

침습적 혈압 측정장치에서 Fast Flush Test로 측정된 Damping Coefficient와 Natural Frequency의 일관성 -A Pilot Study-

서울대학교 의과대학 마취과학교실

박금숙 · 김지연 · 안원식 · 김종성

= Abstract =

The Damping Coefficient and Natural Frequency Consistency Measured by Fast Flush Test in Invasive Blood Pressure Measurement Device

-A Pilot Study-

Kum Suk Park, M.D., Ji Yeon Kim, M.D., Wonsik Ahn, M.D., and Chong Sung Kim, M.D., Ph.D.

Department of Anesthesiology, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea

Background: There are sometimes invasive blood pressure waveform changes in a same patient. Before we start to investigate the reason of change, we want to confirm the accuracy of damping coefficient (DC) and natural frequency (NF) measurement by the traditional fast flush test using Analog/Digital (A/D) converter and signal analysis.

Methods: We inserted a routine arterial catheter in right radial artery. We used the Edwards pressure transducer kit and Cardiocap II (Datex) monitor. Connecting A/D converter to analog output of the monitor, we received all the data into a software made by Labview. The data were analyzed with Matlab program. The sampling rate of the software were 1000 Hz. We calculated the NF and DC from the digitalized data.

Results: The NFs and DCs of the digitalized data were not the same.

Conclusions: We conclude that the NFs and DCs from FFT were different in this pilot study. It is needed to research why this discrepancy occurred.

Key Words: blood pressure monitoring, damping coefficient, fast flush test, invasive blood pressure, natural frequency.

서 론

환자의 진료에 있어서 혈압의 측정은 필수적인 것이기에 활력징후를 언급할 때 혈압을 제일 먼저 언

급하고 있고, 환자의 상태를 논할 때 가장 중요하게 취급하고 있다. 이러한 혈압을 측정하는 방법은 비 침습적인 여러 가지 방법과 함께 침습적인 방법, 즉, arterial catheterization (A-line)이 사용되고 있다. 여기서 언급하는 A-line은 혈관 안에 catheter를 삽입하고 catheter와 transducer (압력 신호를 전기 신호로 변환하는 transducer) 사이에는 액체(대개, heparinized saline)를 포함하는 도관으로 연결된 장치를 사용하는 방법을 의미한다. A-line을 사용하는 것은 지속적으로 거의 실시간으로 혈압을 알 수 있으며, 채혈을 편리하게

책임저자 : 안원식, 서울시 종로구 연건동 28
서울대학병원 마취통증의학과
우편번호: 110-744
Tel: 02-760-3087, Fax: 02-745-5587
E-mail: aws@snu.ac.kr

하는 장점을 가지고 있어 중환자 진료나 마취 중에 많이 이용되고 있는 방법이다. 그런데, 이러한 A-line 방법은 혈관 안에 직접 측정기구를 삽입하는 방법 (manometer-tipped high-fidelity catheter) 보다는 정확성이 떨어지는 것으로 되어 있고, 이 두 가지 측정 방법 간에 변환 공식도 연구되어 있다.¹⁾ 비록 정확성은 약간 떨어지지만 상대적으로 저렴한 가격 때문에 A-line 방법이 많이 사용되고 있다. A-line 측정에 있어서 측정값의 정확성은 catheter, 액체를 포함한 도관, transducer의 전체 시스템이 결정하는 damping coefficient (DC)와 natural frequency (NF)가 적절한 조합을 형성하느냐 여부로 판단해 오고 있고, 임상적으로는 fast flush test (FFT)를 이용하여 DC와 NF를 측정하고 있다.²⁾ 이러한 FFT 방법은 임상에서 많이 사용하고 있음에도 불구하고, DC와 NF를 잘 반영한다는 연구결과와^{3,4)} DC와 NF를 잘 반영하지 않기 때문에 'in vitro sine wave test를 꼭 시행해야한다'는 상반된 연구 결과가 있다.⁵⁾ 그런데, 마취 중에 손이 꺾이거나 공기의 삽입 등 기계적인 오류가 없음에도 불구하고, 동맥압 파형이 현저하게 변화하는 것을 경험하여 측정 장치를 교체하지 않은 상태에서 DC나 NF가 변화하는지 여부를 FFT를 통하여 알아보고자 이 연구를 기획하였다.

대상 및 방법

오른쪽 요골 동맥에 catheter가 거치 되어 전신마

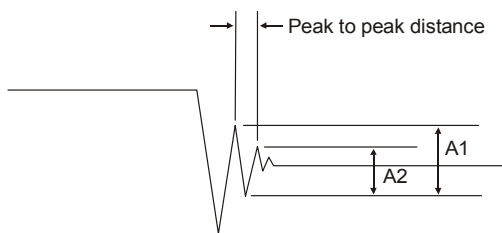


Fig. 1. The method for obtaining damping coefficient and natural frequency using the fast flush test.

DF (Hz) = (paper speed, mm/sec) / (peak to peak distance, mm)

$$DR = A_2 / A_1, DC = [-\ln(DR)] / [\pi^2 + \{\ln(DR)\}^2]^{1/2}$$

$$NF (Hz) = DF / (1-DC^2)^{1/2}$$

DC: damping coefficient, DR: damping ratio, NF: natural frequency, DF: damped frequency.

취를 받고 있는 40대 남자환자를 대상으로 하였다. Catheter는 1.16 인치 20 G (D&B-CATH[®], 보인메디카, 대한민국)를 사용하였고, transducer는 Edwards 회사 제품(PX260 Pressure Monitoring Kit with TruWave Disposable Pressure Transducer, Edwards Lifesciences, USA)을 사용하였다. Monitor는 Datex Cardiocap II monitor (model: CH-2S-28-02, Datex, Finland)를 사용하였다. Transducer와 monitor의 적정성은 Simulator (TruCal[™], Baxter, USA)를 통하여 오차범위가 1%이 내인 것을 확인하였다.⁶⁾ Monitor의 자료(동맥압 파형)는 Analog output port를 통해 해상도 12bit인 A/D converter (EZAD[®]-512, 엘바이오, 대한민국)를 사용하여 digital 신호로 변환하였고, 이 후 컴퓨터의 전송은 표준 RS232C cable을 이용하여 컴퓨터의 직렬 포트에 연결하여 자료를 전송하였다. 컴퓨터 프로그램은 Labview (Labview[®], National Instrument, USA)를 사용하여 작성하였고, 자료 분석은 Matlab (MATLAB[®], MathWorks, USA)을 이용하여 시행하였다. 임상 자료의 검출은 1000Hz를 이용하여 시행하였고, 동맥압 파형이 다른 모양을 보인 3개의 시점(대략 2 시간의 간격)에서 FFT를 이용하여 damped frequency (DF)와 damping ratio (DR)를 측정하였다(Fig. 1). FFT의 시행은 수축기 직전에 하도록 노력하였고, 여러 FFT 시행 중에 수축기의 작용이 제일 배제된 시기의 결과를 가지고 DF와 DR을 측정하였다. DC와 NF의 계산은 다음식을 사용하였다.^{3,7)}

$$DC = [-\ln(DR)] / [\pi^2 + \{\ln(DR)\}^2]^{1/2}$$

$$NF = DF / (1-DC^2)^{1/2}$$

ln: 자연로그

결 과

각 시점별 DC와 NF는 Table 1과 같았다. 이 들

Table 1. Damping Coefficient and Natural Frequency Calculated from Fast Flush Test. Time 1, 2 and 3 are Separated Around 2 Hours

	Time 1	Time 2	Time 3
Damping coefficient (DC)	0.2343	0.2348	0.2946
Natural frequency (NF)	25.6517	20.8251	21.7555

중에서 시점 3의 DC는 다른 2개의 시점과 다른 수치를 보였고, 시점 1의 NF는 다른 2개의 시점과 다른 결과를 보였다.

고 찰

어떤 현상을 보다 쉽고 효율적으로 이해하고, 활용하기 위해 여러 가지 변환을 시도한다. 이 연구에서 논하고 있는 A-line도 일종의 변환 기법 활용으로 혈압이라는 압력 신호를 전기 신호로 바꾸어 주는 변환 장치인 것이다. 이러한 변환(압력 신호→ 전기 신호, 변환 1)을 수행한 후 각 모니터마다 자기가 갖고 있는 변환 수치 공식에 따라 다시 압력 값으로 변환하게 된다. 예를 들어, Dyna Scope 5300의 analog output의 하나인 AN-500 (AN-500 Analog Output Unit, Fukuda Denshi, Japan)에서 내보내주는 혈압의 전기 신호는 1 V당 100 mmHg라는 변환식을 갖고 있어 들어오는 전압 신호를 기반으로 압력 신호인 혈압 수치(전기 신호 → 압력 신호, 변환 2)를 기술해 주도록 설계되어 있다. 그런데, 만약 변환 1이나 변환 2에서 부적절한 변환이 일어나거나 그 밖에 신호 전달과정에서 오류가 발생한다면 우리가 모니터에서 보는 혈압 수치는 환자의 혈압을 반영하지 않을 수 있다. 상기 두 가지의 변환(변환 1과 변환 2) 중에서 변환 2는 정확성이 매우 높은 것으로 생각되고 있고, 변환 1에 오류가 발생할 가능성이 많은 것으로 알려져 있다. 특히, transducer를 일회용이 아닌 재사용 방식을 사용하면 이런 오류가 많이 발생할 수 있어서 calibration 과정이 필요한 경우가 많이 있다. 일회용 방식의 transducer를 사용하더라도 오류가 발생할 가능성이 있으므로 각 transducer의 특성을 잘 살펴보아야 한다. 변환 1에서 사용되는 transducer의 특성은 진동하는 물체의 시간에 대한 위치 표현 방정식에서 이를 이차 미분한 미분방정식 특성 곡선의 해와 일치하는 것으로 되어 있다.^{8,9)} Transducer의 특성이 미분방정식의 해인 DC와 NF에 따라 결정되므로 이를 각 transducer마다 기술해 주는 것이 좋겠다고 80년대 초부터 제안되었다.⁶⁾ 그러나, 20년이 지난 지금도 상용화된 transducer 제품들이 각각의 DC와 NF를 기술해 주는 것이 일반화되어 있지 않은 것 같다.

임상에서 마취를 수행하면서 동맥압 파형을 관찰

해 보면, 손목이 꺾이거나 도관에 공기가 들어가 있지 않는 상황에서도 소위 ‘damping되었다’라고 일컬어지는 파형(수축기 혈압 부분이 둥근 모양)이 관찰되는 경우가 있고, 같은 환자에서 다른 시점에 ‘ringing’이라고 일컬어지는 파형(수축기 혈압 부분에 여러 notch가 있는 모양)이 관찰되는 경우를 대개의 마취과 의사들이 경험하였으리라 생각된다. 이러한 현상이 만약 신호 변환에서 생긴 오류라면 DC와 NF가 변화하였는지 모른다는 생각으로 이 연구를 수행하였다. 이번 시험적 연구에서는 DC와 NF가 측정 시점마다 다르게 나타났고, 시험적 연구로 수행하였기에 여러 번 시도하거나 여러 환자에서 측정을 시도하지는 않았다. 비록 확정된 결론은 아니더라도 이러한 차이를 유발할 수 있는 원인을 생각해 보면, 1) 시간적 경과에 따른 측정계의 물리적 변화,¹⁰⁾ 2) 심박수나 혈압의 변화의 영향, 3) 혈관 수축 상태 (vascular tone)의 변화, 4) 측정의 오류⁵⁾ 등을 생각할 수 있겠다. 만약, 1), 2), 3)의 요인으로 이러한 변화가 나타났다면 침습적 혈압 측정 장치의 적정성을 검사하는데 있어 ‘in vivo로 어떤 상태에서 FFT를 시행해야 한다’ 등의 기준 설정이 필요하겠다. FFT로 인한 측정이 불일치의 원인일 수 있으므로 향후의 연구에서는 in vitro sine wave test로 확인 작업을 해 보는 것이 필요할 것으로 생각된다.

결론적으로, 측정 장치를 교체하지 않은 상태에서 FFT를 이용한 측정법에서는 DC나 NF가 변화하였고, 이러한 결과가 마취 중 환자의 동맥압 파형변화와 직접적으로 관련이 있는지 여부는 좀 더 세밀한 연구 계획에 의해 확인해야 할 사항으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Lambermont B, Gerard P, Detry O, Kolh P, Potty P, D'orio V, et al: Correction of pressure waveforms recorded by fluid-filled catheter recording systems: a new method using a transfer equation. Acta Anaesthesiol Scand 1998; 42: 717-20.
2. Gardner RM: Accuracy and reliability of disposable pressure transducers coupled with modern pressure monitors. Crit Care Med 1996; 24: 879-82.
3. Kleinman B, Powell S, Kumar P, Gardner RM: The fast flush test measures the dynamic response of the entire blood pressure monitoring system. Anesthe-

- siology 1992; 77: 1215-20.
4. Kleinman B, Powell S, Gardner RM: Equivalence of fast flush and square wave testing of blood pressure monitoring systems. *J Clin Monit* 1996; 12: 149-54.
 5. Hipkins SF, Rutten AJ, Runciman WB: Experimental analysis of catheter-manometer systems in vitro and in vivo. *Anesthesiology* 1989; 71: 893-906.
 6. Gardner RM: Direct blood pressure measurement-Dynamic response requirements. *Anesthesiology* 1981; 54: 227-36.
 7. Hunziker P: Accuracy and dynamic response of disposable pressure transducer-tubing systems. *Can J Anaesth* 1987; 34: 409-14.
 8. Milnor WR: *Hemodynamics*. Baltimore, Williams & Wilkins. 1982, pp 272-311.
 9. Nichols WW, O'Rourke MF: *McDonald's blood flow in arteries. Theoretical, experimental and clinical principles*. 4th ed. New York, Oxford University Press. 1998, pp 114-53.
 10. Promonet C, Anglade D, Menaouar A, Bayat S, Durand M, Eberhard A, et al: Time-dependent pressure distortion in a catheter-transducer system: correction by fast flush. *Anesthesiology* 2000; 92: 208-18.
-