

자성 흡소자 맥진기와 용적맥파계의 맥진파형을 이용한 혈류속도 측정 연구

장덕형

(주)메디아나, 강원 원주시 문막읍 동화리 동화의료복합단지, 220-801

김담비 · 최슬기 · 이상석*

상지대학교 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 산660, 220-702

(2012년 7월 9일 받음, 2012년 8월 1일 최종수정본 받음, 2012년 8월 1일 게재확정)

요골동맥의 중심인 “관” 위치에 영구자석을 붙인 후 바로 위쪽에 자성측정용 반도체 흡소자를 장착하여 전압 신호를 검출하는 하드웨어 시스템이 적용된 집게형 맥진기 시제품을 개발하였다. 집게형 맥진기와 용적맥파계를 동시 분석하는 시스템으로 20대 나 이 임상참가자 40명 각각에 대한 맥진파형과 용적맥파형 두 피크값을 비교 측정된 결과 혈류속도가 평균 0.8 m/s로 기존 값과 거의 비슷하였다. 이로써 요골동맥파형-용적맥파형을 환자감시장치에서 제시하는 주요 임상적 주요값으로 적용할 수 있음을 제시하였다.

주제어 : 집게형맥진기, 영구자석, 흡소자, 요골동맥파, 용적맥파계(PPG), 동시 측정, 혈류속도

I. 서 론

새로운 의료 패러다임인 U(Ubiquitous; 유비쿼터스)-Health Care(헬스케어; 건강관리) 시대가 도래함에 따라 병원에서 단발성 진단 및 치료에 국한되었던 기존의 의료서비스가 이제는 실생활 전 영역으로 확대될 것으로 예상된다. U-Health Care 시대의 도래를 예견한 인텔, IBM 등 해외 글로벌 IT기업은 이미 동 사업분야에 진출 또는 사업 확장을 준비하고 있어 국내기업의 기술개발이 필요한 실정이다[1]. U-Health Care는 차세대 신성장산업으로서 중요한 뿐만 아니라 고령화 시대에 따른 노인 의료비가 급증하고 있는 우리나라 경제에서 의료비 절감의 주요 수단이 될 수 있다. 따라서 U-Health Care의 생체신호인 혈류속도를 분석 가능한 착용형 의료기기 개발 연구가 필요하다[2, 3].

현재 판매되고 있는 생체신호 측정기는 측정 센서의 위치와 신호를 읽어 들이는 시간이 제한적 요소로 존재한다. 생체신호 중 혈류속도를 모니터링 할 수 있는 가정용 의료기기는 환자들의 손목이나 팔뚝에 센서 모듈을 착용하여 가압 상태에서 자신의 심혈관계에 대한 질환 또는 건강상태가 어떠한지 판단할 수 있다. 또한 가압 없이 일정 압력을 유지한 채 측정하는 혈류속도는 비침습적으로 측정하는 것이 어렵고, 비록 측정된 값이라도 정확도가 매우 낮다. 재현성 있는 생체신호의 정확도가 낮은 경우에는 의료기기를 통한 진단 및 치료에 필요한 정보로 사용할 수 없다. 따라서 가압 없이 맥박수, 심박수, 혈류속도, 혈압 등을 간편하게 측정할 수 있는

생체신호 모니터링 의료기기의 개발은 U-Health Care 산업을 위한 필수 전제조건이다[4].

요골동맥의 주기적인 운동에 따라 요골 돌출부에 고정된 영구자석도 주기적으로 움직임으로 생성되는 자기장 변화를 흡소자가 센싱하였다. 이러한 작동원리로 개발한 손목착용 집게형 맥진기 제작 및 특성을 본 연구진은 이미 선행연구 결과로 발표하였다[5]. 본 연구에서는 손목의 요골동맥의 맥파를 측정하는 집게형 맥진기는 용적맥파를 측정하는 PPG (photoplethysmograph) 기기와 새롭게 연계하여 요골동맥파와 PPG 맥파를 동시 측정하는 기기를 개발하였다. 동시 측정된 요골동맥파와 PPG파를 분석하여 얻은 혈류속도의 특성과 그 활용성을 연구하였다.

II. 집게형맥진기 시스템 구현과 맥파의 획득

본 연구에 사용한 집게형 맥진기 시제품에 대해 상세한 묘사는 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)는 영구자석, 흡센서, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분을 보여준 시제품 사진이다. 현재 시제품에서 피부접촉 부분의 자기물질은 작은 원통형 영구자석과 맥박의 진동에 따라 쉽게 변화될 수 있도록 되어 있다. 특히 피부를 국소적으로 누르지 않기 위하여 피부 접촉 부분의 표면에 탄성이 좋은 라텍스 고무를 사용하였다. 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기의 원통모양이고, 표면에서 자기장이 약 300 Oe인 영구자석은 탄력 있는 고무의 중심 위치에 자리해 에폭시로 붙여있다. 즉, 영구자석의 원판 중심이 요골동맥의 “관” 부분에 위치하고 고르게 늘어난 상태의 라텍스 고무는 손목 피부 접촉면을 둘러싸게 하

*Tel: (033) 730-0415, E-mail: ssllee@sangji.ac.kr

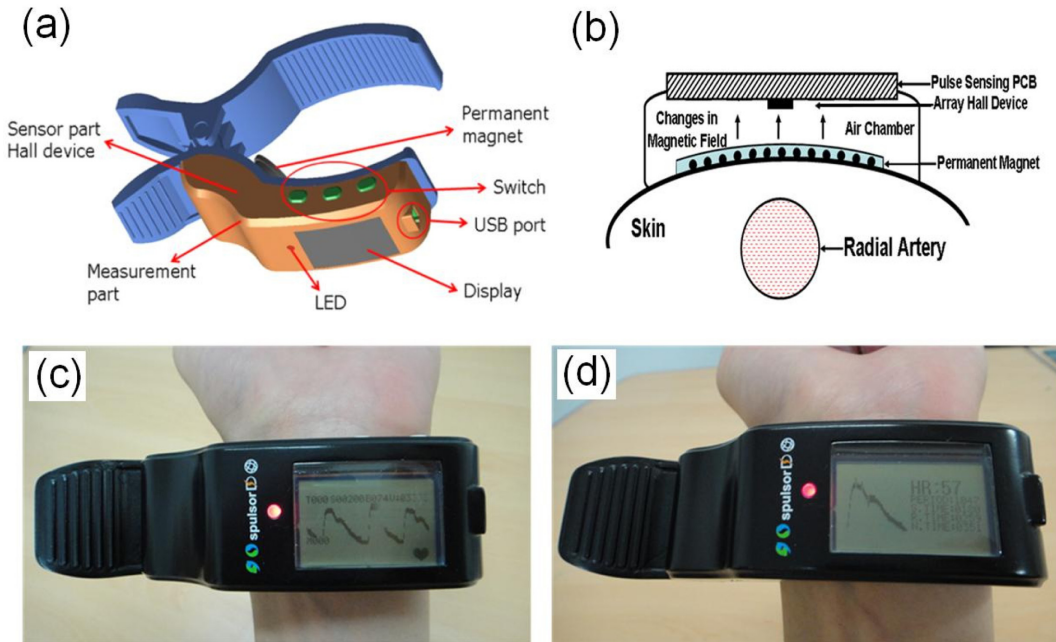


Fig. 1. (Color online) (a) The explanation of functional several parts of and (b) schematic of the basic structure of a typical clip-type pulsimeter. Here is one form of the radial artery pulsimeter's pulse-sensing and skin-contacting parts by using Hall device and permanent magnets, respectively. The pressure chamber between the skin-contacting and pulse-sensing parts is full of air. The status of working stages; (c) pulse measurement and (d) data process and results display.

였다[3-5].

홀 효과 소자와 자석 사이 변위는 대략 2.5 mm이다. 1 mm 이내에 1개의 영구 자석이 동맥 맥박에 있는 맥박 높고 낮은 진동에 의하여 상하로 움직인다. 실제 사람의 손목에 착용하여 맥파신호를 측정하는 한 예로써 집게형 맥진기 시제품의 실제 측정 모습을 Fig. 1(b)와 (c), (d)에 나타내었다.

맥동은 요골동맥의 단위 파형 당 약 1.13 mm의 최대 수직 변위를 나타낸다. 그러므로 피부에 밀착된 자석의 최대변위도 약 1.13 mm 이내로 예상을 했다. 자석은 일단 구하기 쉽고 피부 면에 접촉하기 쉬우며 측정부에 부착하기 쉬운 3 mm 지름, 1 mm 두께의 넓적한 모양의 ND 자석을 선정하였다. 자석간의 자기장 세기의 편차를 알아보기 위해 거리별로 자기장의 세기를 측정해본 결과 자석마다의 편차가 있음을 확인할 수 있었고 센서와의 거리가 가까울수록 편차가 커지며 거리가 멀수록 편차가 작아졌다. 차이가 100 Oe 이상으로 심한 부분은 2 mm 이하 부분에서 나타났으며 3 mm 이상에서는 최대값과 최소값의 차이가 45 Oe로 낮아서 자석과 센서의 거리선정 시에 3 mm 이상 거리를 유지시켜야 자석간의 편차를 줄일 수 있었다[4].

III. 집게형 맥진기와 용적맥파기의 동시측정 시스템

맥파는 심장의 물리적 특성을 보여주는 것으로 심장에서 분

출되는 혈액이 동맥을 따라 온몸으로 전파할 때 혈관에 미치는 압력 및 파동의 변화를 검출하여 그 파형을 기록한 것이다. 심장의 수축기에 심장의 좌심실에서 박출되는 혈액은 말초로 이동되며 동맥 측의 혈액 부피가 증가하게 된다. 이완기에는 말초 조직으로부터 심장 쪽으로 부분적인 혈액의 흡입이 있다. 조직에서 심장주기에 따른 혈액량의 미소한 변화는 전기적, 기계적, 광학적 방법 및 기타 방법으로 기록할 수 있다[6].

요골동맥의 “촌”, “관”, “척” 3개의 점에서 맥상 깊이와 길이의 공간정보를 가장 잘 나타내는 부분은 “관”이다. 맥진 파형신호는 요골동맥 맥진기의 센서가 “관”에 위치해 있는지와, 손목의 구부림의 각도에 민감한 영향을 받는다. 요골동맥의 “관” 위치에 잘 맞게 장착한 영구자석은 맥동의 변위에 따라 위아래로 움직여 자기장의 변화를 주게 된다. 기존의 압력센서, 적외선센서, 임피던스센서처럼 홀센서가 맥진 신호로 변환기가 되어 요골동맥 맥진기를 구현할 수 있다[7].

실제로 요골동맥과 심전도 파형과 혈류속도를 비교한 Fig. 2의 그림에서 혈류량에 따라 맥관의 굵기 변화와 피부표면으로부터 깊이 변화가 맥관의 주기적 운동으로 나타난다[6]. 또한 Fig. 2에서 심전도와 혈류속도와 요골동맥의 주기적 운동에 따른 관계를 살펴볼 때, 요골동맥의 최고점 피크값은 심전도의 이완기 싯점과 혈류속도의 최고점 피크값 근방임을 알 수 있다.

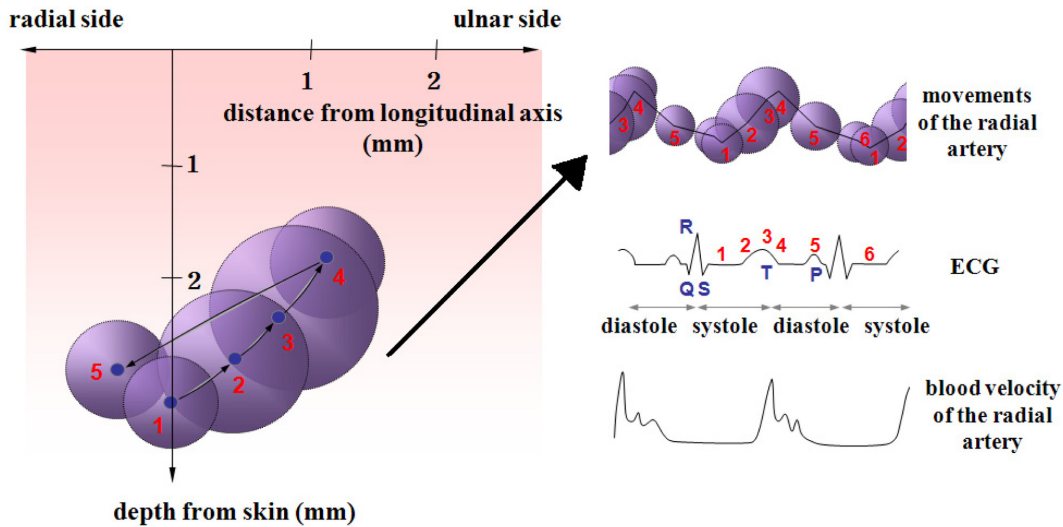


Fig. 2. (Color online) A schematic of three dimensional motion of radial artery. Relationship of arterial pulse's motion, ECG (electro cardiograph) and blood flow of radial artery according to the cardiac cycle [6].

PPG는 말초혈류 혈류량의 변화에 따른 조직에서의 광흡수도 변화를 측정하는 것으로 광학적 방법에 의해 맥파를 측정하는 것이다[8]. 피부에 발광부와 광검출기를 부착하여 피부를 투과하는 빛의 강도를 측정하면, 광검출기의 출력에 나타나는 신호는 심장 박동 주기에 따라 움직인다. PPG 신호는 수축기에 혈류량이 늘어남에 따라 조직에서 빛의 감쇠가 증가하여 신호가 감소하며 이완기에 반대로 혈류량이 줄어들에 따라 신호의 크기가 증가한다[8, 9].

용적맥파는 주로 낮은 주파수 대역의 성분이지만 개인에 따라서, 혹은 맥박수에 따라 용적맥파의 기시점 부분에서 상대적으로 높은 주파수 성분이 발생할 수 있으므로 0.05~20 Hz의 주파수 대역이 통과 될 수 있도록 설계되었다. 광센서의 적색 LED를 전류 구동하기 위해 직류 정전류원이 사용되었다. 광센서의 광 검출 소자(photo detector)에서는 들어온 빛의 양을 감지한 후 이를 전류로 변환하여 출력하는데 전류의 흐르는 방향이 서로 반대인 두 개의 출력(+, -)을 내보낸다. 이를 전압으로 변환해주기 위해 전류-전압 변환회로를 사용하였으며, 전류-전압 변환회로의 출력을 차동 증폭기에 연결하였다. 차동 증폭기에서 100배 증폭 한 후 0.05 Hz 이하의 신호는 차단하는 2차 고역 통과필터를 거친 후 5배 증폭하였으며, 20 Hz 이상의 신호를 차단하는 2차 저역 통과 필터를 사용하였다.

본 논문에서는 요골동맥 맥파와 용적 맥파를 이용하여 혈류속도를 측정하였다. 손목에 착용하는 집게형 맥진기로 얻는 요골동맥 맥파와 손가락 검지 손가락 끝에 착용한 PPG 기기로 얻는 용적맥파를 동시에 측정하여 두 맥진 파형의 피크값의 시간차를 분석하여 혈류속도를 계산하는 방법을 Fig. 3에 도식적으로 나타내었다.

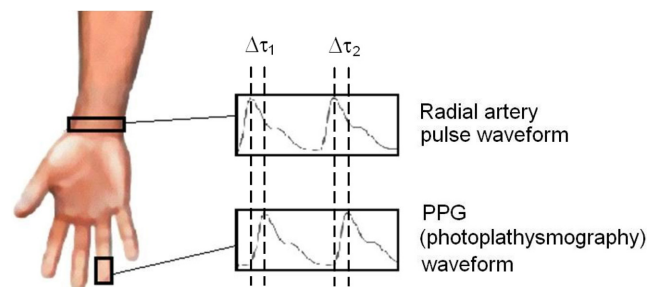


Fig. 3. (Color online) A schematic of the simultaneous measuring method of a blood velocity using radial artery pulse waveform and PPG pulse waveform.

본 논문에서 구성한 시스템의 신호처리 하드웨어를 나타내는 프로세스의 개략도는 Fig. 4와 같다. 시스템 하드웨어의 전원은 의료용 트랜스포머를 사용하여 제작되었다. 마이크로 컨트롤러는 용적 맥파와 요골동맥 맥파를 Serial 통신으로 획득한 뒤 LCD에 파형을 Display하고 RS-232 통신으로 PC에 파형 data를 전송한다.

생체신호를 측정하기 위한 시스템 하드웨어는 크게 용적 맥파 측정부, 요골동맥 맥파 측정부, 마이크로 컨트롤러부, 그리고 데이터를 저장하기 위한 PC의 네 부분으로 구성하였다.

IV. 혈류속도 측정 및 분석

심장 수축시 대동맥에 압력파가 발생하며, 이 압력파는 대동맥을 따라서 요골동맥으로 전달된다. 요골동맥에 도달하는 압력맥파는 심장에서 요골동맥까지의 거리에 따라서 도달시간에 차이가 있어 이 압력맥파가 전달되어 온 거리를 도달시간의 차이로 나눈 것으로 표시하는 방법이 맥파전달속도

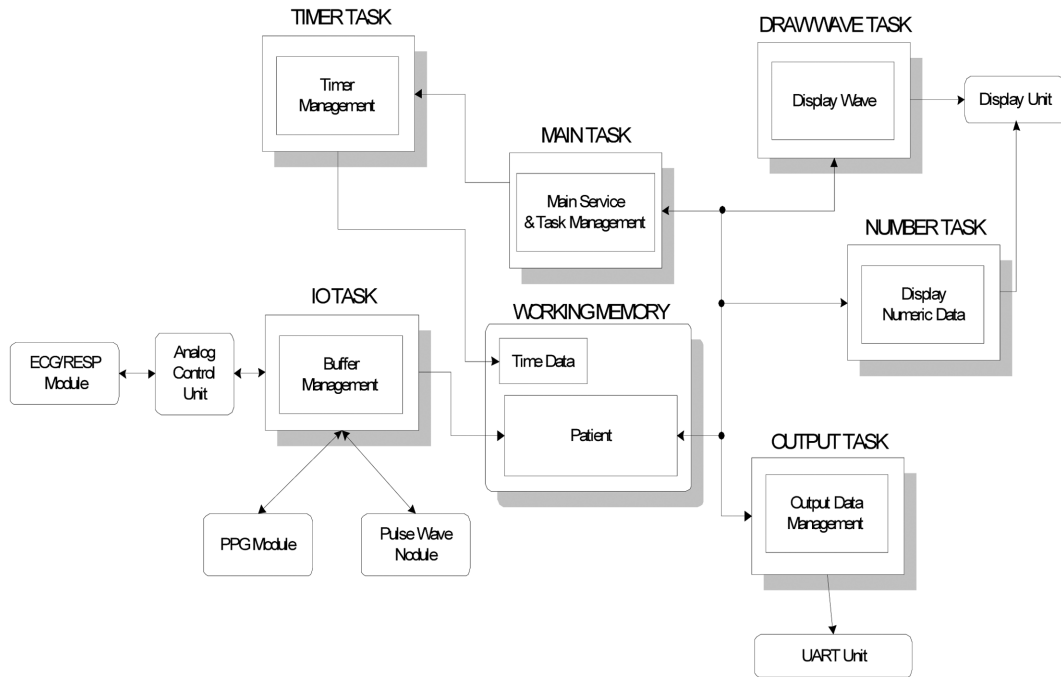


Fig. 4. Block diagram of software system for simultaneous clip-type radial artery pulsometer and PPG measurement system.

(PWV; pulse wave velocity)이다. 대체적으로 근위부에서 말초부위까지 0.8 m의 거리를 맥파가 도달하는데 약 0.25초가 걸렸다고 하면 맥파속도인 PWV는 3.2 m/s가 된다. 보통 심장으로부터의 좌우 요골동맥의 거리가 다르면 5 cm 정도 차이만 고려할 수 있으므로, 당뇨병이나 고혈압환자와 동맥경화도와 PWV간의 상관관계 및 남녀 연령별 대동맥의 PWV와 동맥 경화도는 그동안 여러 방면으로 임상연구를 통해 이루어져 왔다[10, 11]. 임상적으로 널리 알려진 동맥경화가 진행되면 동맥의 탄성도가 감소하고 경직도가 증가하여 혈류 및 PWV가 빨라지는 데서 심장을 중심으로 하여 좌우 혈관길이의 차이가 무시할 수 있음이 타당하다고 볼 수 있다.

한편 혈관 직경의 크기에 따라서 혈류의 속도는 차이가 있다. 이미 알려진 바와 같이 혈류속도는 대동맥에서 약 50 cm/s 모세혈관에서는 약 0.5 mm/s 대정맥에서는 약 25 cm/s이다. 모세혈관은 여러 곳으로 갈라져 있으므로 총단면적이 넓어져 혈류속도가 느려진다. 심박출량은 안정시에 약 5 l/min이며 온몸을 순환하는데 걸리는 시간은 약 50~60 s 걸린다. 이것은 심장의 수축력, 심장 박동수, 혈액의 점성, 혈액량 등 여러 요인과 그리고 성별, 몸의 자세, 바깥 온도 등 혈관계 이외의 요인에 따라 달라지게 한다[10-12].

흡소자가 장착된 집게형 맥진기로 얻은 요골동맥의 맥진파형과 산소포화도를 나타내는 SPO₂(oxidation saturation, pulse oximetry) 혹은 PPG로 얻은 용적맥파형을 동시에 비교한 두 파형 차이가 Fig. 5에서 보여주고 있다. 피실험자의 손목과 손가락 끝의 거리를 표시한 두 파형의 시간차를 나눈

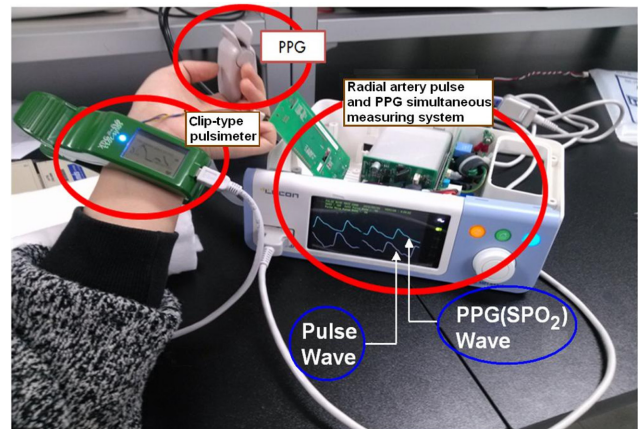


Fig. 5. (Color online) Photography of radial artery pulse wave and PPG wave obtained by the simultaneous measurements from clip-type pulsometer and PPG meter mounted with left hand wrist and finger, respectively.

값인 혈류속도를 측정할 수 있다. 이러한 실험결과를 통계적으로 임상데이터를 분석하면 추정혈압와의 상관관계를 유도할 수도 있다[4, 5].

혈류속도 측정에 대한 임상적인 방법으로 임상시험의 대상자는 상지대학교 한방의료공학과 재학생과 대학원생 및 교직원으로 남자 20명과 여자 20명을 포함하여 40명이었으며 나이는 20대 초반으로 분포되게 하였다. 실험방법은 Fig. 5에서 이미 보여 주었듯이 평안하게 앉은 자세를 취하고 왼손 손목 요골동맥의 “관” 점에 자석이 닿게 하여 맥파신호가 가장 크

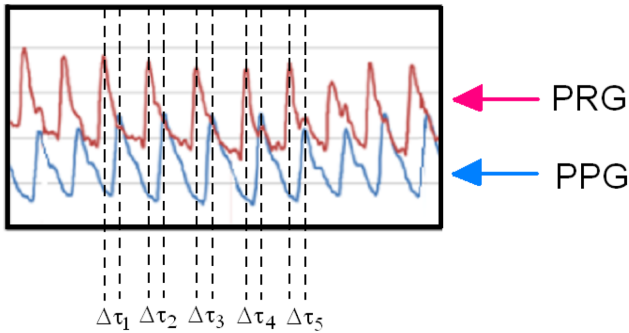


Fig. 6. (Color online) Two differently PRG (pulse of radial artery graph) and PPG signals obtained by the simultaneous measurements from clip-type pulsimeter and PPG meter mounted with left hand wrist and finger. Here $\Delta\tau_i$ is time interval measured from i th phase difference of two pulse waveforms.

게 나타나게 집게형 맥진기를 착용하였다. 동시에 왼손 검지 손가락 끝에 PPG 센서를 장착하여 용적맥파를 얻었다. 동시에 측정된 파형은 Fig. 6에 나타냈으며, 식(1)에 나타난 혈류 속도 v_B 값을 얻는데 피측정자의 손목과 손가락 사이 길이를 필요한 두 파형의 피크값의 차이인 시간으로 나누어 환산하여 대입하였다.

$$v_B = \frac{l}{\Delta\tau} \quad (1)$$

여기서 l 은 요골동맥부위의 손목과 엄지손가락 사이의 길이이고 $\Delta\tau$ 는 요골동맥 파형의 피크값과 용적맥파 피크값의

시간차이다. 실제로 $\Delta\tau$ 는 Fig. 6에서 요골동맥파인 PRG (pulse of radial artery graph) 와 용적맥파인 PPG의 두 피크 값의 5개 정도의 시간차를 평균값으로 정하였다.

20대의 40명 임상 데이터를 최고혈압, 최저혈압, 심박수, 맥박수의 크기 순서에 따라 혈류속도를 분석한 결과들을 Fig. 7의 (a), (b), (c), (d)에 각각 나타내었다. 혈류속도는 최고혈압, 최저혈압, 심박수, 맥박수에 관계없이 거의 동일한 경향성을 갖고 있다. 이러한 결과로부터 요골동맥파와 용적맥파를 동시에 디스플레이하여 측정된 평균 혈류속도는 평균적으로 약 0.8 m/s를 나타냄으로써 건강상태를 모니터링할 수 있는 생체신호가 되는 근거가 된다.

V. 결 론

본 연구에서는 손목의 요골 돌출부에 영구자석이 고정되어 요골동맥의 운동에 따라 자기장의 변화를 홀소자가 센싱하여 맥파를 나타내는 집게형 맥진기를 사용하였다. 즉, 요골동맥의 중심인 “관” 위치에 영구자석을 붙인 후 바로 위쪽에 홀소자를 장착하여 전압 신호를 검출하는 하드웨어 시스템을 적용하였다. 집게형 맥진기와 PPG를 측정하는 기기를 연계하여 요골동맥파와 용적맥파를 동시 측정하는 시스템을 개발하였고, 동시 측정된 요골동맥파와 PPG파를 분석하여 혈류속도의 측정과 활용성을 연구하였다.

집게형 맥진기와 PPG 용적맥파계 동시 측정하는 시스템으로 얻은 혈류속도를 측정한 결과 평균 0.8 m/s으로 나타났으

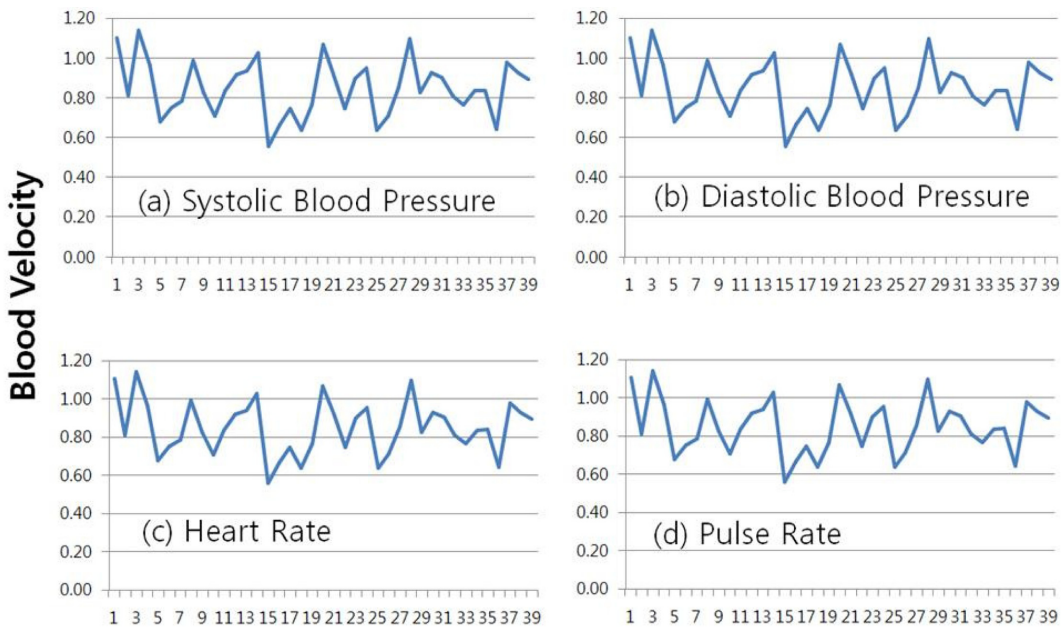


Fig. 7. (Color online) The analysis of blood velocities in ascending order of (a) systolic blood pressure, (b) diastolic blood pressure, (c) heart rate, and (d) pulse rate measured from clinical 40 participants. The average value of blood velocity is about 0.8 m/s.

며, 건강상태를 모니터링할 수 있는 중요한 생체신호가 되는 근거가 되었다. 이로써 요골동맥파형-용적맥파형을 동시에 디스플레이하는 환자감시장치에서 주요 임상적 주요 파라미터로 적용할 수 있다. 이러한 연구결과는 용적맥파와 연계하여 편리하게 비가압식을 이용한 혈류속도를 측정하고 더 나아가 맥진파형 분석 알고리즘으로 지속적인 혈압 및 맥박 측정 데이터를 표시하는 U-헬스케어 생체모니터링 시스템의 활용 가능성을 보여 주었다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부와 강원도청의 지원을 받아 각각 수행하고 있는 2012년도 3차년도 한의약선도기술과제의 한방의료기기 개발과제(B100030)와 강원도-NSW주 국제공동연구 지원사업에 대한 연구결과이며, 또한 중소기업청 대학원 계약학과 지원사업의 석사학위 논문 지원사업과 상지대학교 교내연구비(2010년)와 한방의료공학과 특성화 지원사업(2012년)에 의해 이루어진 연구 결과입니다.

참고문헌

[1] S. S. Lee, D. H. Nam, Y. S. Hong, W. B. Lee, I. H. Son, K. H.

- Kim, and J. G. Choi, *Sensors* **11**, 1784 (2011).
- [2] P. A. Shaltis, A. T. Reisner, and H. H. Asada, *IEEE Trans. Biomed Eng.* **55**, 1775 (2008).
- [3] M. C. Ahn, J. G. Choi, I. H. Son, S. S. Lee, and K. H. Kim, *J. Kor. Mag. Soc.* **20**, 106 (2010).
- [4] S.-S. Lee, I.-H. Son, J.-G. Choi, D.-H. Nam, Y.-S. Hong, and W.-B. Lee, *J. Kor. Phys. Soc.* **58**, 349 (2011).
- [5] I.-H. Son and S.-S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.* **21**, 104 (2011).
- [6] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, *The Arterial Pulse*, 1st Ed.; Lea & Febiger, Philadelphia, PA, USA (1992).
- [7] S. S. Lee, M. C. Ahn, and S. H. Ahn, *J. Magnetism* **14**, 132 (2009).
- [8] John Allen, *Photoplethysmography and its Application in Clinical Physiological Measurement* **28**, R1 (2007).
- [9] 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.
- [10] A. Fronek, *Noninvasive diagnosis in vascular disease*, McGraw Hill, New York (1989).
- [11] R. Asmar, A. Benetos, G. M. London, C. Hughe, Y. Weiss, J. Topouchian, et al., *Blood Pressure* **4**, 48 (1995).
- [12] Q. Yu, J. Zhou, and Y. C. Fung, *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.* **265**, 52 (1993).

Measurement of a Blood Velocity by using Photoplethysmograph and Radial Artery Pulse Wave Equipped with Magnetic Hall Device

Deok-Hyeong Jang

Mediana Co., Ltd., Dongwha Medical Instrument Complex, 1650-1, Dongwha-ri Munmak-eup, Wonju-si, Gangwon-do 220-801, Korea

Dam-Bee Kim, Suel-Gi Choi, and Sang-Suk Lee*

Dept. of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Woosan-dong, Wonju-si, Gangwon-do 220-702, Korea

(Received 9 July 2012, Received in final form 1 August 2012, Accepted 1 August 2012)

One prototype product of clip-type pulsometer equipped with magnetic field sensing semiconductor Hall device after one permanent magnet attached "Chwan" position in center of a radial artery was developed. The clip-pulsimeter was composed of the hard ware system measuring to voltage signals. To measure the blood velocity, the radial artery pulsometer is simultaneously connected the PPG (photoplethysmograph). Analysis and comparison of two pulse waves data has done obtained from a clinical test of forty subjects of 20 ages. The value of a blood velocity simultaneously measured from a radial artery puls wave and PPG is an average value of 0.8 m/s. The usage of this research results is possible to store the biomedical signals for health care.

Keywords : clip-type pulsimeter, permanent magnet, Hall device, radial artery pulse wave, PPG (photoplethysmograph), simultaneous measurement, blood velocity