≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society, Volume 22, Number 1, February 2012 http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2012.22.1.027

영구자석-홀 맥진센서를 이용한 양손 동시측정 맥진파형 비교 연구

유기두 · 황성기 · 이상석*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동 220-702

(2011년 11월 23일 받음, 2012년 2월 2일 최종수정본 받음, 2012년 2월 2일 게재확정)

영구자석과 홀소자로 구비된 두 대의 집게형 맥진기 시제품을 이용하여 비가압 상태에서 양손 요골동맥의 맥진파형을 동시측정한 신호들을 비교 분석하였다. 20대 남성 피실험자 22명을 대상으로 측정된 오른손잡이와 왼손잡이의 두 맥진파형들은 위상차를 갖고 뚜렷하게 구별되었다. 서로 다른 빠름과 늦음으로 인해 두 개의 맥진파형들의 위상차 부호는 맥파전달속도가 오른손과 왼손 혈관의 총길이 보다는 자주 사용하는 팔의 근육 특성에 의존한다는 분석이 가능하였다.

주제어 : 영구자석-홀 센서, 집게형 맥진기, 양손 맥진파형, 동시측정, 맥파전달속도

I. 서 론

재현성 있는 생명 정보의 정확도가 낮은 경우에는 의료기기를 통한 진단 및 치료에 필요한 정보로 사용할 수 없다. 맥박수, 심박수 및 혈압을 모니터링 할 수 있는 가정용 혈압기는 환자들의 손목이나 팔뚝에 착용하여 가압한 상태에서 자신의 건강상태가 어떠한지 판단할 수 있다[1, 2]. 따라서 간편한 손목 착용형 혈압 모니터를 이용한 정밀한 맥박수, 심박수, 혈압의 측정은 곧 다가올 유비쿼터스 헬스케어 산업을 위한 필수 전제조건이다[3, 4]. 재현성과 신뢰성이 있는 한방진단기기는 객관적인 임상자료가 요구된다. 맥진파형을 찾는 시간을 극소화 하고, 휴대용 맥진기가 진단 기구로 널리 보급되기 위해 홀소자를 이용한 집게형 맥진기 개발이 필요하다[5, 6].

한의학은 한국에서 고대로부터 발달해 온 의학으로서 수천년 임상의 결과물이라 할 수 있다. 한의학의 중요한 진단 방법의 하나인 맥진은 요골동맥의 촌, 관, 척을 짚어 환자의 내부 장기의 상태를 판단한다. 맥진은 의사마다 주관적인 판단으로 이루어지고 있고, 이를 두고 “한의학은 과학적이다 또는 비과학적이다”라는 논쟁이 많이 일어난다. 맥진이 보다 과학적인 접근을 통한 정확한 판단이 필요한 이유이다. 최근에는 이러한 문제점들을 토대로 다양한 방식의 맥진기가 개발되고 있다. 이처럼 한의학을 현대화하려는 노력에도 불구하고 맥진기에는 객관적이지 못한 오류가 존재한다.

한의학적 6맥(오른손, 왼손 각각의 촌, 관, 척 6부위)는 각 의미하는 바가 다르다. 기존의 맥진기는 한쪽 맥만 진단하는 한계점이 있다[7, 8]. 실제로 양손의 맥을 모두 진단할 수 있는 방법은 있다. 왼손의 맥파를 얻고 시간차를 두어 오른손의 맥파를 얻으면 된다. 하지만 각기 다른 시간대에 획득한 맥파들로 비교하는 것은 객관적이지 못하다. 또, 심장은 우리 몸 왼쪽에 치우쳐 있다. 우리는 맥파가 심장으로부터 양손 요골동맥에 도달하는 시점이 왼쪽이 빠를 것이라는 가설을 세우고 실험에 임했다. 이러한 양쪽의 맥파 패턴 분석의 연구가 임상응용에 중요함을 비추어 볼 때 매우 드문 것이 사실이다. 양손의 맥파 상태를 비교 분석하고 기존의 맥진기의 발전될 방향과 가능성을 제시하는 것이 매우 중요한 요소이다.

본 연구는 홀소자가 비침습(non-invasive) 의료용 맥진센서로 장착된 손목의 요골동맥 위치에 비가압형(cuffless type) 집게형 맥진기를 사용하여 양쪽 손목의 요골동맥 위치에서 양손 맥진파형을 동시에 측정하였다. 요골동맥의 중심부에 고정한 홀 소자로부터 얻은 두 개의 맥진파형의 위상차가 맥파전달속도의 차이로 보고 왼손과 오른손의 동맥혈관 특성으로 해석하였다.

II. 실험방법

본 연구에 사용한 집게형 맥진기 시제품은 영구자석, 홀센서, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분으로 구성되어 있다. 특히 피부를 국소적으로 누르지 않기 위하여 피부 접촉 부분의 표면재질로는 탄성이 좋은 라텍스 고무를 이용하였다. 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기의 원통모양이고, 표면에서의 자기장이 약 300 Oe인 영구자석은 탄력 있는 고무의 중심 위치에 자리해 에폭시로 고정시켰다[9, 10]. 즉, 영구자석의 원판 중심이 요골동맥의 “관” 부분에 위치하고 고르게 늘어난 상태의 라텍스 고무는 손목 피부 접촉면을 둘러싸게 하였다. 요골동맥의 피부와 접촉한 원통형 영구자석은 맥박의 진동에 따라 쉽게 위치가 움직일 수 있게 되어 있다. 본 실험에 사용된 양손 측정 맥진기의 핵심부품인 홀 효과

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

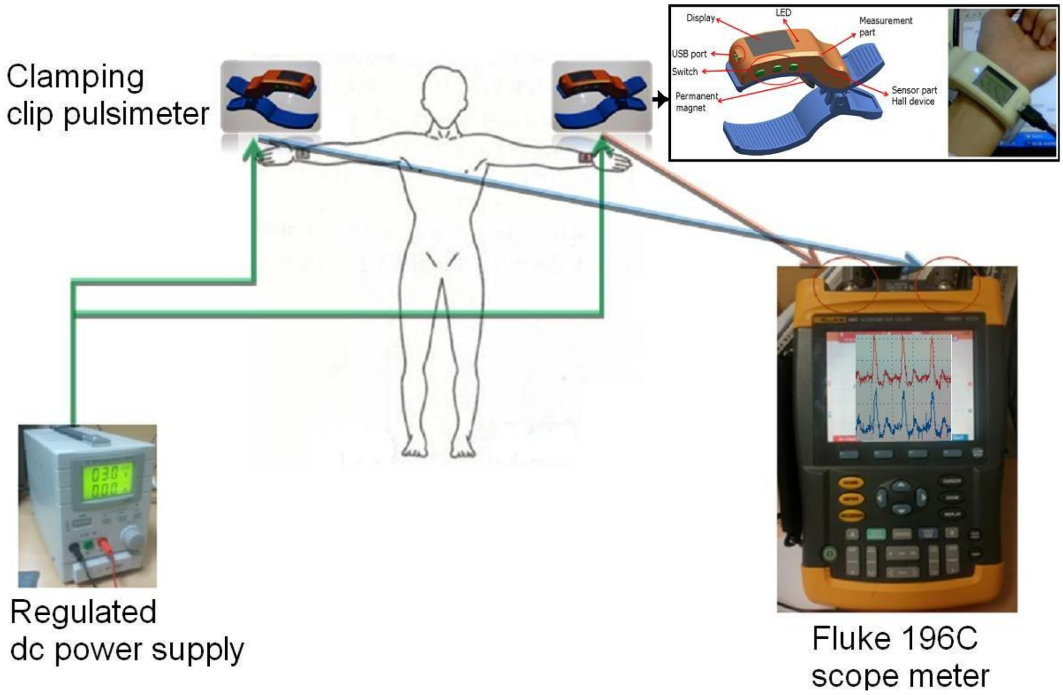

Fig. 1. (Color online) Schematic diagram of simultaneously both handed pulse diagnostic system by using Hall device clip-type pulsimeter with real picture. A inset is the schematic and the real measuring feature of the prototype of a clip type pulsimeter equipped with a Hall effect device passed signals through the voltage detecting hardware system. A voltage value of the regulated dc power supply to operate two pulsimeters is 3.0 V. The digital oscilloscope to observe two pulse waveforms is Fluke 196C scope meter.

소자와 자석 사이 변위는 2.5 mm이다. 1 mm 이내에 1개의 영구 자석이 동맥 맥박에 있는 맥박 높고 낮은 진동에 의하여 상하로 움직인다.

실제 사람의 양 손목에 착용하여 맥파신호를 측정하는 한 예로서 집게형 맥진기 시제품의 실제 측정 모습과 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 도시한 것처럼 맥진파형 획득에 필요한 전원공급기와 두 개의 맥진파형을 동시 디스플레이하는 오실로스코프는 Fluke사의 196C scope meter를 사용하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 집게형 맥진기 구동에 필요한 전압을 제공하는 dc 정전압공급기, 영구자석과 홀소자 자기장 센서가 구비된 집게형 맥진기 2대로 양손의 맥을 감지하였고, 오실로스코프에 나타난 양손의 맥진파형들을 비교 분석하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

영구자석과 홀소자가 구비된 집게형 맥진기를 이용하여 측정한 건강한 남성 22명을 대상으로 실험이 이루어졌고 실험 1시간 전부터 금연 및 금식, 하루 전부터는 금주를 하였다. 측정부위는 양손 요골동맥의 촌, 관, 척 부위 중 중심부분인 "관"을 측정하였다. 맥진파형의 한 점의 전형적인 시간에 따른 신호는 측정시간(초)에 따른 작은 영구자석의 위치인 변동하는 맥진파형 신호 분석을 통해 획득하였다. 집게형 맥진기를 통해 왼쪽 손목 요골동맥에서 얻은 맥진 파형과 동시에 오른쪽 손목 요골동맥에서 얻은 맥진 파형을 비교하여 Fig. 2에 나타내었다.

22명의 임상 참가자의 대표적인 맥진 펄스신호를 선택하여 8개의 주기를 통해 표시한 Fig. 2에서 맥진파형의 주맥파 피크값 위상 차이가 뚜렷하게 나타났다. 이러한 현상이 기계적인 오차에 의한 것인지 확인하기 위해 양손 측정시 맥진기의 교차 및 오실로스코프 두 채널의 교차를 시도해 보았으나 기

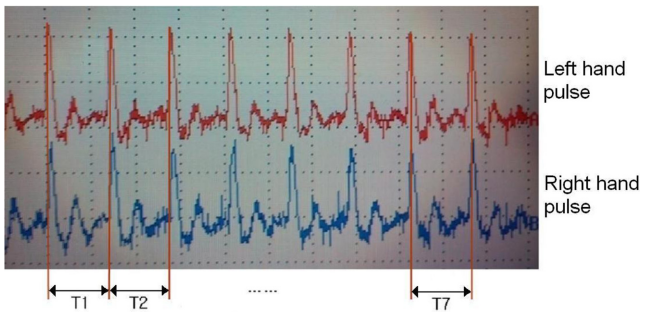

Fig. 2. (Color online) Two arterial pulse signals obtained by the simultaneous measurements using both handed clip-type pulsimeter mounted both on left hand and right hand. Here T1, T2, …, T7 are seven periods measured from eight main peaks of pulse waveform with a phase shift of right hand pulse.

구 측정상의 오류를 발견할 수 없었다. 따라서 두 맥진파형의 위상차는 양손 혈관의 맥파전달속도나 혈관특성의 차이에 따른 맥관의 운동에 의해 확실하게 나타난 현상으로 판단하였다.

Fig. 2에서 획득한 맥진파형의 입력신호를 자동적인 0의 설정, 노이즈 제거, 1000 points/s의 출력 데이터를 획득하여 PC에서 분석할 수 있는 비쥬얼(visual) C^{++} 프로그램이 내장되게 설계하였다. 즉, 시간에 따른 맥진파형에서 두드러진 한 점이 어디인지 선택한 후 집게형 맥진기를 통해 검출된 5개 이상의 반복되는 맥파신호를 정하여 본 연구팀에서 자체 개발한 사용자 메뉴얼으로 계산할 수 있었다. 프로그램의 기본 기능을 이용한 과정은 다음과 같이 4단계를 지나도록 하였다. ① 집게형 맥진기에서 측정한 데이터를 기반으로 맥파를 보여 준다. ② 측정한 기반의 데이터로 특정한 데이터를 계산한다. ③ 측정한 데이터를 저장한다. ④ 측정한 데이터를 차후에 불러와서 다시 보여 준다. ⑤ 측정중인 그래프는 자동적으로 스케일이 변환되어 그래프에 출력된다.

PC에서 데이터의 필터링 과정을 통해 양손 요골동맥에서 동시 측정한 맥진파형 모양과 주 피크 값 시간차(Δτ)을 Fig. 3에 나타내었다. 22명의 임상 참가자에 대한 양손 맥진파형 주 피크 사이에 나타난 위상차 8개 중 노이즈가 가장 적은

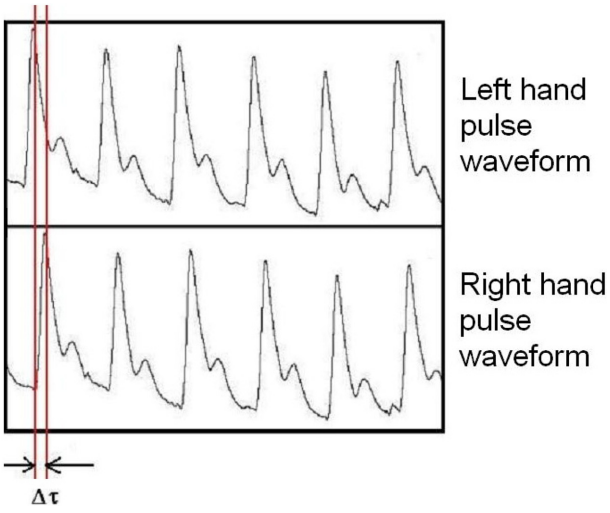

Fig. 3. (Color online) Two differently arterial pulse signals obtained by the simultaneous measurements from both clip-type pulsimeter mounted with left hand and right hand after filtering process from PC interface dada program. Here Δτ is time interval measured from a phase difference of two pulse waveforms.

5개를 선별하여 x축 시간 값들을 Table I에 나타내었다. 모든 임상 참가자의 양손 맥진파형 데이터에서 산출된 위상차 ms 단위의 시간차 Δτ 값은 정확도 관점에서 ± 5 % 이내의 오차

Table I. Clinical data obtained from 22 participants. Time intervals between two main peaks calculated by two differently simultaneous measurements from both handed clip-type pulsimeter mounted with left hand and right hand after filtering process from PC interface dada program.

CN[1)]	Age	$\Delta\tau_1$ (ms)	$\Delta\tau_2$ (ms)	$\Delta\tau_3$ (ms)	$\Delta\tau_4$ (ms)	$\Delta\tau_5$ (ms)	$\Delta\tau_{ave}$ (ms)	EPWV[2)] (m/s)
1	20	7.5	7.5	15.0	17.5	7.5	11.0	4.50
2	20	30.0	22.5	32.5	25.0	32.5	28.5	1.75
3	20	7.5	7.5	7.5	10.0	7.5	8.0	6.25
4	20	5.0	10.0	7.5	5.0	12.5	8.0	6.25
5	20	10.0	10.0	15.0	10.0	7.5	10.5	4.75
6	20	5.0	2.5	2.5	7.5	2.5	4.0	12.50
7	20	7.5	5.0	5.0	2.5	7.0	5.4	9.25
8	20	15.0	12.5	15.0	7.5	15.0	13.0	3.80
9	20	10.0	12.5	10.0	10.0	7.5	10.0	5.00
10	21	17.5	15.0	17.5	15.0	12.5	15.5	3.20
11	23	15.0	12.5	17.5	20.0	20.0	17.0	2.95
12	23	15.0	10.0	17.5	15.0	20.0	15.5	3.20
13	23	17.5	12.5	17.5	20.0	17.5	17.0	2.95
14	23	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	3.30
15	27	12.5	12.5	15.0	20.0	17.5	15.5	3.20
16	28	12.5	10.0	17.5	10.0	10.0	12.0	4.15
17	20	−2.5	−7.5	−2.5	−5.0	−5.0	−4.5	−11.10
18	20	−10.0	−10.0	−12.5	−15.0	−10.0	−11.5	−4.30
19	26	−7.5	−10.0	−7.5	−10.0	−7.5	−8.5	−5.90
20	28	−10.0	−7.5	−15.0	−15.0	−17.5	−13.0	−3.85
21	29	−5.0	−7.5	−7.5	−12.5	−7.5	−8.0	−6.25
22	30	−15.0	−12.5	−20.0	−15.0	−15.0	−15.5	−3.20

[1)]Clinical Participant Number.
[2)]Estimated Pulse Wave Velocity.

범위로 정하였다.

본 연구는 초기에는 심장으로부터 왼손 요골동맥까지의 거리가 오른손 요골동맥까지의 거리보다 더 짧고, 맥파 또는 왼손 요골동맥에 먼저 도달할 것이라는 가설을 세웠다. 하지만 Table I에 보여준 22명의 피실험자 중 6명에게서 오른손 요골동맥에 맥파가 먼저 도달하는 음(–)의 시간차 $\Delta\tau$를 보여준 실험결과 값을 얻었다. 다시 실험의 처음으로 돌아가 실험에 어떠한 문제점이 있나 확인해 보았고, 처음 세운 가설은 틀리다는 것을 확인하였다. 실제로 Fig. 4(a)의 인체에 있는 주 혈관의 모식도를 볼 때, 혈관의 길이는 추정이 불가능하다 [11, 12].

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(PWV; pulse wave velocity)이다[13]. 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, 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.

왼손 요골동맥의 맥파가 오른손 보다 먼저 도달한 위상차가 양의 값을 가진 15명과 오른손 요골동맥이 먼저 도달한 6명 사이에 어떠한 차이가 있나 살펴보게 되었다. 오른손 요골동맥이 먼저 뛴 피실험자들에게서 왼손잡이 또는 양손잡이라는 공통점을 발견하였다. 오른손잡이, 왼손잡이와 양손잡이를 기준으로 실험 군을 다시 나눠 본 결과 그 차이가 Fig. 4(b) 뚜렷하게 나타났다. 즉, 오른손잡이 15명 모두 왼손 요골동맥이 먼저 뛰었고 왼손잡이 4명의 경우 모두 오른손 요골동맥이 먼저 뛰었다. 그리고 양손잡이 3명의 경우 왼손 요골동맥이 먼저 뛴 1명과 오른손 요골동맥이 먼저 뛴 2명으로 나타났다. 이는 근육의 양이 맥파가 전달되는데 방해 요인이 된다고 추정할 수 있다.

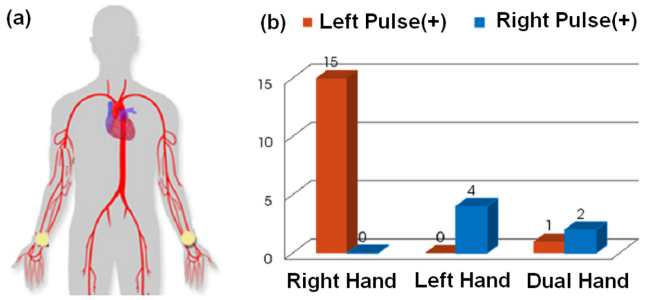

Fig. 4. (Color online) (a) Cardiovascular circulatory system for the arteries. The blood leaves the heart to all parts of the body by the arteries. (b) Histogram of data analysis left and right hand's pulse signal measured from clinical 22 participants.

Fig. 4(b)는 양쪽손 요골동맥의 동시측정 맥진파형을 분석한 22명의 임상데이터의 최종 분석결과이다. Fig. 4(a)에서 나타내었듯이 심혈관 순환계에서 심장으로부터 나오는 동맥의 구조와 길이는 몸의 중앙인 심장을 중심에서 거의 대칭적이며 혈관의 굵기는 동일한 모양으로 연결되어 있다고 가정한다면, 왼손과 오른손 차이는 양쪽 손 운동에 따른 팔의 근육정도에 따라 혈관의 탄성에 영향을 받는다고 볼 수 있다. 임상데이터 Table I를 분석한 Fig. 4(b)의 막대그래프를 볼 때, 오른손잡이는 왼손 맥파신호가 심장으로부터 더 빨리 요골동맥으로 도달하고 있다. 왼손잡이는 오른손 맥파신호가 심장으로부터 더 빨리 요골동맥으로 도달하고 있다. 따라서 잘 사용하지 않는 손 쪽의 혈관의 탄성도가 높아 혈류속도가 높아지고, 잘 사용하는 쪽의 혈관의 특성인 탄성도는 꾸준한 활동과 운동으로 인해 혈관의 유연성이 좋아 혈류속도가 비교적 낮게 된다[14]는 분석결과와 실험데이터 결과는 매우 밀접한 관계가 있을 것으로 여겨진다.

IV. 결 론

영구자석과 홀소자로 구비된 두 대의 집게형 맥진기 시제품을 이용하여 비가압 상태에서 양손 요골동맥의 맥진파형을 동시에 측정한 후 두 신호들 을 비교 분석하였다. 20대 남성 피실험자 22명을 대상으로 오른손잡이와 왼손잡이의 두 맥진 맥진파형 구별이 뚜렷한 위상차를 확인하였다. 위상차의 부호로부터 얻어지는 두 개의 맥진파형이 맥파 전달속도가 서로 빠름과 늦음을 나타내며, 이는 오른손과 왼손 혈관의 길이 보다는 근육 양에 중대하게 의존한다는 해석이 가능하였다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부와 강원도청의 지원을 받아 각각 수행하고 있는 2011년도 2차년도 한의약선도기술과제의 한방의료기기 개발과제(B100030)와 강원도-NSW주 국제공동연구에 대한 연구결과이며, 일부는 원주시가 지원한 양한방복합의료기기 전문인력양성사업 중 취업역량 강화 졸업설계 지원사업에 의해 이루어진 것입니다.

참고문헌

[1] S. S. Lee, M. C. Ahn, and S. H. Ahn, J. Magnetics. **14**, 132

(2009).
[2] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, 1st Ed., Lea & Febiger, Philadelphia (1992).
[3] S. W. Kim, Y, G, Choi, H. S. Lee, D. H. Park, D. G. Hwang, S. S. Lee, G. W. Kim, S. G. Lee, and S. J. Lee, J. Appl. Phys. **99**, R908 (2006).
[4] S. D. Choi, S. W. Kim, G. W. Kim. M. C. Ahn, M. S. Kim, D. G. Hwang, and S. S. Lee, J. Magn. Magn. Mater. **310**, e983 (2007).
[5] Q. Yu, J. Zhou, and Y. C. Fung, Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. **265**, 52 (1993).
[6] M. C. P. Carrasquero, L. M. H. Bemard, H. Kobori, Y. Ozawa, K. S. H. Smith, L. L. Hamm, and L. G. Navar, Hypertension **44**, 223 (2004).
[7] 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).
[8] M. C. Ahn, J. G. Choi, I. H. Son, S. S. Lee, and K. H. Kim, J. Kor. Mag. Soc. **20**, 106 (2010).
[9] I. H. Son, K. H. Kim, J. G. Choi, D. H. Nam, and S. S. Lee, IEEE Trans. Magn. **47**, 3063 (2011).
[10] 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).
[11] A. L. Kierzenhaum, Mosby Inc., St. Louis (2002).
[12] M. Soon, 3rd Ed., Chung-Ku Publishing Co., Korea (2002).
[13] S. H. Baek, Clinical Vascular Medicine, Korean Vascular Research Working Group (2009) pp. 109-124.
[14] H. Y. Park, S. Y. Lee, S. W. Cho, S. U. Kwon, J. Namgung, J. H. Do, and W. R. Lee, Korean Circulation J. **36**, 393 (2006).

Comparison of Simultaneously Measured Pulse Waveforms from Both Hands using Permanent Magnet-Hall Pulsimeter Sensor

Gi-Doo Yoo, Sung-Gi Hwang, and Sang-Suk Lee*
Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 23 November 2011, Received in final form 2 February 2012, Accepted 2 February 2012)

Two radially arterial pulses of both hands using the prototype of a clamping clip pulsimeter equipped with permanent magnet and Hall device are compared and analyzed. The phase difference of two pulse wave signals is dominantly presented from the simultaneous measuring clinical pulse wave signals for twenty two male participants at their 20's. It is possible to analyze that the fast and slow pulse wave for right hand and left hand depend on the muscle property of arms rather than the total length of blood vessel due to cardiovascular circulatory system.

Keywords : permanent magnet-Hall sensor, clip-type pulsimeter, pulse waveforms of both hands, simultaneous measurement, pulse wave velocity