

# PTT를 이용한 운동 중 혈압 예측을 위한 Local과 Global Fitting의 비교

論 文

56-12-35

## Comparison of Local and Global Fitting for Exercise BP Estimation Using PTT

金哲承\*·文基旭\*\*·嚴光文†

(Chul-Seung KIM · Ki-Wook MOON · Gwang-Moon EOM)

**Abstract** - The purpose of this work is to compare the local fitting and global fitting approaches while applying regression model to the PTT-BP data for the prediction of exercise blood pressures. We used linear and nonlinear regression models to represent the PTT-BP relationship during exercise. PTT-BP data were acquired both under resting state and also after cycling exercise with several load conditions. PTT was calculated as the time between R-peak of ECG and the peak of differential photo-plethysmogram. For the identification of the regression models, we used local fitting which used only the resting state data and global fitting which used the whole region of data including exercise BP. The results showed that the global fitting was superior to the local fitting in terms of the coefficient of determination and the RMS (root mean square) error between the experimental and estimated BP. The nonlinear regression model which used global fitting showed slightly better performance than the linear one (no significant difference). We confirmed that the wide-range of data is required for the regression model to appropriately predict the exercise BP.

**Key Words** : Continuous BP monitoring (연속적 BP 모니터링), Pulse Transit Time (맥파전달시간), Regression model (회귀모델), Hypertension(고혈압), Global fitting (광역 fitting)

### 1. 서 론

고강도 운동은 좌식생활 위주의 사람들 및 심장질환을 가진 사람들에게 심혈관 사고의 위험성을 증가시킨다[1]. 이러한 위험성을 예방하기 위하여 고강도 운동 중 혈압을 지속적으로 측정하여 자신의 적정 혈압에 맞는 운동 강도를 결정하거나, 운동 중 자신의 혈압의 변화를 알고 있는 것이 이러한 위험을 예방하는데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

지속적으로 혈압을 예측할 수 있는 방법으로 PTT와 수축기 혈압 (Systolic blood pressure: SBP)의 상관관계를 이용한 방법이 제안되고 있다[2]. 신체치수를 고려한 휴식 중 모든 피험자에게 적용할 수 있는 회귀 모델이 제안되었으나[3], 운동 중이거나 정상 혈압보다 상승할 경우 이 회귀 방법의 적용이 가능한지는 아직 밝혀진 바가 없다. 운동 중 혈압을 예측하는 방법이 제안되었으나, 저강도의 운동 부하(10~30W)에서의 혈압예측 가능성이 조사되었고, 각 피험자별 독립적인 모델을 적용하여 혈압이 예측되었다[4]. 현재까지 PTT를 이용한 방법의 고강도 운동중 적용 가능성은 연구된 것이 없다.

본 연구에서는 고강도 운동 중 PTT를 이용한 혈압 추정 가능성이 가능한지를 조사하고, 모든 피험자에게 적용할 수 있는 회귀 모델의 적용의 가능성 여부를 파악하고자 한다. 안정 시 혈압만을 이용하여 작성한 회귀모델 (local fitting)과, 부

하운동을 인가하여 측정된 높은 혈압을 추가하여 작성한 회귀모델(global fitting)의 성능을 비교하였다. 또한, 선형모델과 비선형 모델의 성능을 비교분석하였다.

### 2. 방 법

#### 2-1. 피험자 및 운동 프로토콜

나이가 비슷하고 심혈관계 질환이 없는 남성 26명을 대상으로 실험을 실시하였다 (나이: 25.6±1.5[yr], 키: 172.7±4 [cm], 안정혈압: 114.6±10.3[mmHg]). 참여자는 자전거 운동 기구를 이용하여 운동을 수행하였으며, 여러 운동 강도 (75, 100, 125, 150W)를 설정하여, 하루에 한가지의 운동 부하에서 60초간 운동을 실시하였다.

운동 전 안정 상태에서 PPG와 ECG를 동시에 계측하였고, 동일 시점에서 PPG를 계측하는 반대편 상완에서 수은혈압계 (Hico, Japan)를 이용하여 혈압을 측정하였다. PPG와 ECG는 상용 시스템인 MP30 (BIOPAC System inc., USA)를 사용하여 계측되었다. PPG는 반사형 적외선 센서를 이용하여 손가락 끝에서 측정되었다. 운동 직후 정지된 상태에서 운동 전과 동일한 방법으로 PPG, ECG 그리고 혈압이 측정되었다.

#### 2-2. PPT-BP 모델

Fig. 1은 PTT를 이용하여 혈압을 예측하기 위한 protocol을 보여주고 있다. PTT-BP 모델 파라미터는 ECG와 PPG를 이용하여 PTT를 계산한 후 동시에 측정된 혈압을 이용하여 추정되었다. 본 연구는 PTT를 ECG의 R-peak와 PPG의 미분최고점까지의 시간으로 정의하였다. PTT는 심박동에 따라 변동이 나타나므로 약 10초간의 평균값을 이용하여

† 교신저자, 正會員 : 建國大 醫療生命大 醫學工學部  
副教授, 建國大 醫工學實用技術研究所·工博  
E-mail : gmeom@kku.ac.kr

\* 正會員 : 建國大 醫療生命大 醫學工學部 博士課程

\*\* 非會員 : 建國大 醫療生命大 醫學工學部 碩士課程

接受日字 : 2007年 9月 7日

最終完了 : 2007年 9月 28日

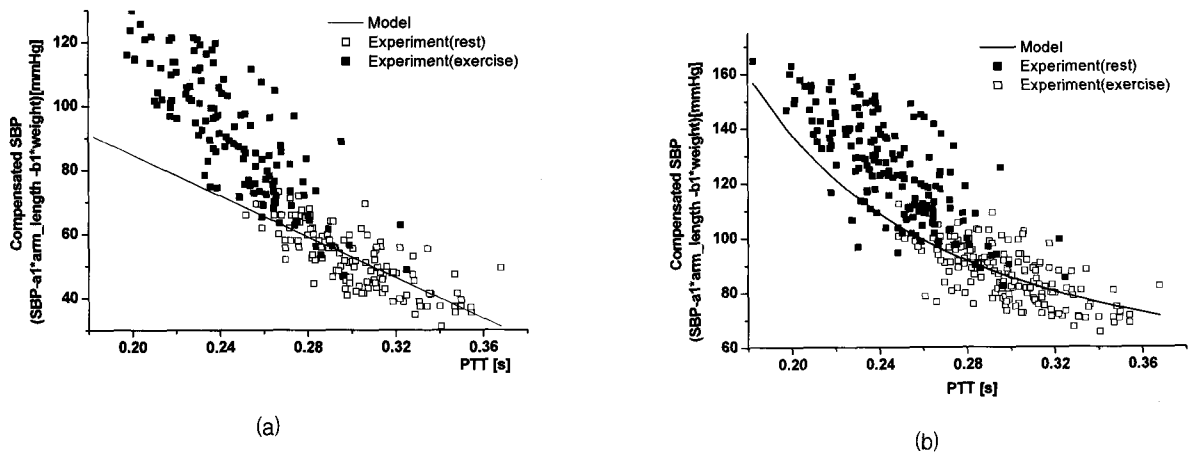


그림 2  
Fig. 2 Local fitting results of (a) linear model and (b) nonlinear model

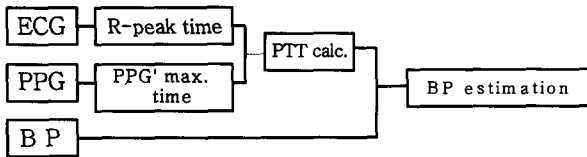


그림 1  
Fig. 1 Block diagram of PPG-BP model estimation

혈압이 예측되었다.

휴식 중 혈압을 예측하기 위하여 과거의 연구에서는 선형 회귀 모델이 주로 사용되었으나, 고강도 운동 중 PTT와 BP의 관계는 아직 밝혀진 것이 없으므로 선형 모델(1)과 비선형 모델(2)을 사용하였다. 휴식 중 PTT를 이용하여 혈압을 예측하기 위해서는 팔길기와 몸무게를 보정한 회귀식이 더 향상된 성능을 보여준다고 하였다[2]. 따라서 본 연구에서는 식 (1)과 (2)와 같이 신체치수를 고려한 회귀 모델을 구현하여 혈압을 예측하였다.

$$BP_{M1} = a_1 \cdot Arm\_length + b_1 \cdot Weight + c_1 \cdot PTT + d_1 \quad (1)$$

$$BP_{M2} = a_2 \cdot Arm\_length + b_2 \cdot Weight + c_2 \cdot \frac{1}{PTT^2} + d_2 \quad (2)$$

Local fitting과 global fitting의 두 가지의 추정 방법을 사용하여 두 모델의 파라메터가 추정되었다. 전자는 휴식중의 PTT를 이용하여 파라메터를 탐색하는 방법이고, 후자의 경우 휴식중과 운동중의 PTT를 이용하여 파라메터를 탐색하는 방법이다. 모델의 파라메터를 탐색하기 위하여 LSE (least-squares estimator) 방법[5]이 사용되었다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1은 탐색된 각 모델의 파라메터, 결정계수(coefficient of determination:  $r^2$ ) 그리고 RMS 오차를 나타낸다. Global fitting이 local fitting에 비하여 결정계수가 작고, global fitting 중 비선형모델의 성능이 가장 우수한 것으로 판명되었다 ( $p < 0.001$ ).

표 1

Table 1 Searched parameters, coefficient of determination and RMS error

		a	b	c	d	$r^2$	Error [mmHg]
M1	Local	0.287	0.582	-319.4	148.7	0.628	14.8±4.5
	Global	0.346	0.667	-570.6	217.3	0.784	11.2±5.0
M2	Local	0.265	0.651	4.343	0.12	0.646	8.8±3.2
	Global	0.787	0.437	5.688	-33.1	0.827	8.0±3.1

Fig. 2는 선형 모델(a)과 비선형 모델(b)의 local fitting 결과를 나타낸다. 각 피험자의 신체치수에 따라 회귀식의 상수항이 다르므로, 가로축에는 신체치수를 보정한 혈압을 사용하였다. Table 1에서 보는 것과 같이 비선형 모델의 운동 중의 혈압을 포함한 전체범위의 오차는 선형 모델의 오차에 비해 유의하게 작았다 ( $p < 0.001$ ). 또한, 안정상태의 데이터와 운동 후의 데이터는 서로 다른 경향을 보이고, 두 모델 모두 운동 중 혈압을 저평가 예측(underestimate)되는 것을 볼 수가 있다. 따라서 안정상태의 데이터만을 이용하여 회귀식을 구성할 경우, PTT-BP 모델은 실제상황에서 운동에 따른 혈압상승이나 중환자의 고혈압 위험성을 제대로 예측하지 못하여, 적절한 시기에 경고메시지를 발생하지 못하게 된다는 것을 의미한다.

Fig. 3은 global fitting의 결과를 보여주고 있다. 선형 모델의 오차는 비선형 모델의 오차에 비하여 작았으나 (table 1), 통계적 유의차는 보이지 않았다 ( $p = 0.172$ ). 측정된 혈압과 오차는 유의한 상관관계가 있었고, 혈압의 증가와 오차와의 상관계수는 비선형 모델의 경우가 작았다. (선형모델:  $r = 0.562, p < 0.001$ ; 비선형모델:  $r = 0.425, p < 0.001$ ). 즉 혈압이 높을수록 오차가 커지고, 혈압의 증가는 선형이 아닌 비선형의 개형으로 증가된다고 판단할 수 있다.

혈압계로 사용하기 위해서는 오차 평균이 5 mmHg 이하이고 표준편차가 8 mmHg이하이어야 한다는 혈압계의 국제 표준인 ANSI/AAMI의 규격[6]에 만족해야 한다. 본 연구에서 제안된 비선형 모델의 global fitting 오차는  $8.0 \pm 3.1$ 로 규격을 약간 충족시키지 못하나, 운동 중의 혈압의 변화 추이

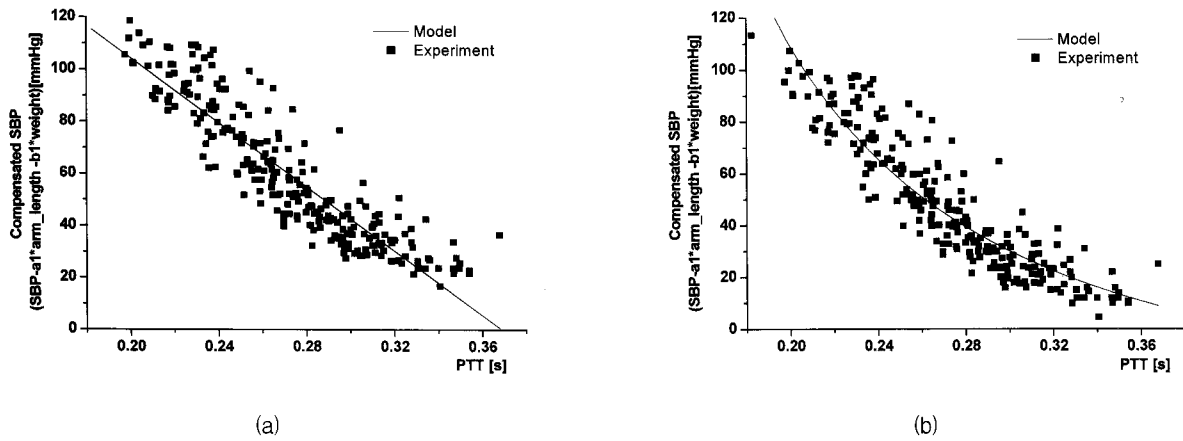


그림 3 Fig. 3 Global fitting results of (a) linear model and (b) nonlinear model

를 관찰하기에는 충분할 것으로 판단된다.

운동 중 혈압 상승 개형은 개인별 상태에 따라 다르게 나타나게 된다. 본 연구에서 운동 중 PTT와 혈압의 유의한 상관관계를 볼 수 있었으나, 휴식 중 혈압을 추정된 기존의 연구에 비하여 오차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 운동 중 혈압의 증가에 따른 PTT의 변화는 개인별 차이를 가지고 있다는 것을 의미한다. 즉 운동 중 혈압의 변화의 개형만을 파악하기 위해서는 본 연구에서 제안한 범용적 모델이 적용될 수 있으나, 더욱 정확한 혈압의 측정을 위해서는 비선형 모델의 개인별 보정을 통한 모델의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 PTT를 이용한 수축기 혈압회귀모델을 이용하여 안정상태의 데이터만을 이용한 local fitting과 넓은 혈압범위의 데이터를 이용한 global fitting의 성능을 비교하였다. local fitting의 경우 운동 후의 혈압은 추정이 어렵다고 판단된다. 하지만 global fitting의 경우에는 선형모델과 비선형 모델은 각각  $8.0 \pm 3.1$ 와  $8.8 \pm 3.2$ [mmHg]의 오차 범위 안에서 운동 중 혈압을 예측할 수 있었다.

#### 감사의 글

이 논문은 2006년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임

#### 참 고 문 헌

- [1] American College of Sports Medicine, ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription 6th edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2003, pp. 27-29.
- [2] Pollak, M. H., and Obrist, P. A., "Aortic-radial pulse transit time and ECG Q-wave to radial pulse wave as indices of beat-to-beat blood pressure change", Psychophysiology, Vol. 20, pp. 21-28, 1983.
- [3] Park, E. K., Cho, B. H., Park, S. H., Lee, J. y., Hwang, J. S., Park, H. K., Lee, J. S., Kim, I. Y. and Kim, S. I., "A study on the estimation of continuous blood pressure using PTT and biometric parameters," J. Biomed. Eng. Res., Vol. 27, pp. 1-5, 2006.
- [4] Marie GV, Lo CR, Van Jones DW. The relationship between arterial blood pressure and pulse transit time during cycling and static exercise. Psychophysiology. 1984. 21, 521-7.
- [5] Jang, J. S. R., Sun, C. T., and Mizutani, E., Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence, Prentice-Hall, pp-104, 1997.
- [6] Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Manual, electronic, or automated sphygmomanometers, American National standard, ANSI/AAMI SP10:2002 & ANSI/AAMI SP10:2002/A1:2003.