S. P.; MEHRJARDI, M. H. Deformation and fragmentation of human red blood cells in turbulent shear flow. *Biophysical Journal*, v. 15, p. 1-10, 1975.
- TAMARI, Y.; LEE-SENSIBA, K.; LEONARD, E. F.; TORTOLANI, A. J. A dynamic method for setting roller pumps nonocclusively reduces hemolysis and predicts retrograde flow. *ASAIO Journal*, v. 43, n. 1, p. 39-52, 1997.
- TAYAMA, E.; TESHIMA, H.; TAKASEYA, T.; FUKUNAGA, S.; TAYAMA, K.; HAYASHIDA, N.; AKASHI, H.; KAWARA, T.; AOYAGI, S. Non-occlusive condition with the Better-Header roller pump: impacts of flow dynamics and hemolysis. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, v. 10, n. 6, p. 357-361, 2004.