

# 지침-족지 지수에 의한 동맥 혈관 특성화 연구

변미경, 한상휘, 허응  
 명지대학교 전자공학과

## A Study on Arterial Characterization using Finger-Toe Index (FTI)

M.K. Byeon, S.W. Han, W. Huh

Department of Electronic Engineering, Myongji University  
 (Received June 26, 2007. Accepted October 2, 2007)

### Abstract

In this paper, Finger-Toe Index (FTI) is proposed as an analytic parameter for the characterization of arterial vessel. Different from the currently being employed pulse wave velocity (PWV) information of the volume pulse wave measured from 4 arterial channels, the proposed FTI uses the ratio of the shorter of the two up-stroke time of PPG from fingers ( $UT_{finger}$ ) and that of PPG (Photoplethysmography) from toes ( $UT_{toe}$ ).

To verify the usefulness of the proposed method, Finger-Toe Indexes were derived from the volume pulse waves acquired from 50 people under examination aged from 12 to 81 years old, and they were then compared with blood pressure ankle-brachial index (ABI).

It was successfully demonstrated that the arterial stiffness can be estimated with respect to age and FTI is more strongly correlated with the pulse transit time than ABI. From the regression analysis, we also found that FTI has significant correlation PWV for a quantitative index of arterial stiffness and provides more accurate information than ABI for the characterization of arterial vessel.

**Key words :** finger-toe Index (FTI), pulse wave velocity (PWV), photoplethysmography (PPG), ankle-brachial Index (ABI)

## 1. 서론

**혈관**은 연령이 증가함에 따라 협착과 동맥경화의 과정을 거치면서 노화가 진행된다. 노화가 진행되면 여러 가지 원인에 의해 혈관이 딱딱하게 굳어지면서 혈관의 탄력성이 소실되고 혈관이 좁아지게 되어 결국 동맥의 파열이나 폐쇄 등이 일어나 여러 가지 질병이 발생된다. 혈관이 딱딱하고 탄력성이 없어지기 때문에, 동일한 양의 혈액이 흘러도, 동맥의 내벽에는 항상 보다 큰 압력이 가해지게 되고 이 결과로서 동맥의 벽은 상처를 입고 동맥경화가 진행된다[1-4].

동맥경화성 심혈관 질환은 주요 사망 원인의 하나로써 일반적으로 동맥경화와 같은 혈관질환의 진단은 혈류 초음파 검사, CT, X-Ray, MRI 등에 의해 이루어지고 있다. 그러나 이런 장비들은

검사가 복잡하고 전문인력이 필요하다. 또한 자각 증상이 나타나기 이전에 조기검진이 힘든 단점을 가지고 있다. 따라서 펄스전달 속도(PWV: pulse wave velocity) 법과 같이 잠재적인 혈관질환을 조기에 진단하는 간단하고 손쉬운 방법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며 연구 결과가 상품화되어 사용되고 있기도 하다 [2-3][5-7].

상완의 수축기 혈압에 대한 발목의 수축기 혈압의 비, 즉 발목/상완 혈압 지수(ABI: Ankle-Brachial Index) 측정법은 말초혈관질환(PVD: Peripheral Vascular Disease), 하지 동맥 질환을 진단하는 간단하고도 재현성이 있는 검사법 중의 하나로 알려져 있으며, 또한 전체 심혈관계의 상태를 검사하는데도 사용이 될 수 있어 국내외 병원에서 이용이 되고 있다.

현재 병원에서 사용되고 있는 ABI 측정법은 상완과 발목 부위에서 동시에 오실로메트리법으로 혈압을 측정한다. 따라서, 혈압을 측정 할 때, 혈압 측정 장치는 피검자의 수축기 혈압보다 높은 규정된 목표압까지 압력을 증가 시켜야 하며, 발목의 혈압을 측정하는 경우는 발목의 혈압이 상완보다 높기 때문에 상완의 경우보다 더

This study was supported by a grant of the Korea Health 21 R&D Project, Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (B050011)  
 Corresponding Author : 변미경  
 경기도 용인시 처인구 남중 명지대학교 3공학관 전자공학과 409호  
 Tel : 031-336-6347 / Fax : 031-332-2226  
 E-mail : mkbyeon@mju.ac.kr

큰 압력을 가해서 커프를 팽창 시켜야 한다. 따라서 피검자는 상완의 혈압을 측정 할 때보다, 발목에서 혈압을 측정하는 경우에 더 불편함을 느낀다[8][9].

본 논문에서는 기존의 발목/상완 혈압 지수 (ABI) 측정법과 같은 목적으로 오실로메트리법에 의한 혈압 정보를 사용하지 않아 피검자가 커프 압력에 의한 부담을 느끼지 않으며 압력을 제공하기 위한 공기 펌프 등을 필요로 하지 않는 구성이 단순한 시스템을 개발하기 위한 선행 연구로서 좌, 우측 지침과 족지의 4개 측정 부위에서 얻어진 용적맥파 신호가 최고 진폭까지 이르는 상승 시간이 혈압에 비례한다는 가정으로 용적맥파를 이용하여 지침족지지수 (FTI: Finger-Toe Index)를 구하는 새로운 방법을 제안하였다.

이를 위하여 좌, 우측 지침과 족지의 4개 측정 부위에서 얻어진 용적맥파 상승시간을 이용한 지침족지지수(FTI)를 분석 파라미터로 제안하고, 제안한 파라미터를 검증하기 위해, 4 개 측정 부위에서 동시에 용적맥파와 혈압을 측정하여 피검자 50명을 대상으로 맥파 상승시간의 지침족지지수(FTI)와 혈압 상완발목지수(ABI)를 비교, 분석하였다.

## II. 연구 방법

구성한 시스템은 좌우 지침과 족지, 4부위에서 측정된 4채널의 용적맥파 변환기와 신호처리부, 12Bit A/D 변환기, 그리고 소프트웨어부로 구성된다. 그림 1은 전체 시스템의 구성도를 보인 것으로서, 좌우 상완과 발목에서 측정된 혈압 데이터는 제안한 파라미터를 검증하기 위한 정보로 활용하였으며, Omron社의 HEM-780 혈압계를 사용하였다.

본 논문에서 사용한 변환기는 적외광 다이오드(Infra-Red Diode: IR LED)와 포토 다이오드(Photo-Diode: PD)로 구성된 광전식 변환기로서, Pico Med社 상용변환기를 사용하였다.

신호처리부는 약10[mA]의 순방향 전류를 제공하는 전류원, 포토 다이오드의 전류 신호를 전압으로 변환하고 증폭하는 전치 증폭기, 맥동과 무관한 DC 성분을 제거하는 차단 주파수 0.01[Hz]의 고역 통과 여파기(high pass filter), 60[Hz] 상용 전원 노이즈 제거를 위한 대역 제거 여파기(notch filter) 그리고 주변의 기타 장

비나 전원 노이즈와 같은 고주파 신호 성분을 제거하기 위한 차단 주파수 40[Hz]의 저역 통과 여파기(low pass filter)로 구성된다. 또한 일정한 신호의 크기로 디스플레이 되도록 MCU에서 자동으로 이득을 조절하는 기능을 수행하는 자동이득조절기(Auto Gain Controller: AGC)로 구성하였다. 이러한 변환기와 신호처리부는 각 채널 별로 네 개를 구성하여 각 신호처리부의 출력 신호가 A/D 변환기로 입력되도록 구성하였다.

데이터 분석 및 평가는 제시한 파라미터의 타당성을 검증하기 위해 혈압과 선정된 파라미터인 UT와의 관계, 연령과 UT의 관계 그리고 혈압 ABI와 UT에 의한 FTI의 관계를 선형회귀분석하여 상관관계를 평가하였다.

ABI는 좌우 상완과 발목인 4 부위의 혈압을 측정하여 좌우 높은 혈압 값, 즉 발목에서 측정된 혈압과 상완에서 측정된 혈압의 비율 나타낸 것으로 말초 혈관 질환을 예측하는 지표이다. [5][8].

ABI를 계산하는 식은 식 (1)과 같이 상완 최고 혈압에서 발목의 최고 혈압을 나누어 얻어지며, 좌측과 우측 각각 계산되어 PVD를 예측하는데 사용된다. 좌, 우측 계산식에서 상완 최고 혈압은 좌, 우측 중 높은 혈압이 적용되고 발목 혈압은 좌측인 경우 좌측 발목 혈압을 적용하고 우측의 경우는 우측 발목 혈압을 적용한다[7]-[9].

$$ABI = \frac{\text{발목최고혈압}}{\text{상완최고혈압}} \quad (1)$$

본 논문에서는 기존의 오실로메트릭 혈압계를 이용하여 ABI 정보를 얻는 방법에 착안하여, 혈압정보 대신 용적맥파를 이용, 맥파의 파고가 최대에 이르는 충격파 (P)까지의 상승시간 (UT: Up-stroke Time)을 선정하였다.

좌, 우측 지침과 족지 4부위에서 얻어진 용적 맥파의 UT 정보를 이용하여 좌우 지침 UT중 가장 긴 UT와 좌우 족지 UT중 가장 긴 UT의 비를 산출하는 방법을 지침족지지수 (FTI: Finger-Toe Index)라 정의하고 분석 파라미터로 사용하였으며, ABI와 마찬가지로 말초 혈관 질환을 예측하는 지표로 사용하고자 한다. 측정된 UT를 이용하여 FTI는 식 (2)와 같이 계산한다.

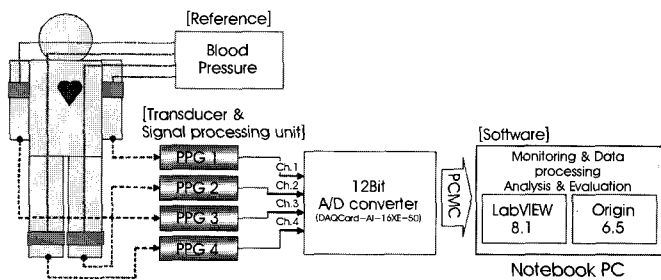


그림 1. 전체 구성도  
Fig. 1. Configuration of the complete system

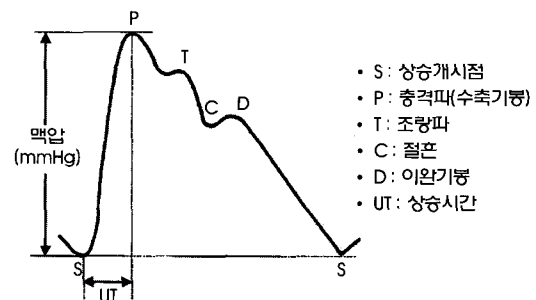


그림 2. 맥파의 일반적인 파형  
Fig. 2. Typical pulse contour

$$FTI = \frac{UT_{finger}}{UT_{toe}} \quad (2)$$

$UT_{finger}$  : 좌우 지점의 UT중 긴 쪽의 UT

$UT_{toe}$  : 좌우 족지의 UT중 긴 쪽의 UT

· 상승시간(UT: Up-stroke Time) 검출 알고리즘

그림 2는 맥파의 일반적인 파형을 나타낸 것으로서, 맥파의 상승 개시점을 S로 표시하며, S로부터 동맥 내압이 최대치를 나타내는 충격파 P까지의 시간을 맥파의 상승시간이라 한다[1][4][9].

좌, 우측 지점과 족지, 4부위에서 계속한 용적맥파를 이용하여 필터링과 증폭의 전처리 과정을 수행한다.

필터링된 맥파신호는 특징점 검출을 용이하게 하기 위해 1차 미분 후, 미분파에서 최대 진폭을 갖는 맥파를 기준으로 최대값 설정, 그 최대값의 30%에 해당하는 값을 문턱값(threshold value)을 적용하여 최대값을 검출한다. 검출된 최대값들( $D_n$ )은 맥파 주기를 계산하기 위해 저장하고,  $D_{n+1}-D_n$ 의 관계로 주기를 검출한다.

다음, 미분 맥파에서 0점을 교차하는 모든 지점을 앞서 계산한 주기별로 검출한다. 주기별 처음 검출된 0점이 맥파의 개시점이며 이를  $S_n$ 으로 저장하고, 두번째 검출된 0점이 맥파의 충격파이며 이를  $P_n$ 으로 저장, 세번째부터 검출되는 0점은 버린다. 검출된 개시점( $S_n$ )과 충격파( $P_n$ ) 배열들은 맥파 개수( $n$ )만큼 검출되고, 이는 위치정보인 인덱스 값으로 나타나며 그 인덱스 배열에 검출된 개수( $n$ )를 저장한다. 이와 같은 과정은 4채널에 적용된다.

UT는 맥파의 개시점에서 충격파까지 이르는 시간을 의미한다. 따라서 채널별 검출된 충격파( $P_n$ )와 개시점( $S_n$ ) 배열을 이용하여 아래의 관계식에 의해 계산되며, 식 (3)은 주기 별 계산한 UT를 합하여 샘플링 율로 나뉘춤으로써 위치정보를 시간정보로 변환하고, 검출된 개수  $n$ 으로 나눔으로써 UT의 평균값을 계산한다.

$$UT = \frac{\sum(P_n - S_n)/f_s}{n} \quad (3)$$

$P_n$  : 검출된 충격파의 인덱스 배열

$S_n$  : 검출된 개시점의 인덱스 배열

$n$  : 검출된 개수

$f_n$  : 샘플링 율

· 지점족지수(FTI) 분석 알고리즘

그림 3은 지점족지수를 분석하는 흐름도이다. 계산된 4채널 UT를 읽어온 다음, 채널별 UT들의 크기를 비교한다. 좌, 우 지점의 UT( $UT_{ch,1}$ 과  $UT_{ch,3}$ )의 크기를 비교하고, 좌, 우 족지의 UT( $UT_{ch,2}$ 와  $UT_{ch,4}$ )의 크기를 비교한 후, 좌, 우 지점과 족지 각각에서 긴 쪽의 UT를 선정한다.

FTI는 지점에서 측정된 맥파의 UT와 족지에서 측정된 맥파의 UT 비를 분석하는 방법으로서 식 (2)와 같다.

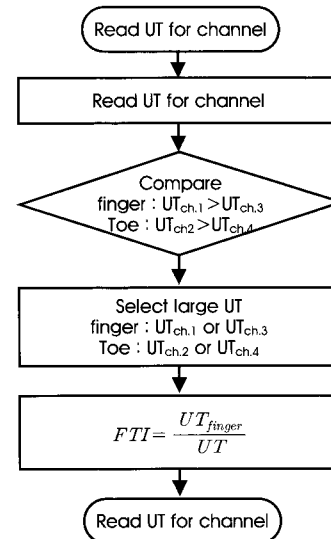


그림 3. FTI 분석 흐름도

Fig. 3. Flowchart of FTI analysis

### III. 실험 및 결과

#### A. 실험 방법

##### 기초 실험

PTT(Pulse Transit Time)는 혈압에 의해서 크게 영향을 받는 파라미터이므로 본 연구에서 제한한 파라미터의 유용성을 검증하고, 실험의 신뢰성을 확인하기 위한 목적으로 심수축기 혈압(SYS)의 변화에 따른 용적맥파의 UT와 PTT를 관찰하기 위해 기초실험을 선정하였다. 실험은 20대 피검자와 50대 피검자를 임의로 선정하여 반복실험을 수행하였다. 실험 방법은 운동부하를 이용하여 혈압을 상승시키는 방법을 사용하였으며, 운동부하는 트레드밀을 사용한 달리기 운동을 선택하였다[12].

사용된 PTT 측정은 기존 심음이나 심전도를 기준으로 말초에 전달된 맥파에서 측정하는 방법이 아닌 심장박동에 의하여 대동맥 기시부에 생긴 맥파가 말초부위인 지점과 족지까지 전달되므로, 그 관로의 맥파전달시간을 측정하는 방법을 사용하였다[4]. 그림 4는 본 연구에서 사용한 맥파전달 시간을 정의한 그림으로서, 좌측 지점에서 족지에 전달되는 맥파전달 시간을 PTT1, 우측 지점에서 족지에 전달되는 맥파전달시간을 PTT2로 정의하였다.

실험은 아래와 같은 5단계로 진행하였다.

단계 1: 피검자는 혈압계와 본 논문에서 사용한 PPG 센서를 부착하고, 5분 동안 침대에 누운 상태를 유지하며 휴식.

단계 2: 먼저 좌우 상완과 발목 4부위에서 혈압을 측정하고, 혈압 측정이 완료 되어 cuff의 압력이 완전히 제거되는 것이 확인되면 100초 동안 좌우 지점과 족지 4부위에서 용적맥파를 동시에 측정.

단계 3: [운동 부하] 피검자는 5분동안 9km/h의 부하로 트레드밀에서 달리기 운동 실행.

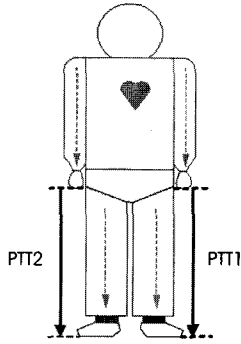


그림 4. 맥파전달 시간(PTT1, PTT2)의 정의  
 Fig. 4. Definition of pulse transit time (PTT1, PTT2)

단계 4: 운동이 종료된 직후, 단계 2를 한번 더 수행.  
 단계 5: 단계 1~4의 과정을 1시간 간격으로 4회 수행.

분석 파라미터인 UT와 혈압간의 관계는 운동부하를 이용하여 혈압을 상승시키기 전, 후에 대한 맥파를 계측하여 파라미터를 검출, 상관관계를 분석하였다.

**본 실험**

데이터의 취득은 10대에서 80대 50명을 대상으로 수행하였다. 실험 방법은 아래의 4단계로 진행하였다.

단계 1: 피검자는 5분 동안 침대에 누운 상태를 유지하며 휴식을 취함.

단계 2: 먼저 좌우 상완과 발목 4부위에서 혈압 측정.

단계 3: 단계 2 직후, 100초 동안 좌우 지침과 족지 4부위에서 PPG를 동시에 측정.

단계 4: 단계 3 직후, 다시 한번 혈압 측정.

데이터 분석 및 평가는 전체 피검자 50명을 대상으로 기존 혈압 정보를 이용하여 혈관의 상태를 예측하는 ABI와 본 연구에서 제안한 파라미터인 용적맥파의 UT를 이용한 FTI를 평가하기 위하여 다음과 같이 평가하였다.

- (1) UT와 연령, 맥파전달시간의 관계
- (2) 연령과 FTI, ABI의 관계
- (3) 맥파전달시간과 FTI, ABI의 관계
- (4) ABI와 FTI의 관계

**B. 실험 결과**

*기초 실험 결과*

표 1은 위에서 언급한 평가에 앞서서 제안한 파라미터인 UT를 검증하기 위하여 기초 실험을 실시한 결과로서 혈압의 변화에 따라 제안한 파라미터인 UT와 PTT가 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 표 1의 데이터로 혈압과 UT간의 상관관계 분석 결과를 보인 것이다. 50대 피검자 경우 -0.928, 20대 피검자 경우 -0.922의 상관계수를 보이고 있다. 이러한 상관관계 분석 결과는 앞서 언급한 바와 같이 혈압의 변화가 UT의 변화와 관련이 있다는 것을 알 수 있으며, 맥파의 UT는 본 논문의 연구 목적에 부합하는 분석 파라미터로 사료된다.

*본 실험 결과*

표 2는 4부위에서 측정한 용적맥파의 UT와 전체 피검자의 연령, 좌, 우측 맥파전달시간(PTT1, PTT2)의 관계를 확인하기 위해 선형회귀 분석을 수행한 결과를 상관계수로 나타낸 것이다.

UT와 연령의 회귀 분석 결과, 좌우 지침에서 0.6이상, 좌우 족지에서 0.5 이상의 상관계수를 확인하였다. UT와 좌측 맥파전달시간(PTT1)의 회귀 분석 결과, 좌우 지침에서 0.58이상, 좌우 족지

표 1. 기초실험 결과  
 Table 1. Results of basic experiment

피검자	횟수	state	SYS	DIA	MAP	BEAT	UT	PTT1	PTT2
피검자1 (58세)	1차	운동전	138	81	96	83	0.160	0.065	0.060
		운동후	151	79	102	99	0.144	0.102	0.140
	2차	운동전	137	80	96	99	0.155	0.063	0.075
		운동후	150	80	102	99	0.140	0.105	0.127
	3차	운동전	136	81	98	84	0.161	0.071	0.081
		운동후	163	80	105	93	0.139	0.096	0.078
	4차	운동전	132	76	99	83	0.161	0.079	0.078
		운동후	151	78	97	93	0.141	0.097	0.076
피검자2 (27세)	1차	운동전	116	61	89	90	0.140	0.104	0.109
		운동후	128	60	85	125	0.133	0.164	0.182
	2차	운동전	113	60	82	92	0.141	0.100	0.101
		운동후	159	68	93	141	0.125	0.151	0.116
	3차	운동전	110	56	83	89	0.134	0.112	0.110
		운동후	165	62	86	123	0.117	0.148	0.143
	4차	운동전	111	59	82	87	0.137	0.118	0.111
		운동후	150	61	87	118	0.128	0.165	0.172

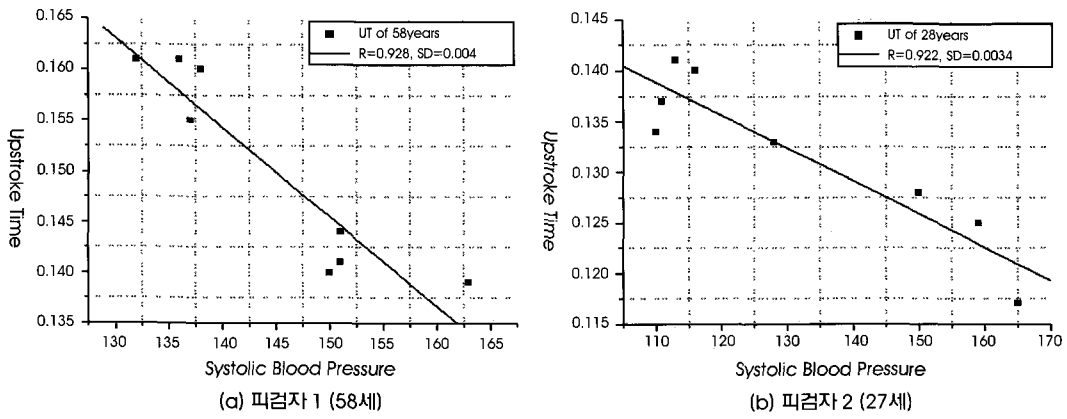


그림 5. 혈압과 UT의 상관관계  
Fig. 5. Correlation between Blood pressure and UT

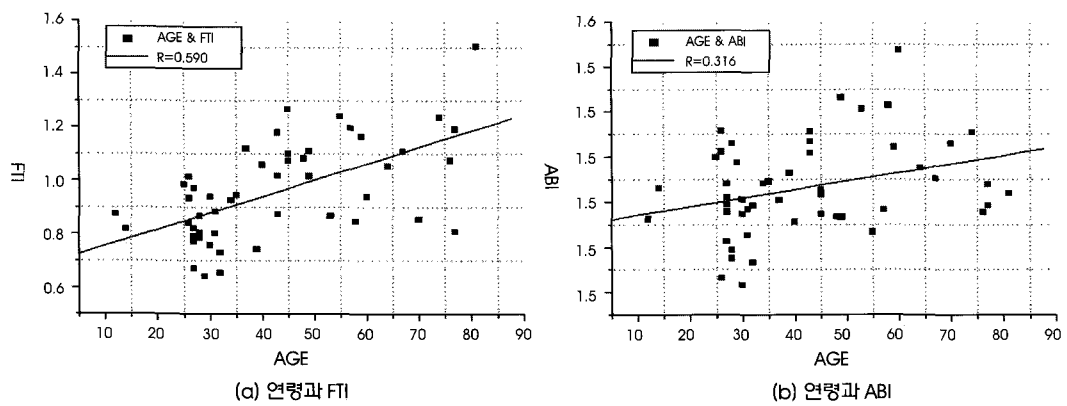


그림 6. 연령과 FTI, ABI의 상관관계  
Fig. 6. Correlation between age and (a) FTI, (b) ABI

에서 0.23이상의 상관계수를 보였고, 우측 맥파전달시간(PTT2)과는 좌우 지점에서 0.51이상, 좌우 족지에서 0.20이상의 상관계수를 확인하였으며, 그 결과 지침에 비해 족지에서 현저히 낮은 상관계수를 보였으며, UT와 PTT는 반비례 관계임을 확인하였다.

· 연령과 FTI 및 ABI의 관계

그림 6(a)는 연령에 따른 FTI의 분포와 선형회귀 분석 결과를 나타낸 것으로서, 상관계수 0.590의 상관성을 나타냈으며, (b)는 연

령과 ABI의 분포와 선형회귀 분석 결과로서 상관계수 0.316의 상관성을 보였다. 이를 통하여 ABI보다 본 논문에서 제안한 FTI가 연령과 더 밀접한 관계가 있음을 확인하였다.

· PTT와 FTI 및 ABI의 관계

그림 7은 분석 파라미터로 제안한 FTI가 맥파전달시간에 따른 분포와 선형회귀분석을 수행한 결과를 나타낸 것으로서, 그림 7(a)는 FTI와 PTT1의 관계를 나타낸 것으로서, -0.677의 상관성

표 2. UT와 연령, PTT1 그리고 PTT2의 상관계수  
Table 2. Correlation coefficient of age, PTT1 and PTT2 for UT.

측정부위	파라미터	상관계수		
		연령	PTT1	PTT2
좌측 지점(UTfinger)		0.607	-0.607	-0.510
우측 지점(UTfinger)		0.674	-0.588	-0.561
좌측족지(UTfinger)		0.509	-0.235	-0.207
우측족지(UTfinger)		0.557	-0.306	-0.225

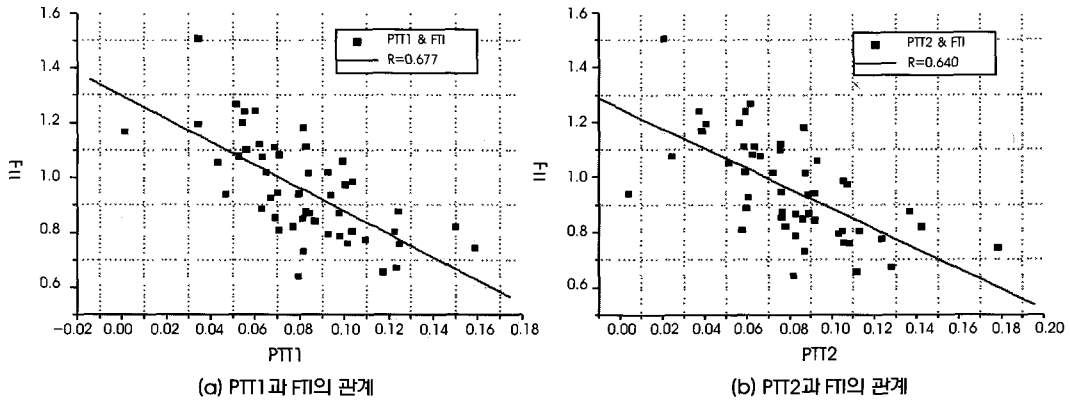


그림 7. FTI와 좌, 우측 맥파전달시간의 상관관계  
 Fig. 7. Correlation between FTI and (a) PTT1, (b) PTT2

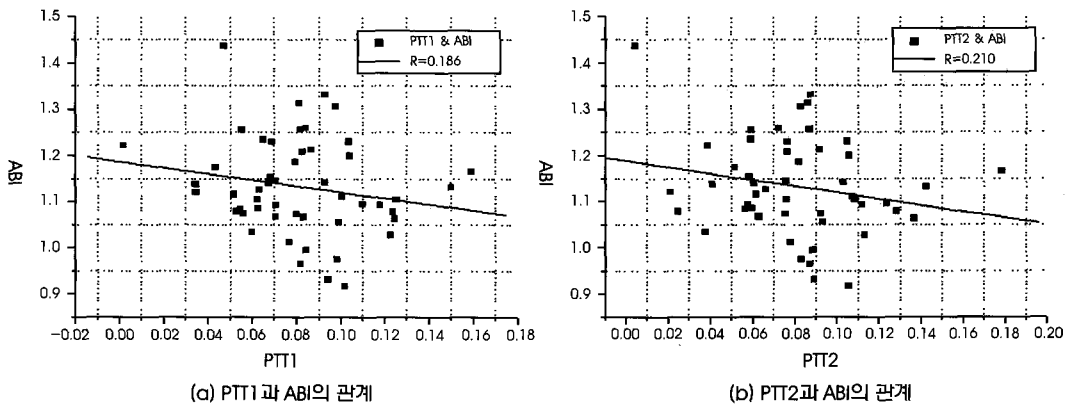


그림 8. ABI와 좌, 우측 맥파전달시간의 상관관계  
 Fig. 8. Correlation between ABI and (a) PTT1, (b) PTT2

을 보였으며, (b)는 PTT2의 관계로 -0.640의 상관성을 보였다.

그림 8은 ABI가 맥파전달시간에 따른 분포와 선형회귀 분석한 결과로서 그림 8(a)는ABI와 PTT1의 관계를 나타낸 것으로 -0.186의 상관성을, (b)는 PTT2와의 관계로 -0.210의 상관성을 보였다. 이와 같은 결과를 통해 ABI보다 FTI가 맥파전달시간과 높은 상관관계가 있음을 확인하였다. 또한 FTI와 PTT의 관계 분석을 통해 PTT가 커질수록 FTI는 작아지는 반비례 관계를 확인할 수 있었다.

· FTI와 ABI의 관계

본 논문에서 제안한 파라미터의 효용성을 입증하기 위해 혈관의 탄력성과 같은 혈관 상태를 반영하는 일반적인 파라미터인 연령과 PTT에 대한 회귀분석을 통해 상관관계를 확인하였다. 동시에 기존에 사용되고 있는 방법인 ABI도 연령과 PTT에 대해 상관관계를 확인한 결과, ABI보다 본 연구에서 제안한 파라미터인 FTI가 연령, PTT에 대해 높은 상관관계를 확인할 수 있었다.

그림 9는 기존 방법인 ABI와 제안한 FTI의 관계를 확인하기 위

하여, 50명의 데이터를 이용하여 계산한 FTI와 ABI의 분포 및 선형회귀분석 결과를 나타낸 것이다. 분석결과는 0.130의 낮은 상관 계수를 얻어졌다. 이는 피검자 개개인에 대한 UT와 혈압의 관계가

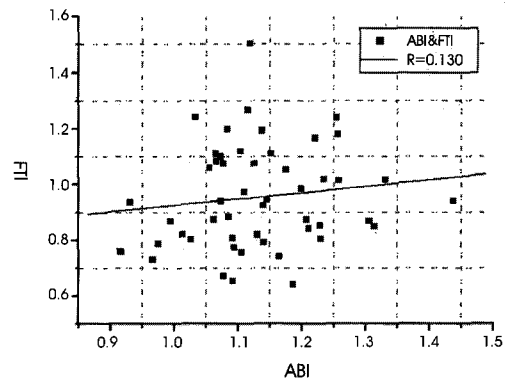


그림 9. FTI와 ABI의 상관관계  
 Fig. 9. Correlation between FTI and ABI

표 3. 파라미터간의 선형회귀분석 결과

Table 3. The results of linear correlation analysis for parameters.

구분	파라미터I	파라미터II	상관계수(R)
UT	UT	AGE	0.607
	UT	PTT1	-0.607
	UT	PTT2	-0.510
	UT	BP	0.017
BP	BP	AGE	0.085
	BP	PTT1	-0.170
	BP	PTT2	-0.233
FTI	FTI	AGE	0.590
	FTI	PTT1	-0.677
	FTI	PTT2	-0.640
	ABI	AGE	0.316
	ABI	PTT1	-0.186
	ABI	PTT2	-0.210
	FTI	ABI	-0.130

높은 상관성을 가지나 전체 피검자를 대상으로한 혈압과 UT의 상관관계가 낮기 때문이라고 판단된다. 즉, 피검자 1의 혈압과 피검자 2의 혈압이 같아도 피검자 1의 UT와 피검자 2의 UT는 다를 수 있기 때문이다.

C. 결과고찰

제안한 파라미터의 유용성과 제작한 시스템 기능을 검증하기 위한 목적으로 운동 부하를 통해 인위적으로 혈압을 증가시키는 방법에 의한 기초실험 결과로, 운동 전, 후 혈압 변화에 따라 UT가 변화하는 결과를 보였으며, 상관 분석 결과 0.92이상의 상관성을 보였다.

표 3은 전체 피검자 50명의 데이터를 이용하여 여러 파라미터들 간의 관계를 선형 회귀분석을 통해 얻어진 결과들을 나타낸 것이다. 표 3의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 임의의 피검자 2명을 대상으로 한 기초실험에서 UT와 혈압

의 상관성이 0.928의 상관 관계를 보였고, 전체 피검자 50명을 대상으로 분석한 UT와 혈압의 상관성은 0.017의 결과를 보였다. 이와 같은 차이를 보이는 이유는 39세 이상의 15명이 혈압약을 복용하여 혈압 수치를 인위적으로 조절하였기 때문이라 사료된다.

2) 표 3에서와 같이 본 연구에서 제안한 파라미터로 얻어진 FTI는 기존 방법인 ABI와 상관관계는 0.130으로 매우 낮은 결과를 보였다.

위의 결과는 FTI가 기존 ABI보다 혈관상태를 세분화하여 반영한다고 사료되며 기존 ABI의 수치에 따라 혈관의 상태를 예측하는 기준이 수립되어 있으나, 본 논문에서 제안한 FTI는 기준이 없는 상태이기 때문에 FTI가 혈관 상태를 분석, 예측하는데 사용되기 위해서는 향후 FTI도 혈관상태를 규정짓는 기준이 필요하며, 이를 수립하기 위한 많은 임상실험이 필요할 것이다.

그림 10은 전체 피검자 50명에 대한 ABI와 FTI의 히스토그램을 나타낸 것이다. 히스토그램 분석과 표 2의 결과를 통해 얻어진

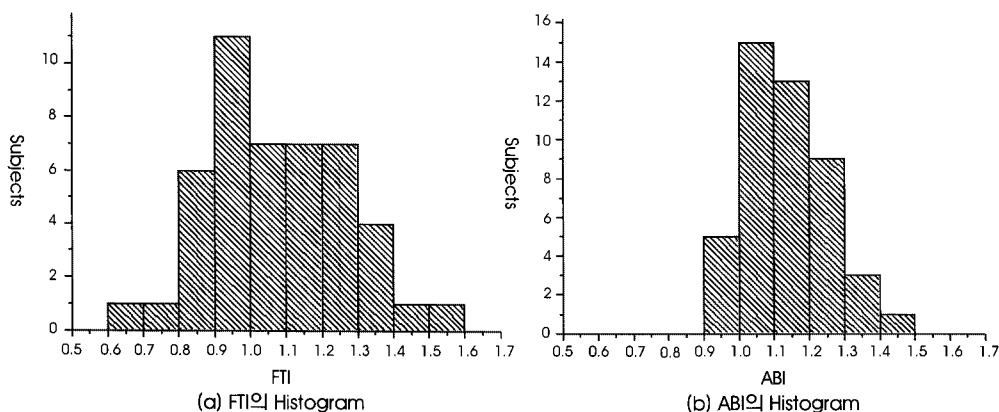


그림 10. FTI와 ABI의 Histogram  
Fig. 10. Histogram for FTI and ABI

내용을 정리하면 다음과 같다.

1) ABI는 0.9에서 1.5의 분포를 보였고 FTI는 0.6에서 1.6으로 ABI보다 넓은 분포를 나타내었다.

2) ABI와 FTI가 상관성을 보이지는 않았으나, 연령과의 관계를 분석한 결과는 ABI보다 FTI가 더 높은 상관관계를 보였고, 혈관 상태와 직접적인 관련된 정보를 보이는 PTT와도 FTI가 ABI보다 높은 상관관계를 보였다.

혈압을 이용한 ABI는 말초 혈관 질환을 예측하는데 사용되는 대표적인 지표이다. 본 논문에서는 용적맥파를 이용하여 ABI와 같은 정보를 얻어 혈관 특성을 분석하는 기존 시스템보다 정확한 정보를 제공하기 위하여 FTI 파라미터를 제안하고, 제안한 FTI의 유용성을 확인하기 위해 여러 파라미터와의 관계를 분석 및 확인하였다. ABI와 FTI의 상관성은 0.130의 상관 계수를 보여 두 결과 데이터는 상관성이 없음을 보였으나 제안한 FTI의 효용성은 다른 파라미터들간의 관계를 분석한 결과와 다음의 실험을 통해 임상에서의 타당성이 있다고 할 수 있다.

실험으로서 81세의 피검자의 경우 기존 ABI는 1.12로 정상 영역에 포함되었다. 그러나 이 피검자는 혈압이 높은 이유로 혈압약을 복용하여 인위적으로 혈압 수치를 낮춘 상태이며 FTI의 분석 결과는 0.66이었다. PTT를 접목시켜 젊은 피검자와 비교해 볼 때 ABI 수치는 큰 차이 없으나, PTT는 0.034[s]로 혈관의 상태가 젊은 사람(0.130[s])에 비해 탄력성이 현저하게 낮음을 확인하였다. 이와 같은 근거로, 기존 ABI보다 본 논문에서 제안한 FTI가 혈관의 폐색정도를 더욱 정확하고 세밀하게 판단할 수 있다고 사료된다. 또한 현재 OMRON사 제품에서 사용하는 ABI 파라미터는 발목과 상완의 혈압 비를 이용하는 방법으로서 0.9를 기준으로 혈관의 폐색정도를 나타낸다. 만약, 상완의 혈관 관로와 발목의 혈관 관로에 동시에 폐색과 같은 혈관질환이 발생한다면 ABI에서 0.9이상의 정상 수치를 나타낼 수 있기 때문에 ABI만으로 혈관 폐색을 판단하기에는 어려움이 있다고 생각된다.

따라서 제안한 FTI는 기존 ABI에 비하여 연령과 동맥의 탄성도와 직접적인 관련이 있는 맥파전달시간과 매우 상관성이 높으며, 측정에 있어서도 부가적인 장치 없이 용적맥파만을 이용하여 동맥 특성을 분석하는 기존의 시스템에서 용이하게 사용될 수 있다고 판단된다.

#### IV. 결론

임의의 20대, 50대 피검자 두명을 대상으로 운동 전후에 따른 심수축기 혈압과 용적맥파의 상승시간을 측정하는 반복실험에서 혈압이 상승하면 용적맥파의 상승시간이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 이를 통하여 얻어진 데이터를 선형회귀 분석을 수행한 결과 0.92의 높은 상관성을 확인할 수 있었다. 따라서 제안한 파라미터가 용적맥파만을 이용하여 혈압에 대응하는 정보를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

10대에서 80대에 이르는 50명의 전체 피검자를 대상으로 연령

과 혈압 상완발목지수에 대한 선형회귀 분석 결과는 0.316의 상관 계수를 보였으며, 지척족지지수의 선형회귀 분석 결과는 0.590의 상관계수를 보였다. 또한 맥파전달시간과 혈압 상완발목지수에 대한 선형회귀 분석 결과는 약 0.20 정도의 상관계수를 보였으며, 지척족지지수의 선형회귀 분석 결과는 약 0.66 정도의 상관계수를 보였다. 결과적으로 지척족지지수가 연령과 높은 상관 관계가 있음을 확인하였다. 전체 피검자(n=50)를 대상으로 기존 혈압 상완 발목지수에서 사용되는 4개의 영역으로 구분한 결과 상완발목지수는 모든 피검자가 정상 상태(normal state)에 분포하였으나, 맥파 상승시간의 지척족지지수는 3그룹, 42명이 정상상태(normal state)에, 6명은 가벼운 폐색 상태(mild obstruction state), 그리고 1명이 경증 폐색 상태(moderate obstruction state)에 분포되는 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 지척족지지수가 혈관 폐색을 더욱 세분화하여 나타낼 수 있다고 사료된다.

결론적으로 제안한 파라미터인 FTI는 향후, 신뢰성을 확보를 위한 연구를 거치면 기존의 오실로메트리법에 의한 혈압 정보를 사용하는 발목/상완 혈압 지수 (ABI) 측정법과 같은 목적으로, 보다 간편하고 손쉽게 사용될 수 있으리라 판단된다.

#### REFERENCES

- [1] B. K. Lee, "Theory and practice of modernization for the examination of the pulse for diagnosis, Seongbosa, 2003.
- [2] C. H. Kim, "A blood vessel ageing and hypertension", The Korean Geriatrics Society 30<sup>th</sup> conference symposium, 2002.
- [3] J. L. Izzo and B. E. Shykoff, "Arterial stiffness: clinical relevance, measurement, and treatment," *Rev Cardiovasc. Med.*, vol. 2, no. 1, pp. 29-40, 2001.
- [4] S. W. Han, "A study on arterial characterization by using Photoplethysmogram", Ph. D. Thesis, Myongji University, 2002.
- [5] M. R. Jaff, "Lower extremity arterial disease diagnostic aspects," *Cardiol. Clin.*, vol. 20, pp. 491-500, 2002.
- [6] J.A. Beckman, C. O. Higgins, and M. G. Herman, "Automated oscillometric determination of the ankle-brachial index provides accuracy necessary for office practice," *Hypertension*, vol. 47, pp. 35-38, 2006.
- [7] S. C. Millasseau, R. P. Kelly, J. M. Ritter, and P. J. Chowienczyk, "Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis," *Clinical Science*, vol. 103, pp. 371-377, 2002.
- [8] Korea Patent, Publication Number: KR20020073374.
- [9] M. K. Byeon, "A study on arterial characterization by using upstroke time of Photoplethysmogram", Ph. D. Thesis, Myongji University, 2006.
- [10] F. J. Callaghan, L. A. Geddes, C. F. Babbs, and J. D. Bourland, "Relationship between pulse-wave velocity and arterial elasticity," *Med. & Biol. Eng. & Comput.*, vol. 24, pp. 248-254, 1986.
- [11] M. Nitani, B. Khanokn, and Y. Slovick, "The difference in pulse transit time to the toe and finger measured by photoplethysmography," *Physiol. Meas.*, vol. 23, pp. 85-93, 2002.



- [12] J. Lass, K. Meigas, D. Karai, R. Kattai, J. Kaik, M. Rossmann, "Continuous blood pressure monitoring during exercise using pulse wave transit time measurement," in *Proc. the 26th Annual International Conference of the IEEE MEBS*, September, 2004.
- [13] X. F. Teng and Y. T. Zhang, "Continuous and noninvasive estimation of arterial blood pressure using a photoplethysmographic approach," in *Proc the 25th Annual International of the IEEE EMBS Cancun*, pp.17-21, 2003.
- [14] A. Porta, C. Gasperi, et. al., "Sequence analysis of pulse transit time and systolic blood pressure during dynamic exercise," *Computers in Cardiology*, vol. 32, pp. 849-852, 2005.
- [15] J. K-J. Li, *The Arterial Circulation: Physical Principles and Clinical Applications*, Humana Press, 2000.
- [16] K. B. Chandran, *Cardiovascular Biomechanics*, New York University Press, 1992.
- [17] R. J. Woodman and G. F. Watts, "Measurement and application of arterial stiffness in clinical research: focus on new methodologies and diabetes mellitus," *Med. Sci. Monit.*, vol. 9, no. 5, RA101-109, 2003.
- [18] W. Chen, T. Kovayashi, S. Ichikawa, and Y. Takeuchi, "Continuous estimation of systolic blood pressure using the pulse arrival time and intermittent calibration," *Med. Biol. Eng. Comput.*, vol. 38, pp.569-574, 2000.