

세 가지 혈압 측정법과 측정값의 비교

여러 인체 활력 징후 중에서 혈압은 매우 유용한 항목이어서 환자를 판단하는 데 가장 많이 사용된다. 그래서 의사들은 혈압을 자주 측정하고, 특히 환자의 활력 징후가 급격히 변화할 수 있는 마취 중 환자나 중환자실의 환자를 돌보는 것이 주 임무인 마취과 의사들은 혈압 측정을 누구보다도 많이 시행하고 있다. 잦은 측정이 필요하여, 자동 혈압(Automatic Noninvasive Blood Pressure, ANIBP) 측정법도 개발하였고, 신속하고 정확한 혈압을 얻기 위해 침습적이지만 지속적인 혈압(Invasive Blood Pressure, IBP) 측정법도 도입하게 되었다. 그런데, 이 측정법들이 서로 측정 대상이나 방법이 다른데도 불구하고, 그 차이를 명확히 기술한 글이 없어 이 글을 작성하게 되었다.

측정 대상

대부분의 임상 의사들은 혈관 안에 있는 혈액의 순수 압력만 혈압을 결정하는 물리적 특성으로 생각하고 있다. 하지만, 혈관 속을 흐르는 혈액이 가지는 에너지는 3가지 종류가 있으므로 이를 좀 더 세밀히 살펴보자. 먼저 질량을 가지고 있으므로 위치 에너지(중력)가 있고, 둘째, 이 글의 대상인 압력 에너지가 있다. 압력 에너지는 부피를 가진 물체가 가진 압력으로 부피와 압력의 곱으로 계산된다. 마지막으로 혈액이 혈관 속에서 이동하고 있으므로 운동 에너지가 있다.¹⁾ 이를 식(Bernoulli's equation)으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{혈액의 총 에너지} = \text{위치 에너지}(mgh) + \text{압력 에너지}(PV) + \text{운동 에너지} \left(\frac{1}{2} mv^2\right)$$

이 중에서 위치 에너지는 측와위에서 좌·우측 팔의 압력 비교와 같은 상황에서 고려의 대상이 되고, 양와위에서는 영향이 적으므로 이번 논의에서는 제외하겠다. 이제 혈액이 가지는 에너지는 두 가지, 압력 에너지와 운동에너지만 남는다. 이중 압력 에너지는 단위 부피에서 모든 방향으로 작용하게 되므로 혈관 벽에서도 측정이 가능하고, 이 혈관 벽에 작용하는 현상을 측정하는 것이 비침습적 혈압(NonInvasive Blood Pressure, NIBP) 측정이다. NIBP 측정에서는 커프가 혈액의 흐름을 약간 방해하기 때문에, 운동 에너지 중 일부가 압력에너지로 변환되어 측정되지만 측정된 압력에 대한 기여는 상대적으로 적다. 반면에 IBP 측정 방법에서는, 카테터를 혈관 안에 꽂기 때문에 카테터 속으로

들어가는 혈액은 기본적으로 속도가 0이 된다. 에너지 보존 법칙에 의해 총 에너지는 일정하게 되므로, 사라진 운동에너지는 압력 에너지로 변환되어 두 에너지의 합이 압력 측정 transducer의 piezoelectric crystal (압력을 전기 신호로 바꾸는 소자)에 작용하게 된다. 즉, IBP는 혈액 속의 압력 에너지와 운동 에너지를 합쳐서 측정하게 되는 것이다(Fig. 1). 그러므로 NIBP와 IBP가 오차 없이 측정되었을 때는 항상 IBP가 높게 나오게 되는 것이다. 이러한 현상은, 혈액의 속도가 빠를 때 운동 에너지 성분($\frac{1}{2} mv^2$)이 커지므로 쉽게 관찰된다. 예를 들어, 전신 마취유도 중 NIBP와 IBP를 동시에 측정하고 있다면, 기관 내 삽관 전에는 별 차이를 보이지 않던 두 혈압이 삽관 직후 혈압이 올라가면서 혈액 속도가 빨라질 때 많은 차이를 보이게 되는데, 이러한 차이의 원인은 측정 대상이 다르기 때문이다.

측정 방법에 따른 측정값과 추정 값

측정자가 환자의 상완에 커프를 감고, 소리를 들어서 측정하는 전통적인 혈압(Manual Noninvasive Blood Pressure, MNIBP) 측정법은 커프의 압력을 예상되는 수축기 혈압보다 더 높게 올리고, 천천히 압력을 줄이면서 소리가 들리기

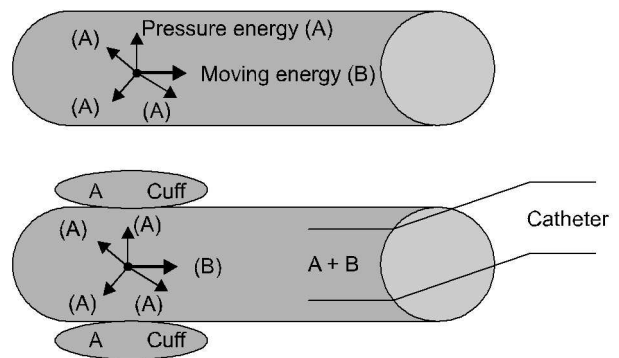


Fig. 1. Schematic drawing of the energy in blood and the targets of blood pressure measurement methods. Any blood particle in human artery has intrinsic pressure and moving energy. Noninvasive blood pressure (NIBP) monitoring methods measure lateral pressure (A) of blood vessel. In contrast, invasive blood pressure (IBP) monitoring method measure both pressure (A) and moving energy (B) of blood. Therefore, if each method measures correct target, the value of IBP has always greater than that of NIBP.

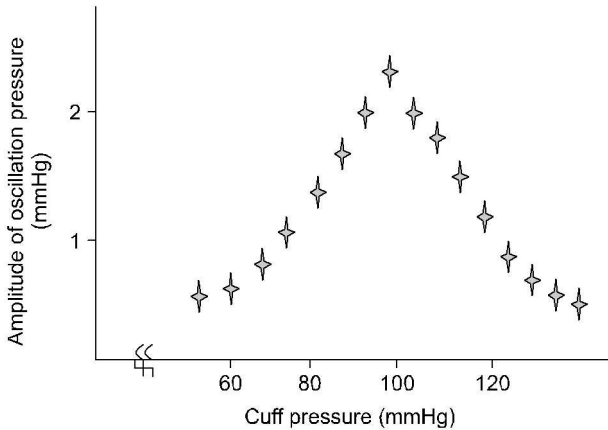


Fig. 2. The trend of amplitude of oscillation pressure (AOP) when cuff pressure is applied to an extremity. Automatic noninvasive blood pressure monitor measures amplitude of oscillation of applied pressure when cuff is inflated. The mean blood pressure (MBP) is determined by the maximum AOP. The systolic blood pressure (SBP) and the diastolic blood pressure (DBP) are determined by algorithm based on the slope of the AOP graph or on fixed ratios of AOP.³⁾ Some monitors determine SBP when AOP starts to increase during deflation. In this example, monitor displays approximately 125/100/70 mmHg (SBP/MBP/DBP).

시작하는 시점을 수축기 혈압이라고 정의하고, 소리가 들리지 않는 시점을 이완기 혈압이라고 정의한다.²⁾ 이 측정법의 정확성 여부는 논의로 하고, 맞게 측정한다고 가정하자. 방법에서 유추할 수 있듯이, 이 측정법은 수축기 혈압(SBP)과 이완기 혈압(DBP)을 측정하고, 평균 혈압(MBP)은 추정하게 된다. 수술실이나 중환자실에서 사용하는 ANIBP는 커프 압력을 예상되는 수축기 혈압보다 올리고, 정해진 알고리즘에 따라 압력을 줄이면서 커프를 통해 전달되는 압력의 진폭 (Amplitude of Oscillation Pressure, AOP)을 측정하게 된다. 이 방법은 AOP가 최대인 지점을 측정하여 MBP로 표시하고, 몇 군데를 더 측정하여 AOP 하강 추세선(또는 기울기)을 구한 후 추세선의 변곡점을 구하여 SBP와 DBP로 추정하거나 최대 AOP의 특정 비율이 되는 양 지점을 SBP와 DBP로 추정하게 된다(Fig. 2).³⁾ AOP가 처음 커지기 시작하는 지점을 직접 측정하여 SBP로 정하는 경우도 있다. 이 때 충분한 측정 시간을 가진다면 정확한 추세선을 구할 수 있고, SBP도 측정하여 정확도는 높일 수 있으나, 빠른 측정을 위해 측정 횟수를 줄여서 신속히 혈압을 결정하는 알고리즘을 회사별로 채택하여 사용하고 있다. 각 모니터 회사별로 구현한 구체적인 알고리즘은 회사의 기밀로 공개하지 않고 있다. 하지만 대부분의 측정법에서 MBP를 측정하게 되고, DBP 또는 SBP와 DBP를 알고리즘에 의해 추정하게 된다.

임상에서 사용하는 IBP 측정법은 측정 압력의 절대값과

위상에서 오차를 필연적으로 수반하여 변환 공식도 연구되어 있지만 이 글에서는 정확한 측정이라고 가정하겠다.⁴⁾ IBP 측정법은 혈액 에너지가 압력 측정 transducer의 piezoelectric crystal에 작용하여 전압신호로 변환되어 아날로그 형태로 모니터에 전달되는 방식이 일반적이다. 모니터에서는 혈압 표시가 너무 자주 바뀌는 것을 방지하기 위해 몇 초의 시간 동안에 주어진 자료를 합하여 평균적으로 SBP, DBP를 표시하게 된다. 고급 모니터에서는 파형의 적분회로를 구현하여 MBP를 직접 계산하여 표시하기도 하지만, 저급 모니터에서는 임상에서 많이 사용하는 MBP 추정식을 이용하여, SBP, DBP로부터 MBP를 추정하기도 한다. 하지만 후자의 방법은 SBP, DBP가 같으면서 파형의 모양이 다른 경우에 MBP를 같게 표시하는 단점이 있다.⁵⁾ 이 방법에서는 SBP, DBP는 측정하고, MBP는 계산하거나 추정하게 된다.

비교 해석

임상에서 사용하는 세 가지 혈압 측정 방법(MNIBP, ANIBP, IBP)은 측정 대상이 다르거나 측정 값, 추정 값이 서로 다르다. 그러므로 서로 다른 측정 방법에 의해 구해진 혈압의 정확성 여부를 알아보기 위해 비교하거나, 상호간에 오차를 줄이는 시도를 하는 것은 타당하지 않다.⁶⁾ 또한, 연구 설계상 혈압이 중요한 변수로 선정된 경우에는 측정 방법을 명확히 명시하여야 연구의 신빙성과 재현성을 높일 것으로 생각된다. 그리고, 표시되는 세 가지 혈압 항목 중 하나를 선정하여 연구를 진행하고자 할 때는 측정 방법에 따라 SBP, DBP, MBP 중 어느 항목이 정확히 측정된 것이냐를 따져서 적절한 것을 선택하는 것이 좋을 것으로 생각된다.^{7,8)}

저자: 심지연 · 박희연* · 안원식*

울산대학교 의과대학 서울아산병원 마취통증의학교실,
*서울대학교 의과대학 서울대학교병원 마취통증의학교실
서울시 종로구 연건동 28번지, 우편번호: 110-744
E-mail: aws@snu.ac.kr

참 고 문 헌

1. Nichols WW, O'Rourke MF: McDonald's blood flow in arteries: theoretical, experimental and clinical principles. 5th ed. New York, Oxford University Press. 2005, pp 22-4.
2. Pickering TG, Hall JE, Appel LJ, Falck BE, Graves J, Hill MN, et al: Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the

- American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Circulation* 2005; 111: 697-716.
3. Drzewiecki G, Hood R, Apple H: Theory of the oscillometric maximum and the systolic and diastolic detection ratios. *Ann Biomed Eng* 1994; 22: 88-96.
 4. 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.
 5. Ahn W, Lim YJ: Mean arterial blood pressure estimation and its limitation. *Can J Anaesth* 2005; 52: 1000-1.
 6. Ahn W, Jung CW: A comparison of the Vasotrac with invasive arterial blood pressure monitoring. *Anesth Analg* 2006; 102: 333.
 7. Kim HY, Lim CH, Lee HW, Lim HJ, Yoon SM, Chang SH: Changes in the autonomic function after thoracic sympathectomy by clipping. *Korean J Anesthesiol* 2006; 50: 292-5.
 8. Park SY, Ahn W: Changes in the autonomic function after thoracic sympathectomy by clipping [letter]. *Korean J Anesthesiol* 2006; 51: 137-8.
-