

홀센서 집게형 맥진기 요골동맥파에 FFT를 적용한 호흡수 추출 연구

조현성 · 이상석*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원도 원주시 우산동, 220-702

(2012년 10월 8일 받음, 2012년 10월 17일 최종수정본 받음, 2012년 10월 23일 게재확정)

영구자석과 반도체 홀센서가 구비된 집게형 맥진기로 얻은 맥진파형에 고속 푸리에변환(FFT)을 적용하여 생체신호인 호흡수를 추출하였다. 추출된 호흡수는 맥진파형의 형태가 항상 변화하는 요인에 의존하는 심장의 운동에 대한 오차까지 고려하였다. 인위적인 호흡수 템포 15, 20, 30, 40, 50에 각각 측정된 맥진파형의 FFT 스펙트럼에서 피크값과 일치하는 주파수 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, 0.41 Hz와 일치하였다. 100 s, 200 s, 300 s 동안 얻은 맥진파형 데이터에서 호흡성분 추출 알고리즘을 적용한 결과, 시간이 긴 300 s에서 FFT 스펙트럼 피크가 가장 크게 뾰족해지는 결과를 얻었다. 집게형 맥진기가 인체의 물리적인 영향을 주는 호흡수를 추출해 내는데 유용한 기기임을 확인하였다.

주제어 : 집게형 맥진기, 영구자석, 홀센서, 요골동맥, 맥진파형 고속 푸리에변환(FFT), 호흡수, 템포, 추출 알고리즘

I. 서 론

인간의 기본수명이 증가하면서 전 세계적으로 고령화가 진행되어 가고 있다. 동시에 의료에 대한 관심과 기술이 높아지면서 동양 의학인 한방의료공학이 새롭게 재조명되면서 한의학 진단분야에서 맥진에 대한 과학화와 표준화 및 객관화의 필요성이 요구되고 있다[1]. 한의학에서 정의하는 맥진 파형은 수십 가지가 된다. 그 중에서 현재 과학적으로 검증된 맥진파는 소수에 불과하다. 맥의 빠르기를 이용하여 한의학적인 맥을 측정하는 기기로 현재 판매되는 맥진기에 사용된 프로그램에 맥진파 진단 분석 알고리즘이 들어가 있다[2, 3]. 하지만 환자감시 장치에 표시되는 생체신호 중 하나인 호흡수는 따로 측정하여 분석하는데 하드웨어적인 불편함이 존재하므로 한방의료기기에서 호흡수와 관련한 진단항목 보여 주는 맥진기의 개발이 절실히 필요하다.

건강한 사람들은 물리적인 폐의 움직임으로 인한 복잡한 양상으로 심박동수 변이(Heart rate variability; HRV)를 보이는데, 이것은 생체의 항상성 유지를 위한 반응을 반영한다고 볼 수 있다[4, 5]. 요골동맥의 주기적인 운동에 따라 요골 돌출부에 고정된 영구자석의 주기적인 움직임에 의한 자기장 변화를 홀소자가 센싱하는 집게형 맥진기를 이용하여 맥진파를 측정할 수 있다. 이러한 작동원리가 적용된 손목착용 집게형 맥진기를 이용하여 얻은 생체신호인 혈류속도와 맥파전달속도를 각각 측정한 연구결과를 본 연구진은 이미 발표하였다[6, 7].

집게형 맥진기 측정의 다양성에 대한 가능성을 염두에 둔다면 요골동맥을 누르는 압력이 강한 압력소자가 포함된 맥

진기 센서는 광용적맥파(photoplethysmography; PPG) 보다 세밀한 특성을 가지고 있기 때문에 주파수 분석을 함으로써 추출되는 호흡수는 보다 정확할 것으로 사료된다[8]. 물리적인 폐의 움직임인 생리학적 현상에서 맥진파 데이터 처리로 주파수 분석을 통하여 호흡수에 대한 정보를 줄 것이라고 생각된다.

0.1 Hz 내외의 속도로 호흡하도록 바이오피드백 훈련을 하면 호흡동성부정맥(Respiratory sinus arrhythmia; RSA)이 극대화되면서 심박동수 변이의 강도를 증가시킨다[9, 10]. 즉, 호흡주기에 따라 심박동이 증가하거나 감소하는데, 흡기시에는 교감신경의 긴장 항진으로 인해 심박 수가 증가하며, 호기시에는 미주신경의 긴장 항진으로 인해 심박수가 감소하는 생리학적 현상인 RSA을 본 연구에서 사용하였다.

심장과 같은 속도로 구현되는 맥진파의 분석에 있어서 맥진파형이 변화한다는 것은 잘 알려져 있지만, 변화 요인에 대한 오차까지 고려하여 분석하는 방법에 대한 연구결과는 아직 발표되지 않았다. 본 연구에서는 기본적으로 인체가 행하는 호흡이 맥진파에 미치는 영향과 새로운 호흡신호를 추출 방법을 고안하여 신뢰성과 정확성을 위해 43명의 피실험자 데이터를 확보하여 그 결과를 분석하였다.

본 연구에서는 맥진기를 이용하여 인체의 호흡 주기 안에 맥박수의 값에 따라 결정되는 지맥(호흡 주기당 2~3회), 삭맥(호흡 주기당 6~7회)을 구현하는 방법을 제시한다. 자성을 측정하는 홀소자로 센싱한 요골동맥의 맥진파를 주파수 분석으로 데이터 처리하였고, 이로부터 맥진파에 대한 호흡신호의 영향을 역 이용하여 호흡수를 추출하는 방법을 적용하였다. 집게형 맥진기에 구비되어 있는 홀센서를 통하여 수신되는 신호에서 얻은 맥진파 데이터 처리를 주파수 분석을 이용하여 추출한 호흡수 성분을 인위적인 호흡수와 비교하였다.

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

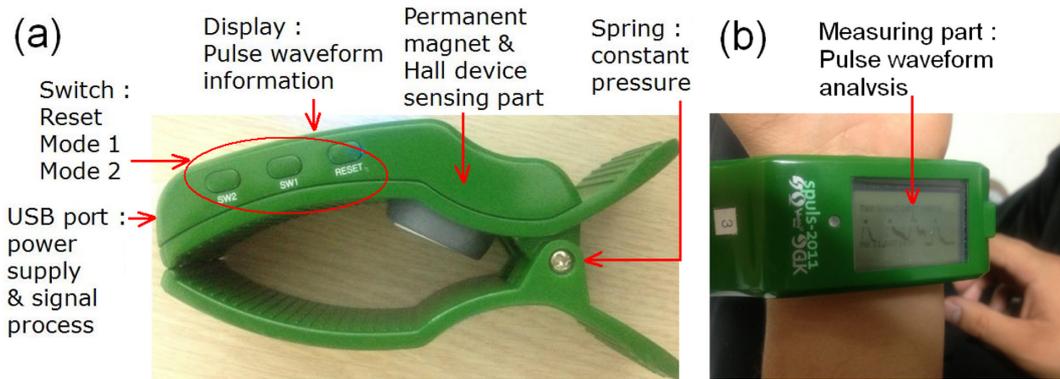


Fig. 1. (Color online) (a) The notation and function of several major parts and (b) the measurement process of acquisition pulse signals by a real clip-type pulsimeter.

II. 홀센서가 구비된 집게형맥진기의 특성

집게형 맥진기에 대한 영구자석, 홀센서, 측정 부분, LED, 디스플레이, USB port, 스위치 부분을 Fig. 1(a)에 나타내었다. 집게형 맥진기의 접촉 부분의 자기 물질은 작은 원통형 영구자석과 맥박의 진동에 따라 쉽게 변화 될 수 있도록 되어 있다. 특히 피부를 국소적으로 누르지 않기 위하여 피부 접촉 부분의 표면에 탄성이 좋고 인체 피부에 적합한 실리콘 고무 하우징을 사용하였다. 이 고무 하우징의 중심부에는 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기 원통모양의 영구자석 표면에서 1 mm 떨어진 곳에서 자기장이 약 150 Oe를 갖도록 하였다. 영구자석은 요골동맥의 “관” 부분에 위치하도록 실리콘 고무 원판 중심에 고정시켰다. 손목 피부에 접촉하는 실리콘 고무가 영구자석 중심으로 고르게 늘어날 수 있도록 측정부 위치를 조정하였다[11, 12]. Fig. 1(b)는 실제 사람의 손목에 착용하여 맥파신호를 측정하는 모습을 보여준 사진이다.

집게형 맥진기에 사용한 홀센서는 자기장의 세기에 선형적인 특성을 갖고 감도가 좋은 Allegro사의 A1395 Linear Type을 사용하였다[11, 12]. A1395형 홀소자의 전기적 특성은 입력전압에 따라 출력전압이 0.1~3.2 V 영역 범위에서 선형적 나타내며, 단안정상상태 출력(quiescent output)은 1.65 V를 가진다. 그리고 자기장 세기가 선형적으로 비례하는 출력 신호를 내보내며 10 mV/Oe의 감도를 갖는다. 집게형 맥진기의 홀센서에 사용한 전원은 3.2 V 이므로 최대로 센싱할 수 있는 자기장은 155 Oe(= 3.3 ~1.65 V)/(mV/Oe)까지의 센싱이 가능하다. 그러므로 자석과 센서 사이 거리는 자석의 자기장 세기가 155 Oe 이하 값을 갖는 거리를 유지하였다.

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. 원통형(크기: $\phi 3 \times 1T$) Nd-

Fe-B-type MAGNET(Taeyang Magnetech Co., Ltd., Grade: N35, Surface field: $B_r = 1.2 \text{ kOe}$) 간의 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 거리선택 시에 3 mm 이상 거리를 유지시켜야 자석간의 편차를 줄일 수 있었다[4, 13].

III. 홀센서 맥진파형의 FFT 분석

본 연구에 사용된 맥진파형의 주파수 분석기기는 BIO PAC Systems, INC.의 MP35를 하드웨어로 사용하였다. 데이터의 분석은 MP35와 함께 제공되는 분석프로그램인 BIO PAC Systems, INC.의 BSL 3.7.7 Pro를 사용하였다. 또한 가장 중요한 부분인 맥파에 대한 측정은 홀센서를 사용한 집게형 맥진기를 이용하였다. 호흡성분이 추출되기 용이한 대역을 알아보기 위하여 실험자는 각각 다른 주파수 대역에 맞추어 고정된 호흡을 실시하였다. 고정된 호흡을 인위적으로 주기 위해서 메트로놈 프로그램을 적용하였다. 그렇게 각각의 실험자들은 15, 20, 30, 40, 50 템포(Tempo)의 속도로 고정 호흡을 실시하였으며 맥진파에 영향을 주는 충분한 시간인 100 s 이상 맥진파 데이터를 측정하였다.

메트로놈에서의 15, 20, 30, 40, 50 템포를 각각 주파수로 표현을 하면 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, 0.41 Hz 이다. Fig. 2(a)는 40 템포를 고정시킨 후, 9분30초 동안 측정된 맥진파형을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)에서 대략 2.5~3초 간격으로 보이는 peak가 호흡과 관련되는 것으로 보인다. 이것은 일정한 시간 동안 40 템포인 0.33 Hz 주파수로 호흡을 하고 있을 때의 집게형 맥진기 센서 부분에서의 아날로그 신

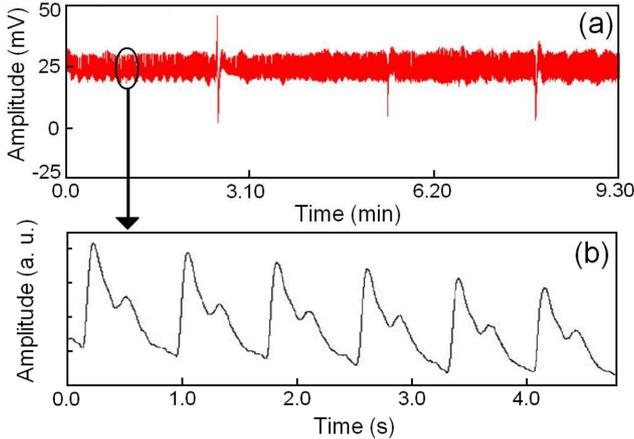


Fig. 2. (Color online) (a) The selected region of pulse waveform measured during 9 m 30 s for a fixed respiratory rate periods of 0.33 Hz (40 tempo). (b) The typical pulse waveform during 5 s in part of (a) pulse wave band.

호 변화가 반영된 것으로 볼 수 있다. 한편 Fig. 2(b)에는 Fig. 2(a)의 일부 A 구역인 약 5초간 전형적인 맥진파형을 확대하여 나타내었다. 이러한 각각의 고정된 임의의 호흡신호들에 대한 고속 푸리에변환(Fast Fourier transform; FFT) 분석하였다[4, 14].

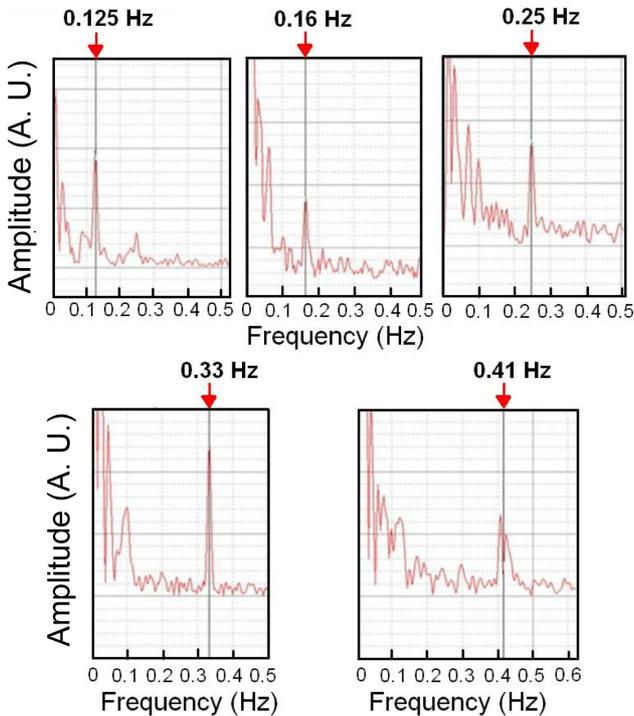


Fig. 3. (Color online) The FFT spectrum peaks with 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, and 0.41 Hz corresponding to 15, 20, 30, 40, and 50 tempos. Each indicated peak for five arrows coincides to each respiratory rate, respectively.

IV. 맥진파형의 호흡수 추출 알고리즘

5가지의 고정된 임의의 호흡신호들에 대한 FFT 분석을 수행한 결과인 Fig. 3에서 특이점을 볼 수 있다. Fig. 3에서 각각의 주파수 별로 특별한 피크(peak)를 가지고 있다는 것과 스펙트럼에 나타나는 피크는 각각의 고정된 호흡의 피크와 일치하는 것을 볼 수 있다. 이러한 점에서 착안하여 홀센서가 장착된 집게형 맥진기로 측정된 맥파신호에서 나타나는 호흡성분을 추출하기 위한 알고리즘을 적용하였다.

맥진파형의 호흡추출 알고리즘에 대한 기본적인 과정은 먼저 데이터를 획득 후의 처리이다. 데이터를 획득한 이후에 0.1 Hz 이상의 대역만 통과시키는 작용을 하는 디지털 필터링을 거친 후 전체 영역에 대한 FFT를 수행한다. FFT의 설정은 Hamming, Linear, Remove mean, Remove trend 등의 기능을 이용한다[4]. 이후에 원래의 심박 주기 중에서 최소값과 0.1 Hz 이상에서의 y-축 최고점에 대한 x-축(Hz) 지점을 호흡의 주파수 영역대로 구분한 전체적인 알고리즘의 순서도로 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 4에 나타낸 호흡추출 알고리즘 과정을 거쳐 0.1 Hz 이상의 대역만 통과시키는 작용을 하는 디지털 필터를 적용하였다. 전체 영역에 대한 전형적인 FFT 스펙트럼은 Fig. 5에 나타내었다. 이 방식으로 추출된 호흡신호는 주어진 시간 동안 많은 데이터 얻었기 때문에 보다 정확한 호흡수를 얻을 수 있었다. 100 s, 200 s, 그리고 300 s 동안 얻은 맥진파형 데이터에서 Fig. 4의 알고리즘을 적용한 결과, 호흡성분은 얻어지는 시간이 길어질수록 FFT 호흡 주파수에 알맞은) 피크가 뾰족해지는 모습을 볼 수 있었다. 이는 더 많은 데이터를

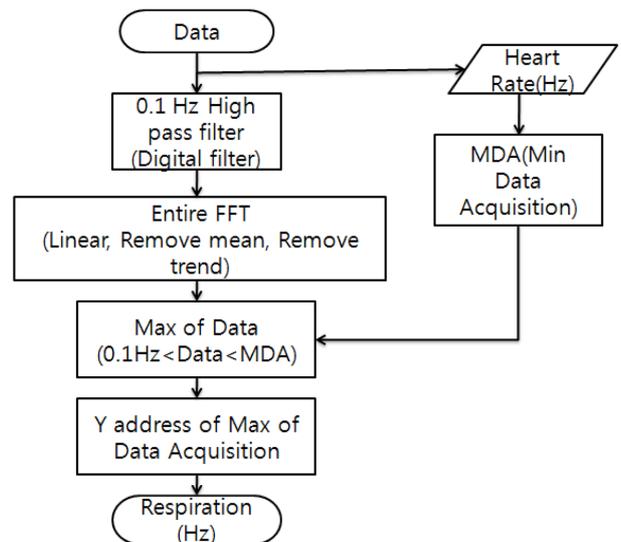


Fig. 4. The flow chart of algorithm for the extraction of respiratory rate by using FFT spectrum through pulse waveform.

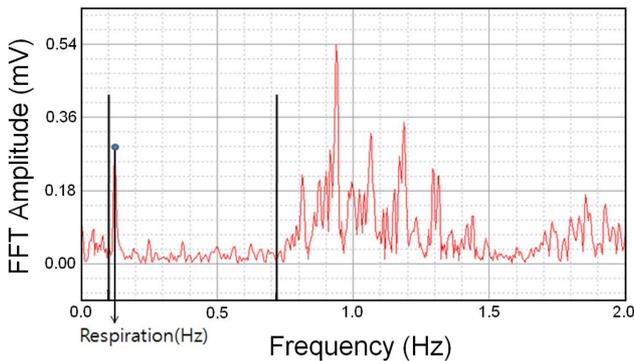


Fig. 5. (Color online) The final spectrum and peak after FFT process on basis of algorithm for the extraction of respiratory rate. The solid lines note region between two cut-off frequencies of 0.1 Hz and 0.7 Hz after the digital filtering process.

통한 오차가 점점 줄어들면서 나타나는 FFT 분석의 특성이 다. 때문에 일정한 수준 이상의 시간인 300 s 동안 데이터를 확보해야 하는 임계값을 보여주었다.

본 연구에 의하면 고정호흡의 경우에는 100 s 이하에서는 호흡성분이 잘 나타나지 않는 경향을 보였다. 100 s 이하의 FFT 분석 데이터를 보게 되면 맥파의 형태조차 나타나는 것이 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 안정적인 데이터를 확보하기 위해서는 적어도 300 s인 5분간 맥진파형 데이터를 확보 하는 것이 중요함을 알 수 있었다. 실험자들에 대하여 각각의 고정호흡을 실시하고 데이터를 획득하였을 때에는 한명의 경우를 제외하고는 모든 경우에서 호흡신호의 특성이 나타나는 것을 볼 수 있었다. 특이한 한명의 경우, 여러 가지 동작에 의한 저역대 신호가 많아 다른 보정처리를 해야 할 것으로 보였다. 하지만 피험자가 안정적으로 실험에 임한다면 더욱 높은 호흡률 획득률을 보여줄 것으로 보인다.

그 밖에도 호흡수 추출을 위해 별도의 호흡센서를 부착하지 않고 혈류속도나 맥파전달속도를 얻어 생체모니터링 신호로 디스플레이하는 이점을 가지고 있을 것으로 보인다[13, 14]. 이 후의 연구는 호흡에 대한 모든 영향을 배제한 맥파를 현재의 기술로 구현해 내는 것이 목표가 될 것이다. 호흡에 대한 영향이 배제되어 있는 맥진파에 대한 정밀한 연구가 가능해진다면 한의학의 기술적인 과학화에 있어서 훨씬 정밀한 결과들에 대한 분석을 할 수 있을 것으로 사료된다.

집게형 맥진기가 가지는 이점 중의 하나인 유연성에 대한 부분에 대하여 볼 때, 측정에 의한 가압이 요골동맥이라는 특정 부위에만 작용하는 것이 이점이라고 할 수 있다. 현재의 맥진기가 가지고 있는 문제점인 가압의 조절을 좀 더 유연한 고무와 무게감이 적은 영구자석과 홀센서를 이용하여 측정을 하기 때문에 이러한 결과가 나올 수 있는 것이며, 이는 요골동맥에서 추출 할 수 있는 호흡성분에 대한 추출이 가능하였

다. 맥의 파형을 분석하기 위해서는 맥에 미치는 여러 가지 요인에 대한 분석도 같이 병행하여 이루어져야 한다. 현재 영구자석과 홀센서가 구비된 집게형 맥진기로 획득한 맥진파의 경우에, 고정적인 호흡을 하고 있는 경우에 한해서 홀센서에서 요골동맥 파를 획득하였을 때의 특성에 대한 첫 연구가 될 것으로 보인다.

V. 결 론

영구자석과 반도체 홀센서가 구비된 집게형 맥진기로 수신되는 임상적인 맥진데이터로부터 고속 푸리에변환(FFT)을 이용하여 호흡수를 추출하여 그 특성을 조사하였다. 호흡에 따른 심장의 운동과 같은 속도로 획득한 맥파의 형태가 항상 변화하는 요인에 대한 오차까지 고려하였다. 인위적인 템포에 대한 FFT 스펙트럼에서 각각의 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, 0.41 Hz에서 피크값은 호흡수와 일치하였다. 100 s, 200 s, 그리고 300 s 동안 얻은 맥진파형 데이터에서 호흡 성분 추출 알고리즘을 적용한 결과, 얻어지는 시간이 길어질수록 FFT 호흡 주파수에 알맞은 피크가 뾰족해지는 경향을 볼 수 있었다. 본 연구를 통해서 집게형 맥진기가 고정적인 호흡을 통해서 생성된 물리적인 영향을 추출해 낼 수 있는 점에 대한 유효한 데이터를 확보해 낼 수 있는 기기임을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 보건복지부 2012년 한의약선도기술과제의 3차년도 한방의료기기 개발과제(B100030) 및 상지대학교의 2011년 교내연구비지원과 2012년 한방의료공학과 특성화학과 지원사업에 의해 이루어진 연구 결과입니다.

참고문헌

- [1] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, *The Arterial Pulse*, 1st Ed., Lea & Febiger, Philadelphia (1992).
- [2] P. A. Shaltis, A. T. Reisner, and H. H. Asada, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* **55**, 1775 (2008).
- [3] 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).
- [4] I. Y. Huh, Y. K. Kim, and G. S. Hwang, *Korean J. Anesthesiol.* **49**, 447 (2005).
- [5] J. A. Hirsch and B. Bishop, *J. Appl. Physiol.* **50**, 552 (1981).
- [6] I.-H. Son and S.-S. Lee, *J. Kor. Mag. Soc.* **21**, 104 (2011).
- [7] M. C. Ahn, J. G. Choi, I. H. Son, S. S. Lee, and K. H. Kim, *J. Kor. Mag. Soc.* **20**, 106 (2010).
- [8] D. H. Jang, D. B. Kim, S. G. Choi, and S. S. Lee, *J. Kor. Mag.*

- Soc. **22**, 130 (2012).
- [9] J. C. Lee, N. S. Kang, H. J. Lee, J. Y. Kim, and J. U. Kim, Kor. J. Ori. Med. Physiol. Pathol. **24**, 1077 (2010).
- [10] G. G. Berntson, J. T. Cacioppo, and K. S. Quigley, Psychophysiology **30**, 183 (1993).
- [11] 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).
- [12] S. S. Lee, M. C. Ahn, and S. H. Ahn, J. Magnetics **14**, 132 (2009).
- [13] J. Y. Yoo, S. G. Choi, D. B. Kim, and S. S. Lee, J. Kor. Mag. Soc. **22**, 136 (2012).
- [14] Q. Yu, J. Zhou, and Y. C. Fung, Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol. **265**, 52 (1993).

Extraction of Respiratory Rate by using FFT for Radial Artery Pulse Waves Acquired by Clip-type Pulsimeter with a Hall Sensor

Hyun-Sung Cho and Sang-Suk Lee*

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

(Received 8 October 2012, Received in final form 17 October 2012, Accepted 23 October 2012)

This research suggested that the extraction of respiratory rate could be made possible by using frequency analysis in the data process for clip-type pulsometer equipped with permanent magnet and Hall sensor. The pulse analysis included of cardiac motion information depending on variation of pulse waveforms is investigated by means of Fast Fourier Transformation (FFT). The peaks of FFT spectrums measured at 15, 20, 30, 40, and 50 tempos are coincided to each respiratory rate having 0.125 Hz, 0.16 Hz, 0.25 Hz, 0.33 Hz, and 0.41 Hz, respectively. The FFT spectrum using algorithm for the extraction of respiratory rate showed the best pulse waves measured during 300 s. Based upon these results, the clip-type pulsometer could extract the effective respiratory rate reflecting physical effects.

Keywords : clip-type pulsimeter, permanent magnet, Hall sensor, radial artery, pulse waveform, fast fourier transformation (FFT), respiratory rate, tempo, extraction algorithm