

80

AVALIAÇÃO DE TRANSDUTORES DE PRESSÃO (*)

1555

DR. JOÃO GERALDO MARTINELLI (**)

DR. JOSÉ CARLOS PIO DA FONSECA (***)

AP 1881

A generalização do uso de transdutores de pressão em nosso meio, torna importante a divulgação de algumas normas básicas que devem ser obedecidas para a escolha adequada do transdutor, bem como para a sua correta utilização. As principais são:

- 1 — *conhecimento do valor absoluto máximo da pressão a estudar;*
- 2 — *conhecimento da composição harmônica da pressão;*
- 3 — *linearidade de resposta do transdutor em toda a faixa de pressão a estudar;*
- 4 — *resposta em frequência compatível com a frequência da pressão em estudo.*

Os transdutores com pequeno volume de deslocamento da membrana, conectados a catéteres curtos e de grosso calibre, formam um conjunto que dá uma boa resposta dinâmica, sendo portanto úteis para a medida de pressões que possuem uma composição harmônica alta, como é o caso da pressão arterial.

O avanço tecnológico dos últimos anos tem propiciado à medicina métodos de mensuração de parâmetros fisiológicos com alta precisão, que antes eram limitados aos laboratórios de pesquisa mais sofisticados. As medidas de pressões cardiovasculares, por exemplo, que antes eram feitas somente nas salas de cateterismo cardíaco, hoje estão se tornando cada vez mais rotineiras em centros de terapia intensiva e salas de cirurgia. Por esta razão, é de grande importância que o anestesologista moderno conheça bem estes novos equipamentos que passam a fazer parte do seu arsenal de trabalho.

(*) Trabalho dos Laboratórios de Fisiopatologia Cardiopulmonar e de Biomecânica da Universidade de Brasília (UnB).

(**) Professor Assistente da UnB, D.E.R.B.H., Université de Paris.

(***) Professor Assistente da UnB, MSC em Bioengenharia.

A medida precisa de uma pressão, qualquer que seja sua origem, torna necessário o conhecimento de algumas características para a correta seleção do transdutor. Entre estas incluem-se o seu valor absoluto máximo e a composição harmônica. A pressão arterial, por exemplo, é uma função periódica resultante do somatório de funções sinusoidais, onde temos uma onda fundamental e "n" harmônicos, múltiplos desta (3, 4, 6). Estas ondas vão se tornando progressivamente menores até se confundirem com o ruído elétrico. Patel (6) Gabe (2) e outros autores concordam que para se obter uma medida bastante precisa, é necessário incluir até o 8.º ou 10.º harmônico. Admitindo-se como importante a inclusão do 10.º harmônico, para uma frequência cardíaca de 120 batimentos por minutos, ou seja, tendo a onda fundamental 2 Hertz (Hz), necessitaríamos de um sistema que apresentasse uma resposta em frequência linear até 22 Hz.

A avaliação da performance do sistema catéter-transdutor é feita por meio de dois tipos de testes que são genericamente chamados de calibração estática e calibração dinâmica (1).

Para a realização da calibração estática e dinâmica é preciso, além do conjunto catéter-transdutor, um amplificador e um sistema de registro que tenha uma velocidade de pelo menos 50 cms⁻¹.

TESTE ESTÁTICO

Ele tem por objetivo avaliar a estabilidade e a linearidade do sistema, bem como a histerese.

Estabilidade — Para efetuar este teste conecta-se o transdutor em paralelo com o manômetro de mercúrio e aplica-se uma pressão constante por alguns minutos, com o papel do sistema de registro correndo a baixa velocidade. A pressão inscrita no papel não deve variar. Quando isto acontece, em geral se deve à vazamentos no sistema e/ou deriva do zero elétrico. As variações de temperatura sobre todo o sistema de medida, em particular sobre o transdutor, bem como as variações de tensão no circuito, são as causas mais comuns de deriva do zero elétrico.

Linearidade — Após testar a estabilidade do sistema, efetuamos o teste para a linearidade que consiste em submeter o transdutor a pressões crescentes em degraus de mesmo valor, até cobrir toda a escala da pressão a medir. Nos casos de determinação de pressão arterial sistêmica, por exemplo, pode-se usar 100 mmHg de pressão para testar a estabilidade e degraus de 20 mmHg para a linearidade. A plotagem da pressão contra o sinal do transdutor, seja em volts seja em mm de papel, deve dar uma linha reta.

Histerese — Após submeter o transdutor à pressão máxima, esta deve ser retirada também sob a forma de degraus de mesmo valor. A plotagem em papel milimetrado das curvas de pressão ascendente e descendente contra a resposta do transdutor deve apresentar uma histerese não superior a 1%.

TESTE DINAMICO

Nos casos em que se deseja a medida precisa de uma pressão que varia rapidamente com o tempo, torna-se importante determinar a resposta em frequência do sistema catéter-transdutor. Os métodos mais comumente empregados são o sinusoidal (5, 7, 8), — em que o transdutor é submetido a diversas frequências de uma onda de pressão sinusoidal produzidas por um gerador de pressão, e o teste transitório — em que o sistema é testado por meio de um impulso (2). Este último método tem as vantagens de ser de fácil execução

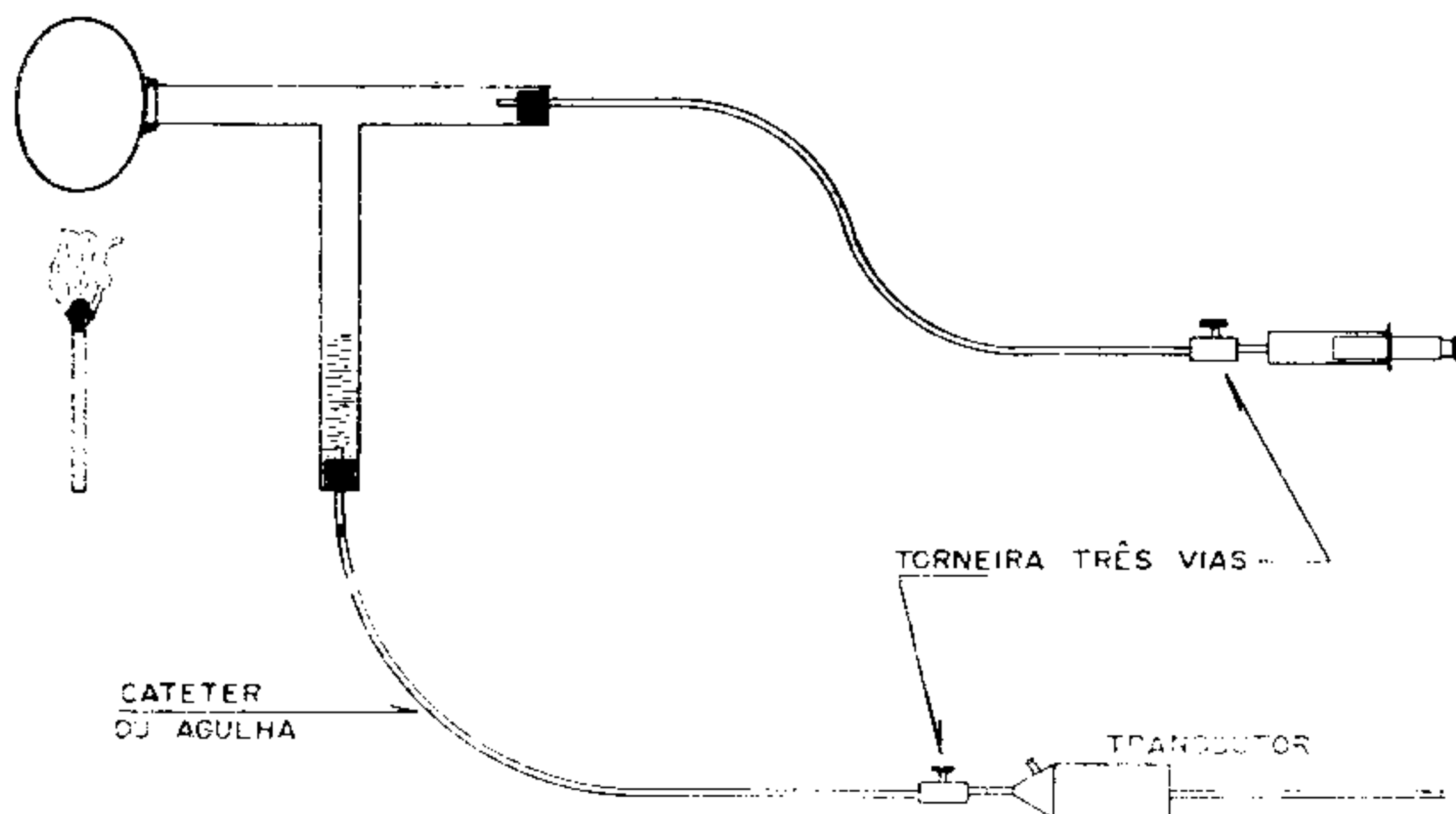


FIGURA 1

Representação esquemática do dispositivo utilizado para o estudo da resposta em frequência de transdutores por meio de um impulso.

e necessitar de um dispositivo simples que qualquer laboratório pode improvisar.

Método da Resposta ao Impulso — Utiliza-se um tubo em T de plástico transparente, (fig. 1), em cuja extremidade inferior se conecta o transdutor por meio de um catéter ou de uma agulha. O sistema é cheio com soro fisiológico até a metade do tubo. O latex pode ser improvisado a partir de dedos de luvas ou de preservativos e é preso à extremidade

superior do tubo por meio de um anel de latex mais espesso. Após introduzir uma pressão de aproximadamente 100 mmHg com o auxílio da seringa, conectada na outra extremidade superior do tubo, faz-se explodir o latex com uma chama ou um alfinete, enquanto, simultaneamente se registra o fenômeno a alta velocidade, no mínimo 50 cm seg.⁻¹

Uma maneira prática, para quem dispõe de gravador magnético, consiste em gravar o fenômeno a alta velocidade e a seguir transferi-lo para o registro de papel, com baixa velocidade no gravador magnético e alta no sistema de papel. A partir do traçado assim obtido, (fig. 2), calculamos os dois ele-

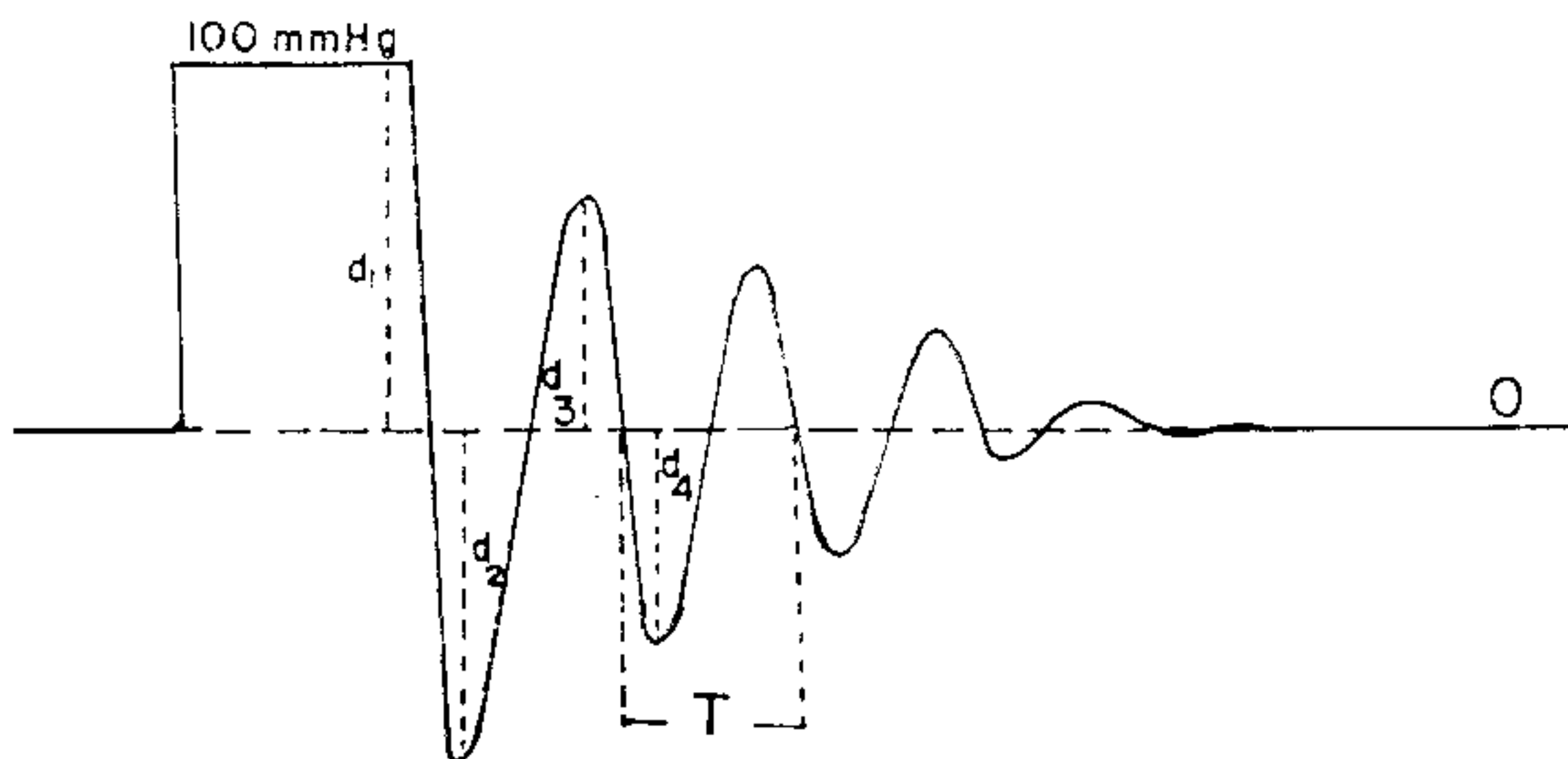


FIGURA 2

Método para calcular o amortecimento a partir da resposta a um estímulo do tipo impulso. Os picos d_1 , d_2 , etc. são medidos em relação ao ponto final de equilíbrio. T é o período de ressonância da membrana.

mentos necessários para a avaliação da resposta do conjunto catéter-transdutor, que são o amortecimento, β , e a frequência natural sem amortecimento, δ_0 . O amortecimento é calculado a partir do logaritmo natural do quociente do decréscimo das oscilações da membrana do transdutor, Z .

$$Z = \ln (d_1/d_3) \quad (1)$$

$$\beta = \frac{Z}{\sqrt{4\pi^2 + Z^2}} \quad (2)$$

e a frequência natural sem amortecimento, δ_0 , é calculada pela fórmula seguinte:

$$\delta^{\circ} = \frac{\sqrt{4\pi^2 + Z^2}}{2\pi T} \quad (3)$$

em que $1/T$ é a frequência de ressonância da membrana do transdutor.

Submetendo-se a membrana do transdutor a uma pressão sinusoidal, como é aproximadamente o caso da pressão arterial, a relação entre a amplitude das oscilações, o amortecimento e a frequência natural da membrana pode ser analisada através do normograma da fig. 3. Vê-se nele que,

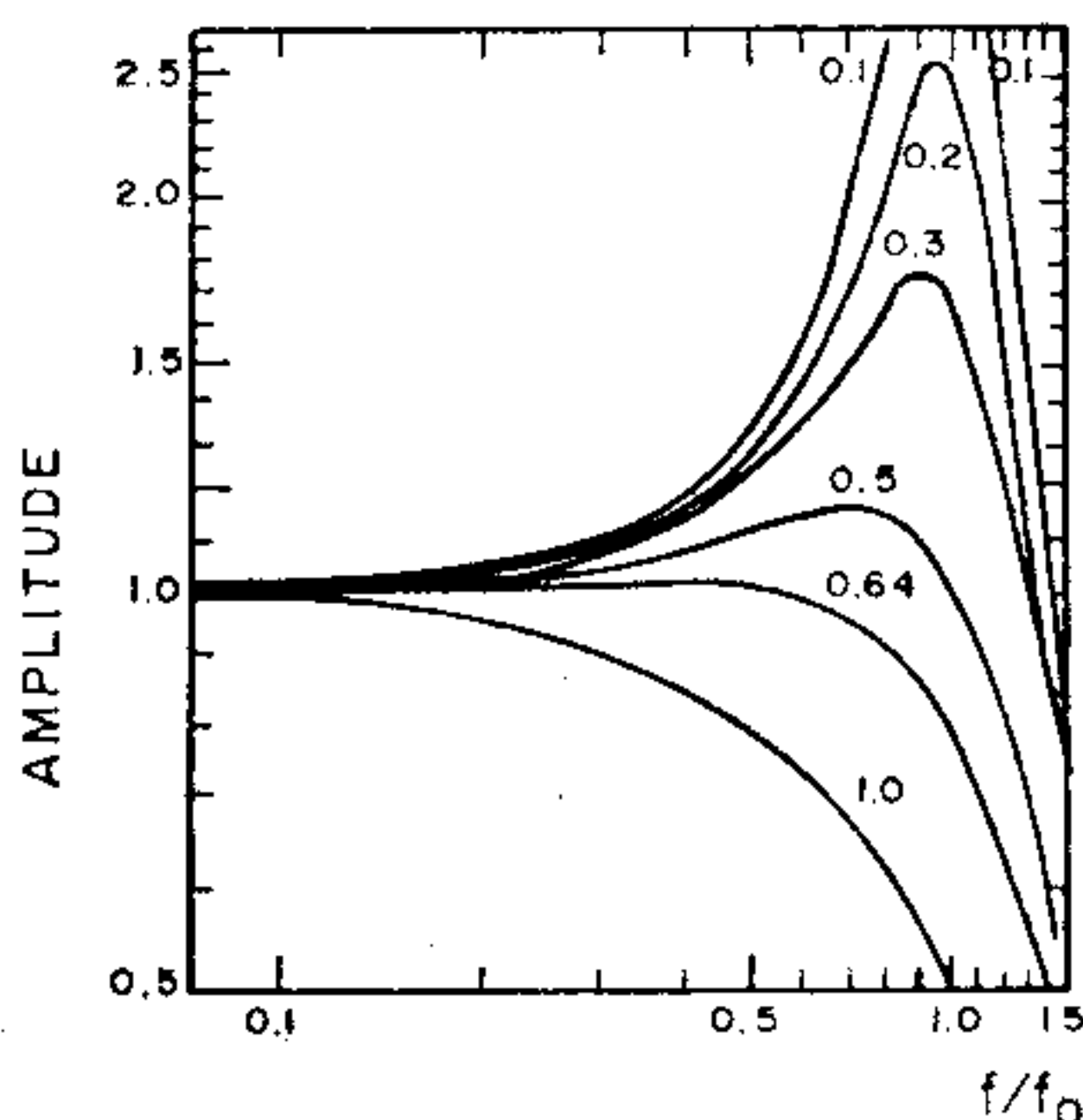


FIGURA 3

Resposta de um transdutor submetido a uma pressão sinusoidal de amplitude igual a 1. f/f_0 (em escala logarítmica) é a relação entre a frequência da pressão sinusoidal e a frequência natural do sistema. As curvas de resposta são mostradas para amortecimentos, β , iguais a 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.64 e 1.0. (segundo Gabe, I.T.).

quanto menor for o quociente entre a frequência do fenômeno em estudo e a frequência natural do sistema, tanto menor será a distorção da amplitude. Mais precisamente, seria necessário uma frequência de ressonância cinco vezes superior à maior frequência integrante da onda principal. Daí o interesse em se obter frequência de ressonância elevada no sistema catéter-transdutor uma vez que, o ajustamento do amortecimento, outro fator importante na linearidade da resposta, é de difícil execução.

A frequência natural do sistema é dada pela fórmula:

$$\delta = \frac{1}{2\pi} \frac{\sqrt{\pi r^2 C}}{P l} \quad (4)$$

em que:

C — compliância da membrana do transdutor — $\Delta V/\Delta p$

r — raio do catéter

l — comprimento do catéter

P — densidade do líquido

Como se vê (4), o único elemento do transdutor envolvido na determinação da frequência de ressonância do sistema é a compliância de sua membrana. Esta compliância varia numa faixa de 0,01 a 0,8 mm³. 100 mmHg⁻¹ nos modelos fabricados pela Statham. As séries P23D e P23G são as que apresentam menor volume de deslocamento, sendo que o P23Gb possui um volume de deslocamento de 0,01 mm³. 100 mHg⁻¹ e acoplado a um catéter 7F de 100 cm apresenta uma frequência natural de 70 Hz, enquanto que o modelo P23AA que apresenta um volume de deslocamento maior, 0,8 mm³. 100 mmHg⁻¹, acoplado ao mesmo catéter possui 14 Hz de frequência natural. A fig. 4 mostra a resposta ao teste do impulso,

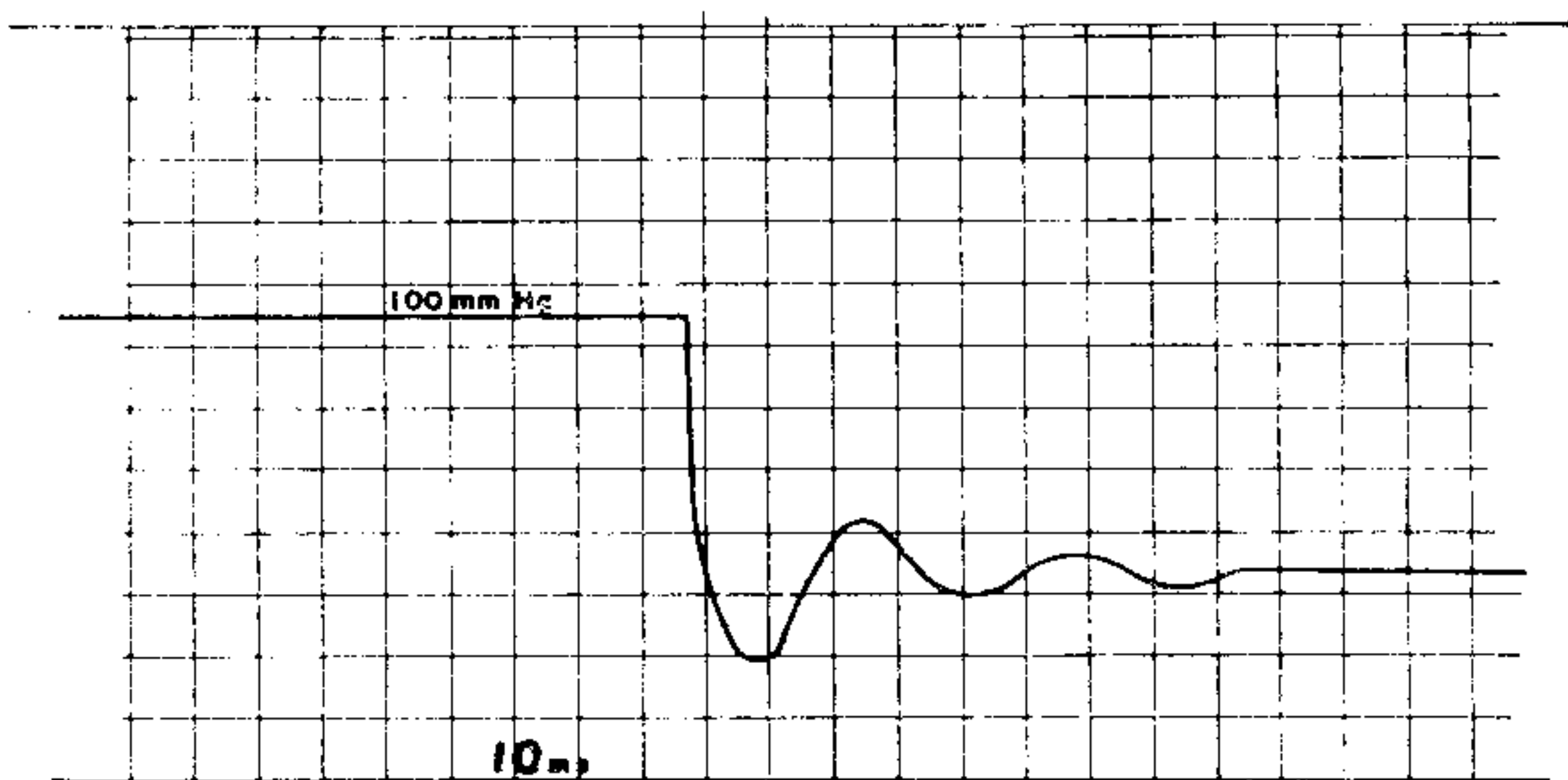


FIGURA 4

Resposta de um transdutor Statham P23AC conectado a um catéter de teflon 5F de 32 cm de comprimento, ao teste do impulso. $v = 100$ cm.seg⁻¹.

sobre um transdutor P23AC com um catéter 5F cm onde a frequência de ressonância é de 30 Hz. Ve-se pois que, além

da sensibilidade e da faixa de trabalho, a compliância é um dado importante a se levar em conta na escolha de um transdutor.

Quando a frequência natural sem amortecimento, δ_0 , obtida através o teste for inferior à prevista em (4), isto significa a presença nos sistema de microbolhas que em geral são de difícil remoção. A lavagem prévia do conjunto catéter-transdutor com álcool e o enchimento do sistema com soro fisiológico aquecido a 60°C são medidas úteis para evitar estas microbolhas.

SUMMARY

PRESSURE TRANSDUCERS: AN EVALUATION

The common usage of the pressure transducers in our country, makes important to be aware of some of the basic procedures that must be taken into account in order to choose the best transducer, as well as its correct utilisation. The main rules are:

The transducers with small volume displacement of the membrane connected to a short and wide catheter, makes up a set that gives a good dynamic response, very useful to measure pressures that yields a very high harmonic composition, as it happens with blood pressure.

1. the knowledge of the maximum absolute value of the pressure to be measured;
2. knowledge of the harmonic composition of the pressure;
3. linearity of the response to the pressure transducer at all levels of the pressure to be studied;
4. response of the pressure transducer compatible with the frequency of the pressure that is being measured;

REFERÊNCIAS

1. Fry D L — Physiologic recording by modern instruments with particular reference to pressure recording. *Physiol Rev* 40:753-788, 1960.
2. Gabe I T — Pressure measurement in experimental physiology cardiovascular fluid dynamics, (Editor D H Bergel), Academic Press, Vol I:11-50, 1972.
3. Hansen A T — Pressure measurement in the human organism. *Acta Physiol Scand* 19 suppl 68:1-227, 1949.
4. McDonald D A — Blood Flow in Arteries. Edward Arnold, London, 1960.
5. Anderson N A — Frequency response analysis. *Instruments & Control Systems*, 37:113-118, 1964.
6. Patel D J, Mason D T, Ross J, and Braunwald E — Harmonic analysis of pressure pulse obtained from the heart and great vessels of man. *Amer Heart J* 69:785-794, 1965.
7. Shelton C D and Watson B W — A pressure generator for testing the frequency response of catheter-transducer systems used for physiological pressure measurements. *Phys Med Biol* 13:523-528, 1968.
8. Vierhout R R and Verdrik A J H — Hydraulic Pressure Generator for Testing the dynamic characteristics of catheters and manometers. *J Lab Clin Med* 58:330-333, 1961.