

# 요골동맥과 침지를 이용하여 혈류속도 파라미터와 혈류속도 사이의 상관관계 비교

허선오\*, 정진형\*, 이상식\*\*

## Compare correlation differences in blood in blood flow velocity parameters and blood flow velocity the radial artery and a piece of paper as a maker

Sun-Oh Heo\*, Jin-Hyeong Jeong\*, Sang-Sik Lee\*\*

**요약** 혈류는 신체 안에서 일정한 속도와 압력으로 흘러야하기 때문에 혈류속도는 개개인의 건강상태를 나타내주는 측정 가능한 주요지시자이다. 최근, 혈류속도는 고가의 초음파기기를 이용하여 측정되고 있다. 본 연구에서는 고가의 장비 없이 혈류속도를 예측하고자 3개의 센서(ECG, PPG, 맥진센서)를 이용한 측정치를 독립변수로 하는 회귀모델을 구축하였다. 실험에 참여한 피검자는 심장질환에 의한 동맥경화 증상으로 병원에 입원한 환자를 대상으로 하였다. 피검자들의 나이는 55-90 세이며, 남성은 7명, 여성은 4명으로 총 11명이다. 실험에서 독립변수와 초음파기기로 측정한 혈류속도 사이의 상관성과 유의확률을 비교하여 혈류속도의 예측 가능성이 높은 회귀모델을 도출하였으며, 1개의 센서를 이용한 단일 독립변수를 적용하는 경우보다 두 개 이상의 독립변수를 적용하는 경우에서 정확한 혈류속도 예측이 가능함을 확인하였다.

**Abstract** In this study, regressive models were employed to predict the blood velocity by using independent variables which measured by 3 sensors, such as electrocardiogram (ECG), photo-plethysmogram (PPG), pulse diagnosis sensor, without ultrasound device at high cost. In experiment, the high predictable model was induced to estimate the blood velocity correctly by comparing correlation values and significance probabilities between independent variables and blood velocities. Results showed that the model induced by two or three independent variables had a higher predictability than those by a single independent variable.

**Key Words:** ECG, PPG, Pulse wave, Blood flow velocity, Interval velocity

### 1. 서론

혈류는 신체 안에서 일정한 속도와 압력으로 흘러야하기 때문에 혈류속도는 개개인의 건강상태를 나타내주는 측정 가능한 주요 지시자이다. 일반적으로 혈류속도는 혈액이 동맥에 흐르는 속도를 말하며 대동맥부에서 초속 20 ~ 60cm이고,

혈관 지름이 좁아질수록 관벽의 마찰 저항 때문에 속도가 떨어진다. 혈액이 심장을 나온 뒤 다시 심장으로 되돌아오기까지의 시간은 그 혈액이 어디를 흐르는지에 따라 다르지만 팔꿈치 근처에서 측정하면 약 18초 정도이다.

동맥경화증의 선별 검사를 위해서는 임상적 진찰과 더불어 영상검사를 주로 이용하고 있는

\* Corresponding Author : Department of Biomedical Engineering at Catholic Kwandong University

\*\* Department of Biomedical Engineering Professor of Catholic Kwandong University

Received march 28, 2015

Revised April 3, 2015

Accepted april 9, 2015

실정이다. 그러나 이러한 형태적 검사는 동맥경화증의 초기 이상인 혈류 이상을 검사하기에는 의료비 상승 등의 많은 제약점이 지적되고 있다. 일부 영상 검사는 혈류 정보를 제공 하나 인체 환경의 다양성에 의해 그 신뢰성을 유지하는 데는 유리하나 조기 진단 및 의료비 상승 등의 문제점을 가지고 있다. 그러므로 일반 병원 등에서 조기에 진단이 가능하고 비교적 정확한 심박수를 검출하여 원하는 부위의 혈류속도를 측정하여 신체 혈류 관련 질병을 추측 할 수 있는 의료기기 제품 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 맥진센서와 PPG, ECG를 검사 부위에 부착하여 각각의 측정된 데이터를 분석하여 혈류속도를 측정하였다. 측정된 데이터를 회귀분석하여 측정부위의 혈류속도 상관성을 연구하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2-1. 맥진센서

제1맥파 요골동맥에서 측정하는 맥진센서는 한국전기연구원에서 개발한 압력센서로 아래 그림 1과 표 1과 같다.

표 .1 맥진센서 스펙  
Table 1 Pulse-taking sensor specifications

구분	내용
모델명	KERI-PA7
입력범위	15psi
Excitation Voltage	5V
동작온도	(-40 ~ 125)°C



그림 1. 맥진센서

Fig. 1. Pulse-taking sensor

### 2-2. 파라미터 추출방법

그림 2에서 파라미터인 TD는 시간차로 심전도 파형(ECG wave)의 피크인 R파에서 맥파(Pulse wave)의 피크까지의 전달시간이며, PV는 맥파속도로 심장에서 맥파의 탐촉자까지의 길이(L)를 시간차인 TD로 나누어 구한다. 또한 UT는 시간차인 TD를 심장에서 맥파의 탐촉자까지의 길이(L)로 나눈 것으로 맥파속도의 역수와 같으며 단위 길이당 시간차이다.

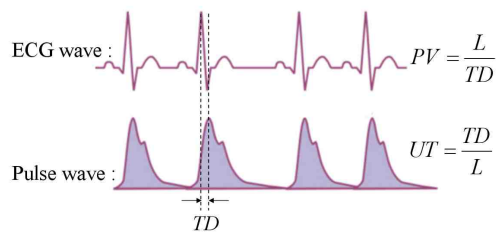


그림 2. 심전도와 맥파의 파라미터 (TD, PV, UT)

TD: 시간차, PV: 맥파속도, UT: 단위시간차>

Fig. 2. Parameters of evangelism and pulse wave (TD, PV, UT) <TD: time difference, PV: pulse wave velocity, UT: unit time interval>

각 파라미터는 침지에서 측정된 맥파와 요골동맥에서 측정된 맥파로 구성되므로 이상의 세 가지 파라미터들은 각각 맥파를 측정하는 위치에 따라 두 가지로 나누어 정리 하면 다음과 같다.

- TD(R): 심장에서 요골동맥(radial artery)까지의 시간차 TD (s)
- TD(F): 심장에서 침지(fingertip)까지의 시간차 TD (s)
- PV(R): 심장에서 요골동맥(radial artery)까지의 맥파속도 PV (cm/s)
- PV(F): 심장에서 침지(fingertip)까지의 맥파속도 PV (cm/s)
- UT(R): 심장에서 요골동맥(radial artery)까지의 단위시간차 UT (s/mm)
- UT(F): 심장에서 침지(fingertip)까지의 단위

시간차 UT (s/mm)

2-3. 회귀분석

본 연구에서 혈류속도를 예측하기 위해 심전도와 맥파의 파라미터들을 독립변수로 한 회귀모델을 이용하였으며, 이를 식으로 표현하면 다음 식 1과 같다.

$$PV_P = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_iX_i \quad (1)$$

이상의 식 1에서 i 의 개수에 따라 6가지 파라미터를 i 개씩 조합하여 i 개의 독립변수를 회귀모델에 적용하였다. 실험에서는 독립변수와 혈류속도 사이의 피어슨 상관계수 및 결정계수 r<sup>2</sup>와 유의확률인 p-값을 i 의 개수에 따라 비교하였으며, 결정계수가 높아 예측오차를 줄일 수 있고 동시에 신뢰기준을 만족하는 p-값으로부터 유의성 있는 독립변수로 사용할 수 있는 최적의 파라미터들을 선택하였다.

2-4. 연구방법

본 연구를 위해 피검자를 대상으로 한 시스템 구성도는 그림 3과 같다. 피검자로부터 심전도와 두가지 맥파를 동시에 측정하였다. 제1맥파는 요골동맥에서 제2맥파는 침지에서 측정하였다. 혈류속도는 초음파 측정기의 탐촉자(PROBE)를 상완동맥에 접촉시켜 측정 하였다.

이와 같이 측정된 심전도와 맥파는 Labview 소프트웨어를 사용하여 데이터를 추출 하였다. 맥파가 전달되는 시간차 및 맥파속도 등의 파라미터를 독립변수로 구하였으며, 초음파 측정기로 측정된 혈류속도를 종속변수로 하여 예측가능성이 높은 회귀모델을 연구 하였다.

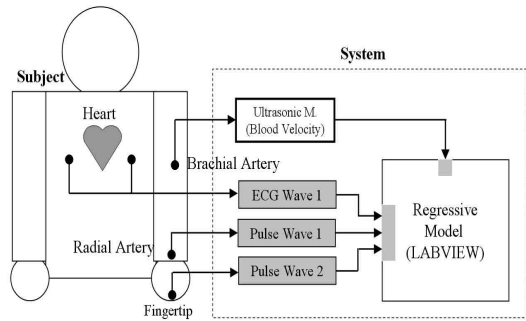


그림 3. 과제 개발을 위한 시스템 구성도  
Fig. 3. System Configuration for developing projects

3. 결과 및 고찰

실험에 참여한 피검자는 심장질환에 의한 동맥경화 증상으로 병원에 입원한 환자를 대상으로 하였다. 피검자들의 나이는 55-90 세이며, 남성은 7명, 여성은 4명으로 총 11명이다. 실험시 남성환자 1명만 1회 측정하였고 나머지 10명의 환자들은 각각 3회씩 측정하였다. 이들의 나이와 심장에서 요골동맥까지와 침지까지의 길이의 평균과 표준편차를 보이고 있으며, 이들의 심장에서 요골동맥까지의 길이범위는 49-67 cm, 심장에서 침지까지의 길이범위는 69-82 cm 이다.

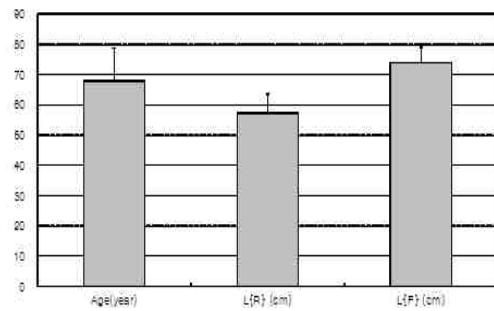


그림 4. 나이 및 심장에서 요골동맥과 침지까지의 길이  
Age: 나이, L{R}: 요골동맥까지의 길이,  
L{F}:침지까지의 길이

Fig. 4. Age and length of the radial artery from the heart and cheomji  
Age: age, L {R}: length of the radial artery,  
L {F}:length up cheomji

회귀모델의 독립변수로 사용할 총 6개의 파라미터를 추출하기 위해서는 각 피검자들의 심장에서 맥파의 탐촉자까지의 길이(L)와 시간차인 TD를 구하면 모두 검출할 수 있다. 여성피검자와 남성피검자로부터 각각 심장에서 맥파의 탐촉자까지의 길이(L)와 시간차 TD의 측정 예를 보이고 있다.

심장에서 요골동맥까지의 시간차범위는 0.11-0.31 초(s), 심장에서 찔지까지의 시간차범위는 0.12-1.28 초(s)이다.

심장에서 요골동맥까지의 맥파속도 범위는 158-467 cm/s, 심장에서 찔지까지의 맥파속도 범위는 63-724 cm/s 이다. 또한 심장에서 요골동맥까지의 단위시간차 범위는 0.021-0.063 s/mm, 심장에서 찔지까지의 단위시간차 범위는 0.014-0.158 s/mm 이다.

### 3-1. 파라미터와 혈류속도 사이의 상관관계 비교

이상과 같이 추출한 6가지 파라미터를 독립변수로 회귀모델에 적용하기 위해서는 먼저 각 파라미터들과 초음파 측정기로 측정된 혈류속도와의 상관관계를 알아 볼 필요가 있다. 그림 7에서 8가지 각각 단일 파라미터와 혈류속도 사이의 피어슨 상관관계수 및 두 개 및 세 개 이상의 파라미터와 혈류속도 사이의 피어슨 상관관계수를 비교하였다.

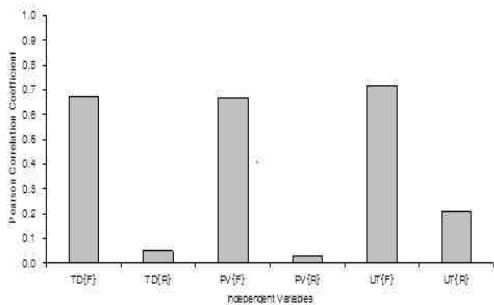


그림 5. 단일 파라미터와 혈류속도 사이의 상관관계수  
Fig. 5. The correlation coefficient between the single parameters and blood flow velocity

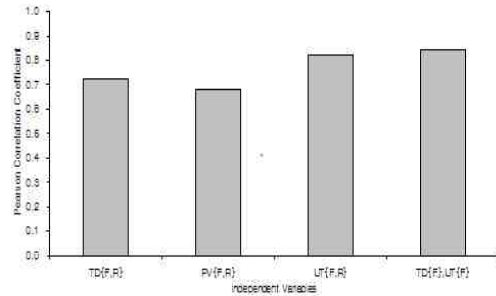


그림 6. 두 개의 파라미터와 혈류속도 사이의 상관관계수  
Fig. 6. The correlation coefficient between the two parameters and the flow velocity

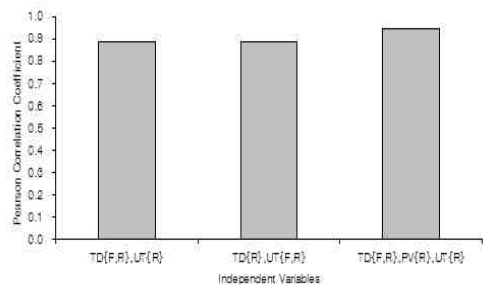


그림 7. 세 개 이상의 파라미터와 혈류속도 사이의 상관관계수  
Fig. 7. The correlation coefficient between three or more parameters and blood flow velocity

그림 7에서 심장에서 찔지까지의 세 가지 파라미터(TD(F), PV(F), UT(F))는 각각 혈류속도와 상관관계가 0.60 에서 0.72 사이에 있었으나, 심장에서 요골동맥까지의 세 가지 파라미터(TD(R), PV(R), UT(R))는 각각 혈류속도와 상관관계가 0.02 에서 0.20 정도로 매우 낮았다. 또한 그림 8은 두 개로 조합된 파라미터들과 혈류속도와의 상관관계를 보이고 있다. 이 경우에 상관관계는 0.68 에서 0.84 정도로 높았다. 마지막으로 그림 9는 세 개 이상으로 조합된 파라미터들과 혈류속도와의 상관관계를 보이고 있으며, 네 개의 파라미터들과 혈류속도와의 상관관계가 0.84로 높았다.

이상의 그림 7과 같이 단일 파라미터와 혈류속도와의 상관관계의 경우, 심장에서 요골동맥까지의 세 가지 파라미터(TD(R), PV(R), UT(R))

는 상관관계가 매우 낮았으나 두 개 이상으로 조합된 파라미터들과의 상관관계는 0.68 이상으로 높았다. 그러나 이 파라미터들을 적용한 회귀모델에서는 통계적으로 유의성이 없는 독립변수가 될 수 있으므로 회귀분석에 의한 결정계수와 독립변수가 된 각 파라미터의 p-값을 관측할 필요가 있다.

### 3-2. 회귀분석에 의한 결정계수와 p-값 비교

유의확률(p<0.01)과 같이 정리하면 심장에서 침지까지의 세 가지 파라미터(TD{F}, PV{F}, UT{F})는 각각 혈류속도와 상관관계와 결정계수가 비교적 높으며 유의성 있음을 알 수 있었다(p<0.01).

표 2. 단일 독립변수와 혈류속도와의 결정계수  
Table 2. Single independent variable and the coefficient of determination of the velocity

	TD{F}	TD{R}	PV{F}	PV{R}	UT{F}	UT{R}
PS	0.45*	0.00	0.45*	0.00	0.52*	0.04

여기서, \* 는 p<0.01 이며, 통계적으로 유의성 있음을 의미한다.

표 3은 두 개의 파라미터를 독립변수로 한 회귀모델의 결정계수와 유의성 기준의 적합성을 표기하였다. 여기서는 표 2에서와 같이 결정계수가 매우 낮고 유의성도 없었던 심장에서 침지까지의 세 가지 파라미터(TD{F}, PV{F}, UT{F})가 심장에서 요골동맥까지의 세 가지 파라미터(TD{R}, PV{R}, UT{R})과 두 개씩 조합되어 독립변수로 적용될 때에는 결정계수가 높아질 뿐만 아니라 유의성이 있었다(p<0.01).

또한 표 4는 3개 이상의 독립변수와 혈류속도와의 결정계수와 유의성 기준의 적합성을 표기하였다. 세 개의 독립변수로 조합될 때뿐만 아니라 네 가지 파라미터인 TD{F,R} 과 PV{R}, UT{R}가 네 개의 독립변수일 때 혈류속도와 의 결정계

수가 0.9에 가깝도록 높았으며 유의성도 있었다(p<0.01).

표 3. 두 개의 독립변수와 혈류속도와의 결정계수  
Table 3. Determining factor of the two independent variables and the flow velocity

	TD{F,R}	PV{F,R}	UT{F,R}	TD{F},UT{F}
PS	0.53*	0.46*	0.68*	0.71*

여기서, \* 는 p<0.01 이며, 통계적으로 유의성 있음을 의미한다.

표 4. 3개 이상의 독립변수와 혈류속도와의 결정계수  
Table 4. Determining factor of the three independent variables and the flow velocity

	TD{F,R}, UT{R}	TD{R}, UT{F,R}	TD{F,R}, PV{R}, UT{R}
PS	0.79*	0.79*	0.90*

여기서, \* 는 p<0.01 이며, 통계적으로 유의성 있음을 의미한다.

따라서 심장에서 요골동맥과 침지까지의 두 개의 시간차 TD{F,R}, 심장에서 요골동맥까지의 맥파속도 PV{R}와 단위시간차 UT{R}가 혈류속도를 예측하기에 가장 뛰어난 파라미터인 것을 확인하였다.

## 4. 결론

본 연구에서는 심전도와 맥파를 이용하여 맥파가 전달되는 시간차, 맥파속도 및 단위시간차 등의 파라미터를 독립변수로 측정하였으며, 초음파 측정기로 측정된 혈류속도를 종속변수로 하여 혈류속도의 파라미터와 상관계수를 연구하였다.

(1) 단일 독립변수를 회귀모델에 적용하는 경우 심장에서 침지까지의 시간차 TD{F}, 맥파속도 PV{F} 및 단위시간차 UT{F}는 각각 혈류속도와의 상관계수(0.60-0.72)와 결정계수(0.45-0.52)가 비교적 높으며 통계적으로 유의성 있는 파라미터임을 알 수 있었다.

(2) 두 개의 독립변수를 회귀모델에 적용하는 경우 심장에서 요골동맥까지의 파라미터가 침지까지의 동일 파라미터로 조합된 경우 (TD(F,R), PV(F,R), UT(F,R)) 혈류속도와의 상관계수는 0.82, 결정계수 0.68로 (1)에서 기술한 단일 독립변수로 쓰일 때보다 높았으며 통계적으로 유의성 있는 파라미터임을 알 수 있었다.

(3) 두 개의 독립변수를 회귀모델에 적용하는 경우 심장에서 침지까지의 시간차 TD(F)와 단위 시간차 UT(F)가 혈류속도와의 상관계수는 0.84, 결정계수 0.71로 (2)에서 기술한 동일 파라미터로 조합된 경우보다 높았으며 통계적으로 유의성 있는 파라미터임을 알 수 있었다.

(4) 세 개의 독립변수를 회귀모델에 적용하는 경우 심장에서 침지까지의 시간차 TD(R)와 심장에서 침지와 요골동맥까지의 단위시간차 UT(F,R)가 혈류속도와의 상관계수는 0.89, 결정계수 0.78로 높았으며 통계적으로 유의성 있는 파라미터임을 알 수 있었다.

(5) 네 개의 독립변수를 회귀모델에 적용하는 경우 심장에서 침지와 요골동맥까지의 시간차 TD(F,R)와 심장에서 요골동맥까지의 맥파속도 PV(R) 및 심장에서 요골동맥까지의 단위시간차 UT(R)가 혈류속도와의 상관계수는 0.95, 결정계수 0.90으로 높았으며 통계적으로 유의성 있는 파라미터임을 알 수 있었다.

## REFERENCES

[1] P. A. Shaltis, A. T. Reisner, and H. H. Asada, "Cuffless blood pressure monitoring using hydrostatic pressure changes." IEEE Trans.Biomed Eng. 55, 1775 (2008).

[2] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, The ArterialPulse, 1st Ed.; Lea & Febiger, Philadelphia, PA, USA (1992).

[3] John Allen, "Photoplethysmography and its Application in Clinical" Physiological Measurement 28, R1 (2007).

[4] K. Shelley and S. Shelley, "Pulse Oximeter Waveform: Olethysmography, in Clinical Monitoring", Carol Lake, R.Hines, and C. Blitt, Eds.: W. B. Saunders Company (2001) pp 420~428.

[5] Akira YAMASHINA, Kazuhiro TAKEDA, Hideichi TSUDA, Tomio ARAI, Kenichi HIROSE, Yutaka KOJI, Saburoh HORI, Yoshio YAMAMOTO "Validity, Reproducibility, and Clinical Significance of Noninvasive Brachial-Ankle Pulse Wave Velocity Measurement" Hypertension Research Vol. 25 (2002) No.3 P 359-364

[6] Jacques Blacher, Roland Asmar, Saliha Djane, Gérard M. London, Michel E. Safar "Aortic Pulse Wave Velocity as a Marker of Cardiovascular Risk in Hypertensive Patients" Scientific Contributions Hypertension.1999; 33: 1111-1117

[7] Kennedy Cruickshank, Lisa Riste, Simon G. Anderson, John S. Wright, Graham Dunn, Ray G. Gosling "Aortic Pulse-Wave Velocity and Its Relationship to Mortality in Diabetes and Glucose Intolerance" Clinical Investigation and Reports Circulation. 2002 106: 2085-2090

[8] Tine Willum Hansen, Jan A. Staessen, Christian Torp-Pedersen, Susanne Rasmussen, Lutgarde Thijs, Hans Ibsen, Jørgen Jeppesen "Prognostic Value of Aortic Pulse Wave Velocity as Index of Arterial Stiffness in the General Population" Epidemiology Circulation. 2006; 113: 664-670

[9] S. Meaume, A. Benetos, O.F. Henry, A. Rudnichi, M.E. Safar "Aortic Pulse Wave Velocity Predicts Cardiovascular Mortality in

Subjects >70 Years of Age” Atherosclerosis and Lipoproteins Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology. 2001; 21: 2046-2050

[10] Jay N. Cohn, Stanley Finkelstein, Gary McVeigh, Dennis Morgan, Lisa LeMay, Jennifer Robinson, James Mock “Noninvasive Pulse Wave Analysis for the Early Detection of Vascular Disease” Hypertension Articles Hypertension. 1995; 26: 503-508

---

저자약력

**이 상 식(Sang-Sik Lee) [중사회원]**



- 1993-2000년 LG전선(주)
- 1996-2000년 성균관대학교 박사
- 2001-2004년 (주)미도테크
- 2004-2010년 성균관대학교 연구교수
- 2011-현재 가톨릭관동대학교 의료공학과 교수

<관심분야>

의용메카트로닉스, u-Health, 생체역학, 의용전기전자

**허 선 오 (Sun-Oh Heo) [정회원]**



- 2013년 2월 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 졸업 (학사)
- 2015년 2월 : 가톨릭관동대학교 일반대학원 졸업 (공학석사)

<관심분야>

의용메카트로닉스, 디지털 신호처리, 영상처리,

**정 진 형 (Jin-Hyoung Jeong) [정회원]**



- 2012년 2월 : 가톨릭관동대학교 의료공학과 졸업 (학사)
- 2014년 2월 : 가톨릭관동대학교 일반대학원 졸업 (공학석사)
- 현재: 가톨릭관동대학교 일반대학원 의료공학과 박사과정

<관심분야>

의용메카트로닉스, 디지털 신호처리, 영상처리,