

## 동맥압 형태변화에 따른 혈압 보정에 관한 연구

임성수, 박광리, 이경중  
연세대학교 보건과학대학 의용전자공학과

### A Study on the Compensation of Blood Pressure Caused by the Change of Arterial Pressure Shape

S. S. Lim, K. L. Park, K. J. Lee  
Department of Biomedical Engineering, College of Health Science, Yonsei University

#### ABSTRACT

This paper is a study on compensation for error in estimation of mean pressure according to the change of arterial pressure shape. Because arterial pressure shape affects the mean pressure and blood volume which are important factors for measurement of blood pressure(BP), change of arterial pressure shape cause BP measurement error. In order to solve this problem, we add the compensation function  $C(\alpha)$ , depending on arterial pressure shape, to mathematical oscillometric model. Consequently, we could accurately estimate the blood pressure by correcting of the error using compensation function.

#### 서론

비관혈적 혈압측정 방법 중에서 오실로메트릭(oscillometric) 방법은 자동적인 혈압 측정기기에 가장 많이 이용되고 있다. 오실로메트릭 방법은 팔이나 다리에 감긴 커프(cuff)압력에 의해 동맥압(arterial pressure)의 오실레이션(oscillation)들이, 커프에 나타나는데 이 오실레이션 크기들의 변화를 이용한 혈압측정 방법이다. 혈압측정 알고리즘 중에는 오실레이션 크기의 기울기 변화를 이용한 것과 오실레이션의 최대크기를 이용한 것(MAA: Maximum Amplitude Algorithm)이 있는데, MAA가 주로 이용된다.

MAA는 오실레이션의 크기에 근거한 오실로메트릭 알고리즘이다. 커프에서 발생하는 오실레이션들 중에서 최대크기 오실레이션이 발생할 때, 이 때의 커프압을 평균압으로 추정한다. 커프압이 수축기압과 이완기압일 때, 이때의 오실레이션 크기는 최대 오실레이션 크기의 특정한 비(특성비율: characteristic ratio)로 나타난다. 따라서 수축기압과 이완기압은 특성비율에 의해 결정된다.

평균압은 동맥파형의 형태에 의존하지만, 기존의 오실로메트릭 모델에서는 이에 대한 고려가 없기 때문에 평균압 추정시 오차가 발생된다[1].

이에 본 연구에서는 동맥파형의 형태 변화에

의해 발생하는 오차를 보정할 수 있는 보정함수를 제시하여 오실로메트릭 모델에 적용시키고 특성비율의 변화를 분석하여 정확한 혈압을 추정하고자 한다.

#### 오실로메트릭 모델

##### 1. 동맥압 모델(Arterial Pressure Model)

동맥압은 수축기 부분을 반파 정현파 파형으로 식 (1)과 같이 모델링 하였다.  $T$ 는 동맥압의 주기,  $T_d$ 는 pulse duration 이며  $P_d(t)$ ,  $P_D$ ,  $P_S$ 는 각각 동맥압, 이완기압, 수축기압이다.

$$\begin{aligned} P_d(t) &= P_D + (P_S - P_D) \sin t \quad (0 < t < T_d) \\ P_d(t) &= P_D \quad (T_d < t < T) \end{aligned} \quad (1)$$

또한 평균압  $P_M$ 은 식 (2)와 같이 계산이 된다.

$$P_M = \frac{1}{T} \int_0^T P_d(t) dt \quad (2)$$

##### 2. 동맥 압력-용적(pressure-volume) 관계

동맥 압력-용적 관계 모델은 식 (3)과 같이 정적 지수함수 모델로 선택하였다.

$$\begin{aligned} V &= V_0 e^{aP_t} \quad (P_t \leq 0) \\ V &= V_{\max} + (V_0 - V_{\max}) e^{bP_t} \quad (P_t \geq 0) \end{aligned} \quad (3)$$

$V$ 는  $P_t$ 에서의 혈액량,  $V_0$ 은 동맥이 unload 상태일 때의 혈액량,  $V_{\max}$ 는 동맥이 최대 팽창했을 때의 혈액량이며,  $a$ 와  $b$ 는 지수계수이다. 여기서 transmural pressure,  $P_t$ 는 식 (4)와 같다.

$$P_t(t) = P_d(t) - P_c(t) \quad (4)$$

여기서  $P_c(t)$ 는 커프의 압력이다.

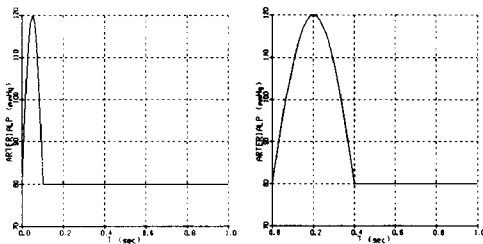
위의 식들에 의해 평균압  $P_M$ 과 혈액량  $V$ 는 동맥압  $P_d(t)$ 에 의존하는 함수이므로, 동맥압의 형태 변화는 평균압과 혈액량에 영향을 미치게 되고, 이러한 영향을 고려하지 않은 시스템에서 측정된 혈압은 오차를 나타낸다. 본 연구에서는 식

(5)와 같이 파형의 형태에 따른 보정함수  $C(\alpha)$ 를 첨가하여 이러한 오차를 보정하였다. 동맥파형 형태의 파라미터인 systolic fraction (SF)  $\alpha$ 는  $T$ 에 대한  $T_d$ 의 비율( $\alpha = T_d / T$ )로 정의된다[2].

$$P_i(t, \alpha) = P_a(t) - P_c(t) + C(\alpha) \quad (5)$$

**시물레이션 결과 및 고찰**

동맥파형 형태 파라미터  $\alpha$ 를 0.1~1.0까지 0.1씩 증가시켜 가며, 보정함수  $C(\alpha)$ 를 고려하지 않았을 때와 고려했을 때 각각에 대한 실제의 평균압  $P_M$ 과 시물레이션을 통해 추정된 평균압  $P_{EM}$ 을 비교하였다. 그림 1은  $\alpha=0.1$ ,  $\alpha=0.4$ 에 대한 동맥압 파형을 나타낸 것이다.



(a)  $\alpha = 0.1$  (b)  $\alpha = 0.4$   
 그림 1. 동맥압 파형( $P_S = 120$ ,  $P_D = 80$ )

그림 2는  $\alpha=0.1$ 의 동맥압 파형일 때 동맥 혈액량의 오실레이션 크기 변화를 나타낸 것이다(식 3).  $\alpha=0.1$  일때의 평균압  $P_M$ 은 식(2)에 의해 83 mmHg이다. 보정함수  $C(\alpha)$ 를 고려하지 않은 경우의  $P_{EM}$ 은 90mmHg로 -7mmHg의 오차를 보인 반면, 보정했을 때의  $P_{EM}$ 은 83mmHg로 오차가 보정되었다.

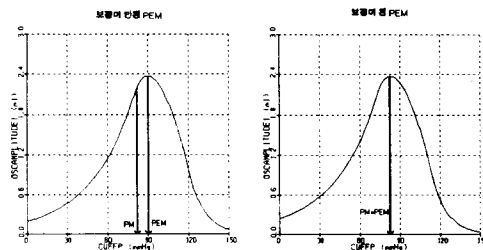


그림 2. 보정했을 때와 보정하지 않았을 때의  $P_{EM}$   
 ( $\alpha = 0.1$ ,  $P_S = 120$ ,  $P_D = 80$ )

보정함수가 없는 경우의 모델은  $\alpha$  값에 상관없이 수축기압과 이완기압의 차( $P_S - P_D$ )가 같으면 동일한  $P_{EM}$  값을 추정함을 알 수 있었다.  $\alpha$ 가 0.1~1.0범위에서의  $P_{EM}$ 의 오차는 -7~15mmHg

이었다. 보정된 경우의 평균압, 수축기압, 이완기압의 특성비율은 그림 3과 같다.  $\alpha$ 가 증가함에 따라 수축기압의 특성비율은 증가하고 이완기압의 특성비율은 감소함을 볼 수 있다. 평균압의 특성비율은 항상 1인 것을 볼 수 있는데, 이는 보정에 의해 평균압이 오차없이 추정됨을 의미한다.

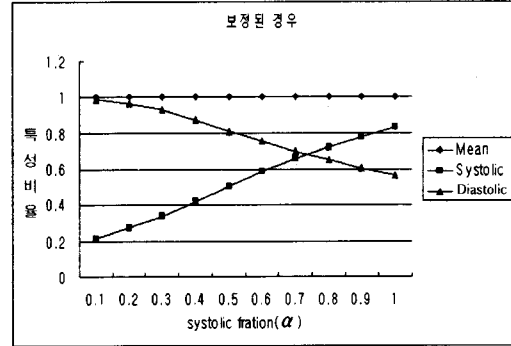


그림 3.  $\alpha$ 에 따른 특성비율의 변화

**결론**

동맥압 파형의 형태를 나타내는 파라미터인  $\alpha$ 를 정의함으로써 동맥압 형태 변화에 따른 평균압의 오차를 보정을 할 수 있었다. 이 보정함수  $C(\alpha)$ 는 unload 상태의 동맥 특성에 의존한다. 보정에 의해 특성비율이 변화는 것을 알 수 있다. 특성비율은 동맥파형의 형태와 조직의 특성등에 의존하는 파라미터이기 때문에 고정된 특성비율을 적용하면 정확한 혈압을 측정할 수 없다. 따라서 적용적인 특성비율로 혈압을 결정함으로써 혈압측정의 오차를 줄일 수 있다.

**Further Study**

일반적인 입력파형의 모델을 통해 일반적인 보정함수에 대한 모델과 동적인 혈압-용적 관계를 나타내는 혈관 모델에 대한 연구가 필요하다.

**참고문헌**

[1] P. D. Baker, D. R. Westenskow, K. Kuck "Theoretical analysis of non - invasive oscillometric maximun amplitude algorithm for estimating mean blood pressure" Med. Biol. Eng. Comput, 1997, 35, 271-278  
 [2] F. K. Forster and D. Turney "Oscillometric determination of diastolic, mean, and systolic blood pressure, A numerical model", ASME J. Biomech. Eng., vol. 108, pp. 359-364, 198