

용적맥파 상승시간에 의한 혈관 특성화 연구

A Study on Arterial Characterization by using Up-stroke Time of Photoplethysmogram

변미경*, 한상휘*, 허웅**
(M.K. Byeon, S.W. Han and W. Huh)

Abstract

This paper proposed an analyzable parameter and its analytic method to provide more accurate information than currently employed 4 channels system which uses pulse wave velocity (PWV) information of the volume pulse wave measured from 4 arterial channels for the characterization of arterial vessel.

In order to verify the volume pulse waves on 4 sites were simultaneously acquired from 50 normal subjects aged from 12 to 81 years old, and the proposed parameters were extracted from them. Up-stroke time (UT) was then compared with blood pressure. Then, the regression analyses were done to evaluate the relationships among the proposed parameter and others, such as aging, pulse transit time (PTT) and blood pressure (BP).

The followings are the results of linear regression analysis of the proposed parameter for total 50 normal subjects.

We selected any two subjects (58 years and 27 years) and measured PPG (photoplethysmogram) and BP of before and after exercise. The coefficient of correlations between BP and UT observed was -0.928 for 50 years subject, and -0.922 for 20 years subject.

For total 50 normal subjects, in case of correlation between the pulse transit time and BP, the result showed -0.170 on left side and -0.233 on right side, and the coefficient value of correlation between the pulse transit time and UT was -0.607 on left side and -0.510 on right side. UT is strongly correlated with the pulse transit time than BP. Hence, we believe that the proposed parameter is related with the index of arterial stiffness.

Key Words: UT(up-stroke time), PTT(pulse transit time), Arterial, Blood pressure

I. 서 론

노화가 진행되면 여러 가지 원인에 의해 혈관이 경화되면서 혈관의 탄력성이 소실되고 혈관이 좁아지게 되어 결국 동맥의 파열이나 폐쇄 등이 일어나 부위에 따라 여러 가지 질병이 발생된다. 혈관이 경화되면 탄력성이 없어지기 때문에, 동일한 양의 혈액이 흘러도 동맥의 내벽에는 항상 큰 압력이 가해지게 되어 동맥의 벽은 상처를 입게 되어 혈관의 상태가 더욱 악화된다[1]-[4].

심장의 펌프 작용에서 발생하는 맥동파는 동맥계를 따라 전달되면서 혈관의 물리적인 특성에 따라 파형이 변화하게 된다. 동맥에서 맥동파의 전달 속도 (PWV: Pulse Wave Velocity)는 혈관의 탄성계수 및 두께에 비례하고 혈관의 직경에 반비례하는 관계를 가지므로 PWV를 이용하여 혈관의 경화도를 추정하는 것이 가능하다. ECG 신호를 기준점으로 알고 있는 위치인 손가락이나 발가락에서 용적맥파를 측정하여 그 전달시간을 측정하고 속도를 구하여 혈관의 경화 정도를 평가하는 인자로 연구되고 있다[5]-[7].

본 연구에서 얻고자 하는 새로운 파라미터는 혈압 정보와 상관 관계를 가지는 용적맥파의 상승시간(Up-stroke time)이다. 이는 말초혈관질환을 진단하는 상완발목지수 (ABI) 방법에 착안하였고, 용적맥파 신호의 시작점에서 최고 진폭까지 이르는 상승 시간이 혈관내 압력 즉 혈압에 비례한다는 기존 연구 결과를 통해 선정하였다.

* 명지대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics, Myongji University)

** 명지대학교 전자공학과 교수
본 연구는 한국보건산업진흥원의 지원으로 이루어짐 (B050011).

본 논문에서는 4지에서 측정한 용적맥파로 맥파전달 시간을 측정하여 혈관 특성을 분석하는 기존 시스템에 부가적인 장치를 사용하지 않고 보다 구체적인 정보를

제공할 수 있도록 용적맥파만을 분석하여 혈관을 특성화하기 위한 새로운 분석 파라미터를 제시 하였다. 그 결과, 혈압과 UT는 0.9 이상의 높은 상관성을, UT와 연령, 맥파전달시간과는 약 0.6 이상의 상관관계를 확인하였다. 이를 통해 용적맥파에 의한 UT가 혈관의 특성을 반영하는 파라미터임을 검증하였다.

II. 연구 방법

혈관은 동맥, (106) 세혈관으로 구분하며, 내부 지름이 저마다 다른 하나의 관으로 되어 있다. 동맥은 정맥에 비해 탄력성과 신전성이 좋으며, 높은 압력을 유지하고 있어서 압력혈관이라고 한다[8].

혈관벽에 대하여 움직이는 힘을 나타내는 혈압은 혈관 내의 혈액의 양과 혈관벽의 탄성 또는 팽창력의 영향을 받는다. 심장 수축시 동맥에서 최대 혈압을 나타낼 때를 수축기 혈압 (SYS: systolic blood pressure)이라 하고, 평균 120mmHg 정도의 수치를 나타낸다. 심장 이완 시에는 최저 혈압을 나타내고, 이를 이완기 혈압 (DIA: diastolic blood pressure)이라 하며 평균 80mmHg 정도의 수치를 나타낸다[2].

동맥혈압은 연령, 운동, 정신적 상태 및 기타의 여러 요인에 의하여 많은 변동을 가져오며, 수축기 혈압이나 이완기 혈압 및 맥압의 변동폭이 각각 다르다. 동맥의 탄력성 정도가 맥파 모양에 영향을 미치는 것을 젊은 피검자와 나이는 피검자, 즉 노화와 혈관의 경화의 관계로 살펴보면 젊은 피검자는 혈관이 탄력적이고 얇으며, 반면에 나이는 피검자의 혈관은 혈관벽에 이물질의 침착과 탄력성 소실로 인해 혈관이 단단하게 굳어져 있으며 혈관벽이 두껍다. 이와 같이 혈관 상태에 따라 심장이 수축하고 이완할 때의 혈관 저항성분이 변화하기 때문에 출력 신호인 맥파의 파형에 영향을 미치는 것은 잘 알려져 있다[3].

그림 1은 맥파 파형을 나타낸 것으로서, 일반적으로 맥파학 분야에서는 맥파의 기시점 S에서 대동맥쇄에 의하여 생기는 절흔(C)을 경계로 전반을 수축기, 후반을 이완기로 분할하고, 맥파의 상승 개시점을 S로 표시하며, 혈액이 대동맥 내로 구출되는 최초의 용기 기시점, S로부터 동맥 내압이 최대치를 나타내는 충격파 P까지의 시간을 UT라고 한다[1][3].

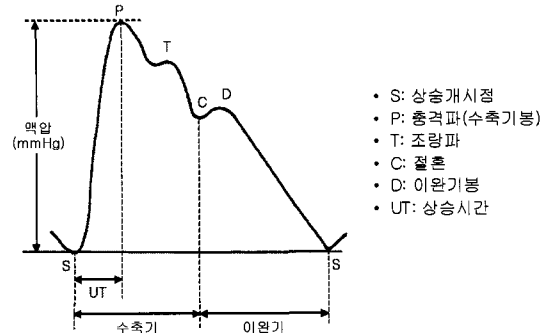
본 연구에서 용적맥파 신호가 최고 진폭까지 이르는 상승 시간 UT가 혈압에 비례한다는 가정을 사용하였으며, [3][4], 이를 검증하기 위해 시스템을 구축하였으며, 취득한 데이터를 분석하여 연구의 타당성을 확인하고자 하였다.

구성한 시스템은 좌우 지점과 족지, 4부위에서 측정된 4채널의 용적맥파 변환기, 신호처리부, 12Bit A/D 변환기 그리고 소프트웨어부로 구성하였으며, 제안한 파라미터의 검증에 위하여 좌우 상완과 발목에서 혈압 데이터를 Omron사의 가정용 혈압계를 사용하여 측정하였다. 그림 2에는 전체 시스템의 구성도를 제시하였다.

- 상승시간(UT: Up-stroke Time) 검출 알고리즘

용적맥파의 UT 검출은 좌, 우측 지점과 족지, 4부위에서 측정된 용적맥파를 이용하여 필터링과 증폭의 전

처리 과정을 4채널에 동시 적용하여 수행한다. 그림 3은 UT를 검출하는 알고리즘의 흐름도이다.



- S: 상승개시점
- P: 충격파(수축기봉)
- T: 조랑파
- C: 절흔
- D: 이완기봉
- UT: 상승시간

그림 1. 일반적인 맥파 파형

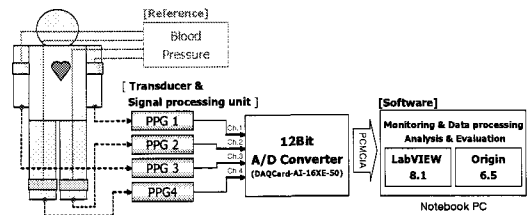


그림 2. 전체 구성도

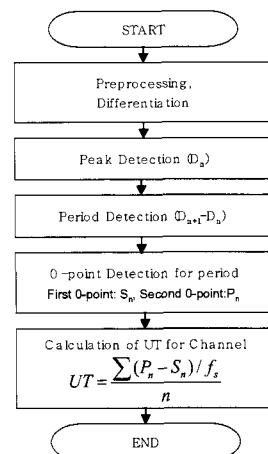


그림 3. UT 검출 흐름도

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)으로 적용하여 최대값을 검출한다. 검출된 최대값들(Dn)은 맥파 주기를 계산하기 위해 저장하고, Dn+1-Dn의 관계로 주기를 검출한다.

다음, 미분 맥파에서 0점을 교차하는 모든 지점을 앞서 계산한 주기별로 검출한다. 주기별 처음 검출된 0점이 맥파의 개시점이며 이를 Sn으로 저장하고, 두번째 검출된 0점이 맥파가 충격파이며 이를 Pn으로 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.

$$UT = \frac{\sum (P_n - S_n) / f_s}{n} \quad (1)$$

- P_n : 검출된 충격파의 인덱스 배열
- S_n : 검출된 개시점의 인덱스 배열
- n : 검출된 개수
- f_n : 샘플링 율

UT는 맥파의 개시점에서 충격파까지 이르는 시간을 의미한다. 따라서 채널별 검출된 충격파(P_n)와 개시점 (S_n) 배열을 이용하여 아래의 관계식에 의해 계산되며, 식(1)은 주기 별 계산한 UT를 합하여 샘플링 율로 나눠줌으로써 위치정보를 시간정보로 변환하고, 검출된 개수 n 으로 나눔으로써 UT의 평균값을 계산한다.

III. 실험 및 결과

구현한 하드웨어와 소프트웨어의 기능을 검증하기 위한 기초 실험과 선정한 분석 파라미터의 타당성을 확인하기 위해 연령대가 다른 두 특정 피검자로부터 반복 실험을 수행하여 이를 분석하는 반복실험, 그리고 피검자 50명을 대상으로 데이터를 취득한 방법과 분석파라미터간의 상관관계를 선형회귀분석법을 이용하여 분석하였다.

1. 기초 실험

본 연구에서 제작한 하드웨어와 소프트웨어의 기능을 확인하는 실험이다. 그림 4는 변환기와 신호처리부의 기능을 확인하기 위해 신호처리부 최종 출력단에서 스코프로 계속한 지점과 족지의 파형이다. 4채널 모두 상용전원 잡음이 제거된 파형을 볼 수 있으며, 실제 의도에 부합한 결과를 확인하였다. 또한 20대 피검자를 대상으로 측정된 파형으로서, 지점과 족지에서 계속한 파형이 약 80ms의 시간차가 발생되는 것을 확인할 수 있으며, 좌, 우측 유사한 시간차를 확인하였다.

그림 5는 맥파의 상승시간을 계산하는 프로그램의 화면으로서 피검자 1인에 대한 좌측 지점과 족지에서 측정된 용적맥파 신호의 상승시간을 측정하는 화면을 보인 것이다. 그림은 좌측 신호만을 나타냈지만 원래 프로그램은 동시에 좌, 우측 신호를 동시에 분석하도록 구성하였다.

지점과 족지의 맥파 두 신호를 1차 미분한 미분 신호 그리고 두 미분 신호가 영점을 교차하는 위치를 검출하여 마커(marker)로 나타낸 파형을 보이고 있다. 마커로 표시된 부분은 위치 정보인 인덱스(index) 값을 나타내고 있다. 이 위치 정보는 채널 별 각각 인덱스 어레이(index array)에 저장되며, 주기 별 두 개의 마커를 생성시킨 위치는 원래 용적맥파의 기저점과 최고점을 의미하며, 검출된 인덱스 차를 구하여 샘플링 율로 나눠줌으로써 맥파의 상승시간을 계산한다.

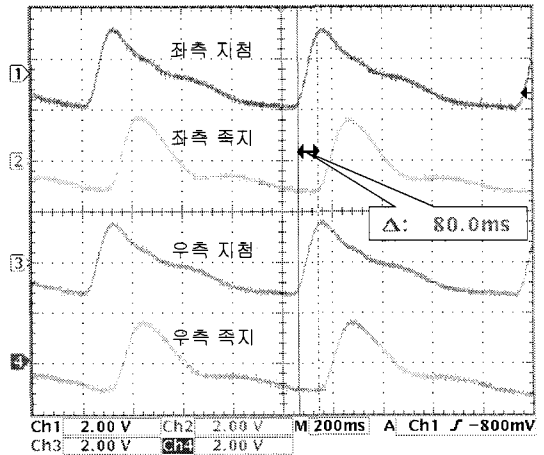


그림 4. 말초 4 부위에서 측정된 용적맥파

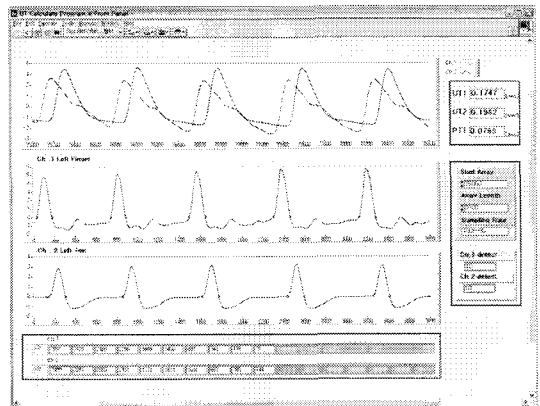


그림 5. UT 검출 프로그램

신호 채널 간의 인덱스 차를 구하여 샘플링 율로 나눠줌으로써 맥파전달시간(PTT : pulse transit time)를 계산한다.

2. 반복 실험

1) 파라미터 검증

혈압의 최고치인 심수축기 혈압(SYS)과 용적맥파의 UT간의 관계를 규명하기 위해 20대 피검자와 50대 피검자를 임의로 선정하여 반복실험을 수행하였다. 실험 방법은 운동부하를 이용하여 혈압을 상승시키는 방법을 사용하였으며, 운동부하는 트레드밀을 사용한 달리기 운동을 선택하였다.

실험은 아래와 같은 5단계로 진행하였다.

단계 1: 피검자는 혈압계와 본 논문에서 사용한 PPG (photoplethysmogram)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 5분 동안 9km/h 의 부하로 트레드밀에서 달리기 운동 실행.
- 단계 4: 운동이 종료된 직후, 단계 2를 한번 더 수행.
- 단계 5: 단계 1~4의 과정을 1시간 간격으로 4회 수행.

혈압과 분석 파라미터 간의 관계는 운동부하를 이용하여 혈압을 상승시키기 전, 후에 대한 맥파를 계측하고, 파라미터를 검출하여 혈압과의 상관관계를 분석하는 방법을 선택하였다. 분석 파라미터는 다음과 같이 선정하였다.

- (1) 혈압과 좌우 맥파전달시간차의 관계
- (2) 혈압과 UT의 관계
- (3) 상관관계 분석
- (4)

표 1. 반복실험 결과

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	85	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

표 1은 위 실험단계에 따라 수행한 반복시험을 통해서 측정된 혈압 정보, PTT, 그리고 UT를 보인 것으로서 데이터는 본 논문에서 제안한 파라미터인 UT가 운동 부하를 가하면 혈압과 함께 상승하는 것을 확인 할 수 있었으며, 또한 PTT도 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6은 운동전 후, 즉 혈압 변화에 따른 UT의 변화를 피검자별로 도식화한 것이고, 그림 7은 반복 실험에 따른 좌측 PTT의 변화를 보인 것이다. 운동 전후 즉 혈압이 변화함에 따라서 PTT와 UT가 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 혈압의 변화가 UT의 변화와 관련이 있음을 알 수 있었으며, UT는 운동부하에 의한 혈압 상승에 의해서 시간이 감소하는 결과를 보였다.

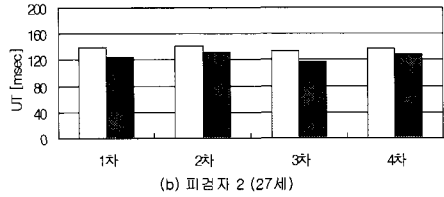
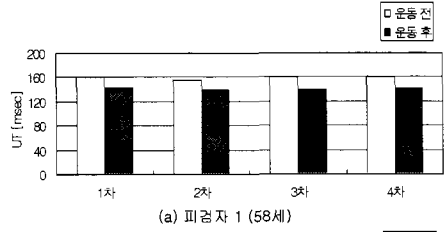


그림 6. 운동 전, 후 UT의 변화

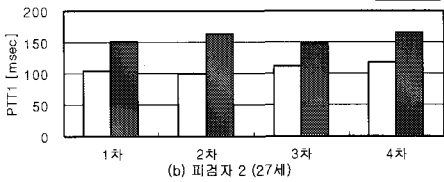
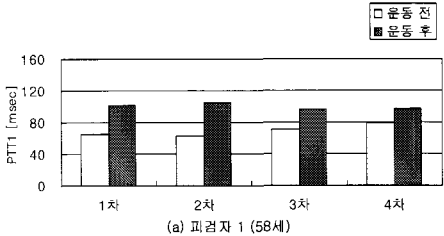


그림 7. 운동 전, 후 맥파전달시간의 변화

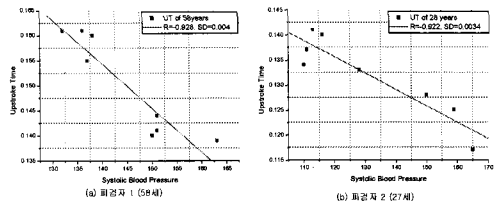


그림 8. 혈압과 UT의 상관관계.

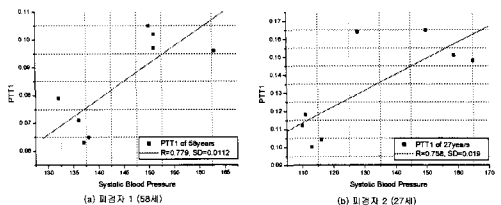


그림 9. 혈압과 맥파전달시간의 상관관계

그림 8은 표 1에서 얻어진 데이터로 혈압과 PTT 간의 상관관계를 나타낸 것이고, 그림 9는 혈압과 UT 간의 상관관계 분석 결과를 보인 것이다. 50대 피검자 경우 SYS-PTT의 상관계수는 0.779, SYS-UT의 상관계수가 -0.928, 20대 피검자 경우 SYS-PTT의 상관계수는 0.758, SYS-UT의 상관계수는 -0.922를 나타내고 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.

2) 측정오차 검증

혈관의 폐색 및 협착 정도를 예측하는 기존의 여러 방법들은 혈압 정보를 많이 이용한다. 본 논문에서 제안한 UT가 혈관의 상태를 판단하는데 적합한 파라미터임을 확인하기 위한 실험으로서, 임의의 20대 피검자 2명을 대상으로 혈압과 용적맥파를 반복적으로 측정하여, 혈압과 UT의 측정오차를 확인하였다.

실험은 아래와 같은 4단계로 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 커프의 압력이 완전히 제거되는 것이 확인되면 10초 동안 좌우 지침과 족지 4부위에서 용적맥파를 동시에 측정.

단계 3: 10분 후, 단계 1과 단계 2의 과정을 수행.

단계 4: 단계 1-3의 과정을 10회 수행.

표 2는 측정오차를 확인하기 위해 수행한 실험 결과로서 채널 별, 즉 측정부위의 평균과 표준편차를 나타낸 것이다. 이는 피검자 2명을 대상으로 10회 반복 실험을 하였으며, 측정한 사지(좌,우 상완과 발목)의 혈압과 사지(좌,우 지침과 족지)의 UT 값을 평균한 결과이다. 표 2의 결과를 통해 혈압보다 용적맥파의 UT에서 측정 오차 표준편차가 현저히 작은 것을 통해 혈압이 UT보다 변동폭이 크다는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 UT를 분석 파라미터로 사용하는 것이 혈압보다 안정적인 결과를 제시할 수 있다고 사료된다.

표 2. 반복 측정 결과

파라미터	측정위치	피검자 1		피검자 2		
		평균	표준편차	평균	표준편차	
UT	Ch.1	0.1655	0.0040	0.1539	0.0055	
	Ch.2	0.2035	0.0078	0.1737	0.0086	
	Ch.3	0.1644	0.0046	0.1496	0.0027	
	Ch.4	0.2032	0.0094	0.1780	0.0107	
혈압	Ch.1	SYS	116.3	4.4981	117.3	4.9677
		DIA	65.3	4.4981	64.9	2.1833
	Ch.2	SYS	119.3	4.9001	109.6	5.1683
		DIA	66.5	4.3269	63.8	3.2592
	Ch.3	SYS	135.6	6.0406	131.6	6.9474
		DIA	70.7	3.9455	66.8	4.8028
	Ch.4	SYS	133.6	7.1212	140	6.5997
		DIA	69.6	4.7656	69.5	3.8944

3. 본 실험

데이터의 취득은 10대에서 80대 50명을 대상으로 수행하였다. 실험 방법은 아래와 같이 진행하였다.

단계 1: 피검자는 5분 동안 침대에 누운 상태를 유지하며 휴식.

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 혈압을 측정.

데이터 분석 및 평가는 전체 피검자 50명을 대상으로 4개 측정 부위에서 얻어진 용적맥파 신호와 혈압을 이용하여 본 논문에서 제안된 파라미터를 평가하기 위하여 혈압 정보와 본 논문에서 파라미터로 사용한 UT 정보가 연령과 맥파전달시간과 어떤 관계가 있는지를 평가한 것이다.

- (1) 연령에 대한 혈압과 UT의 관계
- (2) 맥파전달시간에 대한 혈압과 UT의 관계
- (3) 혈압과 UT의 상관관계

- 연령과 UT의 관계

UT와 연령의 관계를 확인하기 위해 선형회귀 분석을 수행하였다. 그림 10은 연령에 따른 UT의 분포와 선형회귀분석 결과를 나타낸 것이다. UT와 연령의 회귀 분석 결과는 그림 10(a) 좌측 지침에서 0.607, (b) 좌측 족지에서 0.509, (c) 우측 지침에서 0.674 그리고 (d) 우측 족지에서 0.557의 비교적 높은 상관성을 보였다. 미소한 차이이나 좌우 족지보다 좌우 지침의 UT가 연령에 의한 상관관계가 높음을 확인하였다.

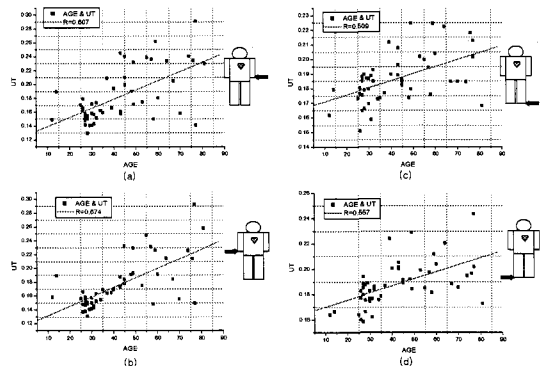


그림 10. 연령과 UT의 상관관계

- 연령과 혈압(SYS, DIA)의 관계

그림 11은 연령에 따른 심수축기 혈압(SYS)의 분포와 선형회귀 분석 결과를 나타낸 것으로서, 혈압과 연령의 관계를 분석한 결과는 그림 11(a) 좌측 상완에서 0.085, (b) 좌측 발목에서 0.298, (c) 우측 상완에서 0.261 그리고 (d) 우측 발목에서 0.310의 상관성을 보였다. 그림 12는 연령에 따른 심이완기 혈압(DIA)의 분포와 선형회귀 분석한 결과를 나타낸 것으로서, 결과는 그림 12(a) 좌측 상완에서 0.098, (b) 좌측 발목에서 0.098, (c) 우측 상완에서 0.209 그리고 (d) 우측 발목에서 0.161의 상관성을 보였다.

- UT와 맥파전달시간의 관계

UT와 좌, 우측 맥파전달시간과의 관계를 확인하기 위해 선형회귀 분석을 수행하였다. 그림 13은 좌측 맥파전달시간(PTT1)에 따른 UT의 분포와 선형회귀 분석한 결과를 나타낸 것이고, 회귀분석 결과는 그림

13(a) 좌측 지점에서 -0.607 , (b) 좌측 족지에서 -0.235 , (c) 우측 지점에서 -0.588 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.306 의 상관성을 보였다.

그림 14는 우측 맥파전달시간(PTT2)에 따른 UT의 분포와 선형회귀 분석한 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 그림 14(a) 좌측 지점에서 -0.510 , (b) 좌측 족지에서 -0.207 , (c) 우측 지점에서 -0.561 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.225 의 상관성을 보였다. UT와 PTT의 관계 분석을 좌우 지점에 비해 좌우 족지에서는 UT와 PTT의 상관 관계가 현저히 낮은 결과를 보였으며, 좌우 지점의 UT와 PTT는 반비례 관계임을 확인하였다.

- 혈압과 맥파전달시간의 관계

그림 15는 좌측 맥파전달시간(PTT1)에 따른 심수축기혈압(SYS)의 분포와 선형회귀 분석 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 그림 15(a) 좌측 지점에서 -0.170 , (b) 좌측 족지에서 -0.255 , (c) 우측 지점에서 -0.280 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.262 의 상관성을 보였다. 그림 16는 우측 맥파전달시간(PTT2)에 따른 SYS의 분포와 선형회귀 분석 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 그림 16(a) 좌측 지점에서 -0.233 , (b) 좌측 족지에서 -0.349 , (c) 우측 지점에서 -0.349 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.336 의 상관성을 보였다.

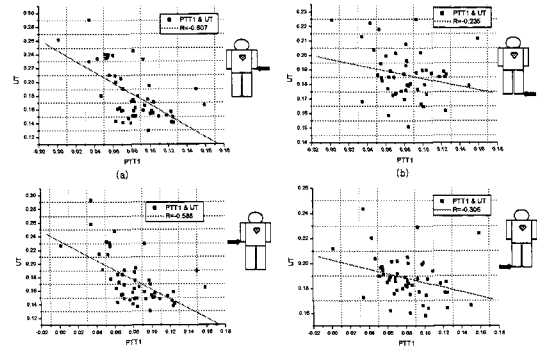


그림 13. UT와 PTT1의 상관관계

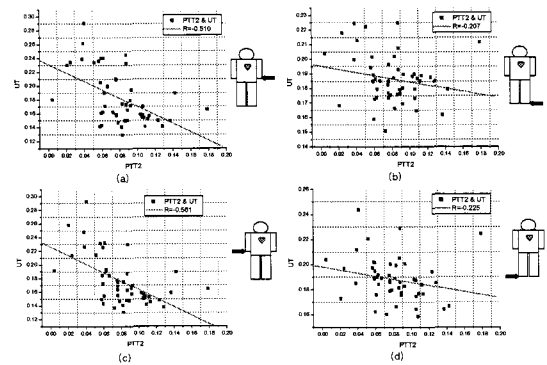


그림 14. UT와 PTT2의 상관관계

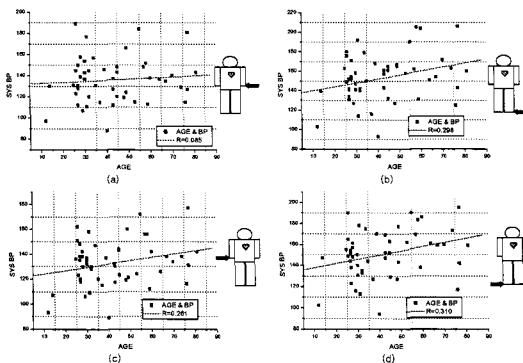


그림 11. 연령과 SYS의 상관관계

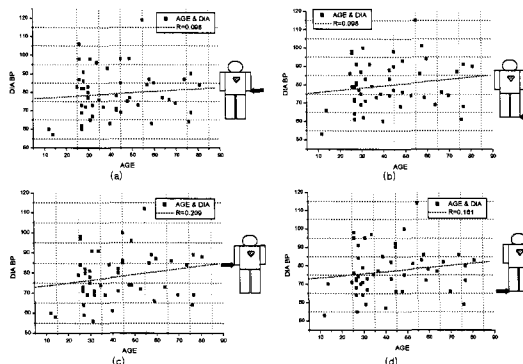


그림 12. 연령과 DIA의 상관관계

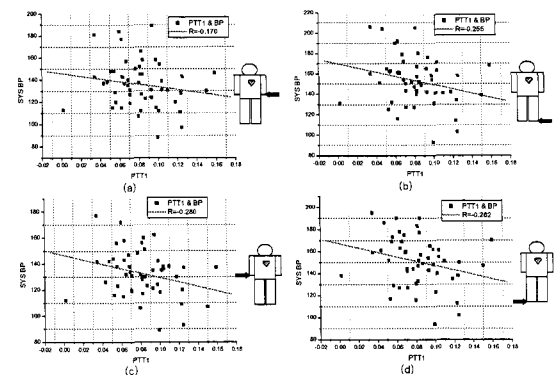


그림 15. SYS와 PTT1의 상관관계

그림 17은 PTT1에 따른 심이완기혈압(DIA)의 분포와 선형회귀 분석한 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 그림 17(a) 좌측 지점에서 -0.206 , (b) 좌측 족지에서 -0.323 , (c) 우측 지점에서 -0.334 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.224 의 상관성을 보였다. 그림 18은 PTT2에 따른 DIA의 분포와 선형회귀 분석한 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 그림 18(a) 좌측 지점에서 -0.510 , (b) 좌측 족지에서 -0.116 , (c) 우측 지점에서 -0.561 그리고 (d) 우측 족지에서 -0.118 의 상관성을 보였다. 이와 같은 결과를 통해, SYS과 DIA 모두 맥파전달시간과 매우 낮은 상관계수를 보였으며, 이는 맥파전달시간과 혈압간 상관성이 없음을 의미한다.

- UT와 혈압의 상호관계

그림 19는 심수축기 혈압(SYS)에 따른 UT의 분포와 선형회귀분석 결과를 나타낸 것이고, 분석 결과는 (a) 좌측 지점에서 0.017, (b) 좌측 족지에서 0.030, (c) 우측 지점에서 0.241 그리고 (d) 우측 족지에서 0.147의 상관계수를 보였다. 그림 20은 심이완기 혈압(DIA)에 따른 UT의 분포와 선형회귀 분석 결과를 나타낸 것으로서, 분석 결과는 (a) 좌측 지점에서 0.092, (b) 좌측 족지에서 0.361, (c) 우측 지점에서 0.285 그리고 (d) 우측 족지에서 0.019의 상관계수를 보였다.

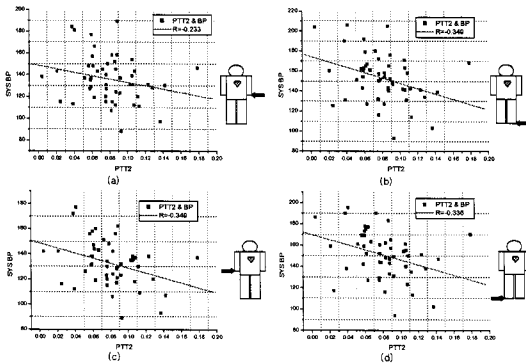


그림 16. DIA와 PTT2의 상관관계

3. 결과 고찰

선정한 파라미터를 검증하기 위한 반복실험은 운동을 통해 인위적으로 혈압을 증가시키는 방법을 이용하였고, 운동 전, 후의 혈압과 UT의 관계를 분석한 결과는 0.9 이상의 높은 상관성을 보였다. 또한 혈압과 UT의 변화 정도를 확인하는 반복실험에서 일정 시간차를 두고 10회 반복 계속하여 평균과 표준편차를 계산한 결과는 혈압보다 UT의 표준편차가 작은 결과를 보였다. 이는 UT의 변동폭이 혈압보다 작기 때문에 안정적인 파라미터로 판단된다.

또한 연령대가 다른 임의의 피검자 2명을 대상으로 한 반복실험에서 UT와 혈압의 상관성이 0.928의 상관관계를 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.

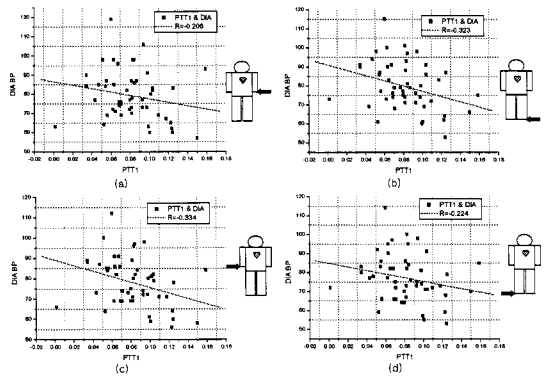


그림 17. DIA와 PTT1의 상관관계

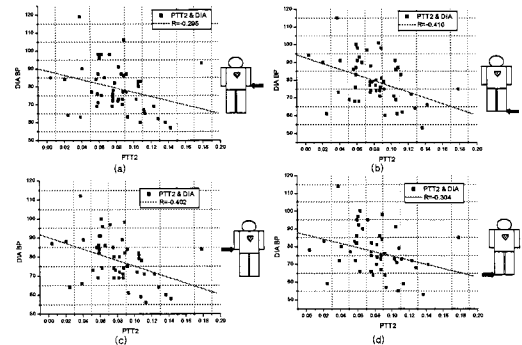


그림 18. DIA와 PTT2의 상관관계

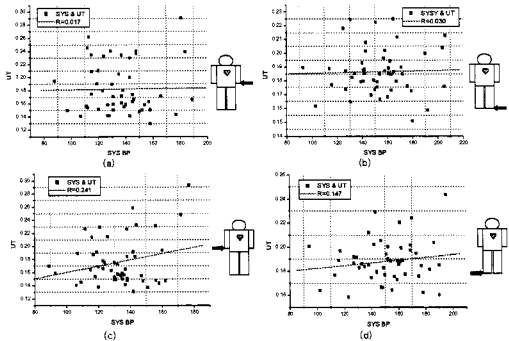


그림 19. UT와 SYS의 상관관계

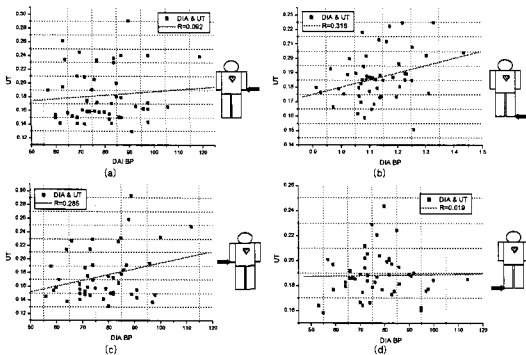


그림 20. UT와 DIA의 상관관계

본 실험의 결과를 통해 UT가 연령, 맥파전달시간과 약 0.6 이상의 상관계수를, 혈압은 연령, 맥파전달시간과 약 0.1 정도의 상관계수를 확인하였다. 이를 통해 용적맥파에 의한 UT가 혈관의 특성을 반영하는 파라미터임을 검증하였다.

IV. 결론

본 논문은 4지에서 측정한 용적맥파를 이용하여 혈관 특성을 분석하는 시스템에 보다 구체적인 정보를 제공하기 위하여 부가적인 장치를 사용하지 않고 기존 시스템 그대로 용적맥파만을 분석하여 새로운 분석 파라미터와 분석 방법을 제안하고 기초실험을 통해 고찰 및 검증하는 것이다.

제안한 파라미터를 검증하기 위해, 4 개 측정 부위에서 동시에 용적맥파와 혈압을 측정하여 피검자 50명을 대상으로 맥파 상승시간과 혈압을 비교, 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

20대, 50대 피검자(n=2)를 대상으로 운동 전후 심수축기 혈압과 용적맥파의 상승시간을 측정하는 반복실험에서 혈압이 상승하면 용적맥파의 상승시간이 감소하는 것을 확인 할 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.

동맥의 탄성도와 직접적인 관련이 있는 파라미터로 사용되는 파라미터인 맥파전달시간과 혈압의 선형회귀 분석 결과는 좌측 -0.170, 우측 -0.233의 상관계수를 보였으며, UT는 좌측 -0.607, 우측 -0.510의 상관계수를 보여 UT가 맥파전달시간과 높은 상관관계가 있음을 확인하였다. 이는 제안한 파라미터가 혈관의 탄성도를 나타내는 지표와 관련이 있다고 판단된다.

이상의 결론에 의하면 본 논문에서 맥파전달시간을 측정하는 4채널 시스템에 보다 구체적인 정보를 제공하기 위해 제안한 용적맥파의 상승시간 정보는 모든 조건에서 혈압과 비례하는 것은 아니지만, 혈관의 상태를 반영하는데 많이 사용되고 있는 파라미터인 연령이나, 맥파전달시간과 높은 상관성을 보였으므로, 말초혈관질환을 진단하는 상완발목지수(ABI)의 혈압과 같은 정보를 제공할 수 있으리라 판단된다.

References

- [1] 이봉교, 진맥 현대화의 이론과 실제. 정보사, 2003.
- [2] 김철호, “혈관노화와 고혈압,” 대한노인병학회 제 30차 종합학술대회 심포지엄, 2002.
- [3] 변미경, “용적맥파 상승시간에 의한 동맥 혈관 특성화 연구,” 명지대학교 박사학위 논문, 2006.
- [4] 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.
- [5] M. Nitan, B. Khanokn, and Y. Slovik, “The difference in pulse transit time to the toe and finger measured by photoplethysmography,” Physiol. Meas., Vol. 23, pp. 85-93, 2002.
- [6] X. F. Teng and Y. T. Zhang, “Continuous and noninvasive estimation of arterial blood pressure using a photoplethysmographic approach,” Proceedings of the 25th Annual International of the IEEE EMBS Cancum, pp.17-21, 2003.
- [7] 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.
- [8] K. B. Chandran, Cardiovascular Biomechanics. New York University Press, 1992.
- [9] 한상희, “용적맥파에 의한 동맥 혈관 특성화 연구,” 명지대학교 박사학위 논문, 2002.
- [10] M. R. Jaff, “Lower extremity arterial disease diagnostic aspects,” Cardiol. Clin., vol. 20, pp. 491-500, 2002.
- [11] 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.
- [12] Hiatt, WR. NEJM., vol. 344, pp. 1608-1621, 2001.
- [13] 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.
- [14] 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.

J. K-J. Li, The Arterial Circulation: Physical Principles and Clinical Applications. Humana Press, 2000.

저 자 소 개

변 미 경 (정회원)



2001년 : 한라대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2006년 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

<주관심 분야> 생체신호처리, 혈관특성 분석, 패턴인식, 센서설계

한 상 휘 (정회원)



1989년 : 명지대학교 대학원 전
자공학과 (공학석사)
2002년 : 명지대학교 대학
원 전자공학과 (공학박사)
현재 : ㈜만도 중앙연구소 객
임연구원
<주관심 분야> 운전자 생체 신호
처리, 밀리파 레이더 응용, 자동차
전자장치

허 응 (정회원)



1985년 : 인하대학교 대학원 전
자공학과 (공학박사)
현재 : 명지대학교 전자공학과
교수
<주관심 분야> 회로설계, 디지털
신호처리, 한열 감별, 호흡 모니
터링 및 제어, 센서 응용