ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 28(3), 105-110 (2018) https://doi.org/10.4283/JKMS.2018.28.3.105

The Estimation Equation of Systolic Blood Pressure Dependent on the Systolic Time of the Radial Artery Wave Measured by Wrist Wearable Pulsimeter Equipped with a Magnetic Hall Device

Dong Jin Lee
Department of Medical Device, Daejeon Institute of Science and Technology, Daejeon 35408, Korea

Su-Hee Kim, Jae-Han Jeong, and Sang-Suk Lee*
Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangi University, Wonju 26339, Korea

(Received 9 May 2018, Received in final form 1 June 2018, Accepted 3 June 2018)

Clinical trials were performed to obtain the systolic blood pressure (SBP) dependent on the systolic time (S.time) of the radial artery wave measured by the wrist wearable pulsimeter equipped with a magnetic Hall device. One 20-year-old male and one 20-year-old female with normal blood pressure showed no significant changes in body mass index, systolic blood pressure, diastolic blood pressure, and pulse rate for 1 month. A linear regression analysis result was used to derive the blood pressure estimates obtained by using the program as a result of correlation between artificially elevated SBP and S.time measured by the clip-type pulsimeter in two 20-year-old male and female. It was confirmed that S.time of the radial artery wave was linearly and effectively decreased when the SBP was increased. Therefore, we showed the possibility of developing a personalized health care pulsimeter and blood pressure monitor which can obtain SBP according to changes of S.time measured by pulsimeter using a magnetic Hall device.

Keywords : magnetic hall device, wearable pulsimeter, systolic blood pressure, systolic peak time, linear regression anlaysis result

자성 홀소자 손목 착용형 맥진기로 측정된 요골동맥파의 수축기 시간에 의존하는 수축기 혈압 공식 추정 연구

이동진
대전과학기술대학교 의료기기과, 대전시 35408

김수희 · 정재한 · 이상석*
상지대학교 한방의료공학과, 강원 원주시 26339

(2018년 5월 9일 받음, 2018년 6월 1일 최종수정본 받음, 2018년 6월 3일 게재확정)

자성 홀소자 손목 착용형 맥진기로 측정된 요골동맥파의 수축기 시간에 의존하는 수축기 혈압 추정식을 얻기 위한 임상실험을 수행하였다. 평소 혈압이 정상인 20대 남성 1명, 20대 여성 1명을 1달 동안 측정한 결과 체질량지수, 수축기 혈압, 이완기 혈압, 맥박수의 값들 간의 상관관계가 없었다. 20대의 남성과 여성에게 단계별 과한운동을 적용하여 인위적으로 상승시킨 혈압과 맥진기로 측정된 수축기 시간과의 상관관계를 선형회귀분석결과 프로그램을 사용하여 혈압 추정식을 도출하였다. 혈압이 상승할 경우 요골동맥파의 S.time이 선형적으로 매우 유효성 있게 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 자성 측정 홀소자 맥진기로 측정된 요골동맥파의 수축기와 상완혈압의 변화에 따라 혈압을 측정 할 수 있는 개인별 건강관리형 맥진혈압기 개발의 가능성을 보여주었다.

주제어 : 자성 홀소자, 착용형 맥진기, 수축기 혈압, 수축기 시간, 선형회귀분석결과

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-33-730-0415,
Fax: +82-33-730-7610, e-mail: sslee@sangji.ac.kr

I. 서 론

4차 산업을 대응하고 현대 사회의 성인병을 예방하기 위해 미세한 자성을 센싱하는 핵심소자가 구비된 간편하고 새로운 생활형 의료기기가 개발되고 있다. 고령화 사회가 진행되면서 건강 의료기술은 다양한 분야의 융합기술을 적용하면서 발전해 왔다[1,2]. 심혈관 건강관리를 할 수 있는 기존의 대표적인 제품인 혈압측정기는 혈압만 측정 가능한 단순 기능을 가지고 있으며 압박하면서 측정하고 휴대하기에도 불편함을 가질 수 있다. 성인병에 속한 고혈압 환자는 뇌출혈, 심장마비 등에 치명적인 연관이 있기에 그 위험성이 날로 커지고 있고, 예방적인 차원에서 다루기 편리한 방법으로 정확한 혈압 측정이 필요하기 때문이다[3,4].

혈압으로 인한 질병의 유병률이 날로 증가하고 있는 상황에서 혈압관리는 언제 어디서든 관리되어야 할 것이다. 일반인이 가정에서 수은혈압계나 메타혈압계인 혈압기를 사용하는 것은 다소 무리라고 할 수 있다. 가정에서 일반적으로 사용되는 혈압계는 전자혈압계가 있으며, 최근에는 정확도에 있어서도 어느 정도 인정받고 있으며 자가 혈당측정 등과 같이 자가 혈압측정 또한 건강관리에 이용되고 있다. 혈압측정기는 압박하는 커프를 장착하는 부위에 따라 나누어지고, 팔뚝형과 손목형이 주를 이루고 있으며, 활동 혈압계도 개발되었으나, 휴대하기 불편하고 압박에 의한 고통으로 일상생활에서는 사용하기가 어렵다[5,6].

혈압 측정 관리방법은 여러 가지가 있지만 현재 병·의원 및 개인용으로 사용되는 모든 혈압측정방식은 크게 관혈적 혈압측정방식(Invasive Blood Pressure Measurement Method; IBPM)과 비관혈식 혈압측정방식(Non-invasive Blood Pressure Measurement Method; NBPM)으로 나누어 구분 할 수 있다[7]. 관혈식 혈압방식은 동맥을 절개하여 카테터(Catheter)를 혈관에 직접 삽입하여 혈압을 측정하는 방식으로 현재까지 사용하는 방식 중 가장 정확한 측정 방식이라 할 수 있다. 비관혈식 혈압 측정 방식은 2가지로 구분된다. 첫째로, 오실로메트릭 방식(Oscillometric method)으로서 공기압의 미세한 변화를 전기적인 에너지로 변환하여 맥파의 진동을 검출하여 통계적 기법에 의해 혈압을 측정하는 방식이다. 둘째는 코로토코프음 방식(Korotkoff sound method)으로 마이크로폰을 동맥혈 위에 대고 혈액이 혈관에 부딪히는 압력을 마이크로폰을 통해 소리로 듣고 혈압을 측정하거나 이러한 소리를 전기에너지로 변환하여 맥파의 변화를 감지하여 혈압을 측정하는 방식이다[7,8].

혈압을 측정하는 여러 가지 방식 중 가장 정확한 방식은 관혈식 혈압측정방식이나 그 위험성이 크고 고급의 인적자원이 요구되기 때문에 종합 병원급에서도 제한적으로만 사용되고 있다. 반면, 세계적으로 오실로메트릭 방식이나 코로토코프음 방식을 이용한 전자혈압계는 측정값에 대한 정밀도 및 신뢰성 부족으로 아직도 많은 병 · 의원에서는 청진기를 통해 듣고 혈압을 측정하고 있다[8]. 전자의료기기의 국제규격(International Electronical Committee, IEC)에서 정한 전자혈압계와 청진방식 혈압계의 평균 및 표준편차 기준에 따르면 차이의 평균이 ±5 mmHg 이하, 차이의 표준편차가 8 mmHg 이하로 굉장히 큰 범위의 편차를 가지고 있다. 이러한 정밀도에 대한 신뢰성 부족으로 아직도 수은혈압계에 의한 측정 방법을 사용하고 있다[9].

본 연구에서는 시제품으로 개발한 자성 홀소자를 이용한 손목착용 시계형이나 집게형 맥진기를 통해 얻어진 요골동맥파형을 이용하여 혈압측정이 가능함을 보여 준다. 이것은 더 나아가 유·무선 네트워크를 통해 데이터를 전송할 수 있으며 U-Health Care 기기의 네트워크를 기반으로 원격진료 및 건강관리를 할 수 있을 것이다[10]. 이에 따라 자성 홀소자 맥진센서로 정상혈압군 20대 남 · 녀 임상실험 대상자의 인위적 혈압 상승에 따른 맥진파형의 수축기 시간(Systolic time, S.time)과 상완 고혈압인 수축기 혈압(Systolic blood pressure, SBP) 관계를 분석한 맥진파형 분석을 통해 요골동맥파 수축기 시간과 상완혈압의 변화 의존성에 따른 연구결과로 추정한 비가압 혈압공식을 제시하고자 한다.

II. 실험 방법

본 연구에 사용한 손목착용 시계형이나 집게형 맥진기의 핵심부분인 센서부는 화합물 반도체 물질로 Allegro MicroSystems. Inc. 회사에서 제작된 상업화용 홀(Hall) 소자가 구비되어 있다. $2 \times 3\ mm^2$ 크기와 2~5 mV/Oe의 자장 감응도를 갖는 A139x-시리즈(series) 홀 소자를 맥동의 중심부에 위치할 수 있도록 제작되었다. 홀 효과를 이용한 자성변환소자의 핵심재료는 일반적인 인듐안티모나이드(InSb), 인듐아세나이드(InAs), 게르마늄(Ge), 실리콘(Si) 등으로 구성된 반도체를 사용하였다[11]. 홀소자 바로 아래의 피부 접촉 부분 표면이 탄성이 좋은 라텍스 고무에 원통형 하우징 중심 부분에 지름 2 mm, 높이 1 mm 크기의 원통형 영구자석이 부착되어 맥박의 진동에 따라 쉽게 변화될 수 있도록 되어 있다. 자기장의 변화에 의해 홀 기전력이 발생하여 그 크기로 자기장의 세기를 측정할 수 있는 장점이 있으며 자기장의 변화가 위치 등에 기인할 때 이들 위치의 요골동맥 파형 측정이 가능하였다[12-15].

홀소자와 자석 사이 변위는 대략 2.5 mm이다. 1 mm 이내에 1개의 영구 자석이 동맥 맥박의 높고 낮은 진동에 의하여 상하로 움직인다. 실제 사람의 손목에 착용하여 맥파신호를

Fig. 1. (Color online) The real measuring feature and displaying pulse waveform of the prototype of a wrist portable (a) watch-type pulsimeter and (b) clip-type pulsimeter equipped with a magnetic Hall effect device. The pulse signals obtained through the hard ware system of a wire or a wireless telecommunication.

측정하는 예로서 손목착용 시계형 맥진기기와 집게형 맥진기 시제품의 실제 모습을 Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)에 각각 나타내었다. 자성 홀소자를 이용하여 요골동맥에 놓여 있는 영구자석의 위치변화에 따른 전압의 변화를 나타내는 전기적 신호는 맥의 파형 신호를 의미하는데 이 신호는 다시 회로의 하드웨어를 통해 신호들을 미분하여 자기장 변화에 따른 신호만 얻는다. 측정한 데이터는 Fig. 2와 같이 본 연구팀에서 자체개발한 소프트웨어인 SPULS-2011 파형분석 프로그램에 유/무선 통신으로 바로 입력되었고, 측정된 맥진파형을 단계별 분석 후의 결과를 PC 디스플레이 모니터 상에서 확인할 수 있다.

본 연구를 위해 임상실험 대상은 상지대학교 한방의료공학과 재학생으로 정상군 혈압을 유지하는 20대의 젊은 남성과 여성을 각 1명씩 대상으로 실험자를 선정하였다. 먼저 35일 동안 3일 간격으로 매일 같은 시간대에 체질량지수를(Body mass index, BMI = weight(kg)/(Height(m))^2) 얻기 위해 체중과 키를 측정하였다. 바로 이어서 왼팔의 상완혈압인 수축기 혈압(Systolic blood pressure, SBP)과 저혈압을 나타내는 이완기 혈압(Diastolic blood pressure, DBP)을 오실로메트릭 방법으로 디지털 자동혈압계를 사용하여 측정하고 그리고, 맥박수(Pulse rate)도 기록하였다. 또한 인위적인 혈압상승을 위해 단계별 과한운동을 적용하여 혈압을 측정하였고, 이어서 홀소자 집게형 맥진기로 맥파를 측정하였다. 측정한 맥진파형은 SPULS-2011 프로그램을 통해 요골동맥파의 수축기 시간(S.time)을 얻었다. 여기서 S.time는 맥진파형의 시작점과 맥진파형의 수축기 높이를 나타내는 최고점 사이 시간으로 정의하였다. 요골동맥의 수축기 시간(S.time)을 각각 측정한 데이터를 Sigma Plot 통계프로그램을 이용하고 분석하여 혈압 공식을 도출하였다.

III. 실험결과 및 분석

본 연구는 상완혈압과 요골동맥 맥진파형의 수축기 시간에 상관 관계성에 대한 특성 비교를 위해 실험을 수행하였다. 먼저 평상시 정상혈압을 유지하는 20대 남성과 여성을 35일 동안 몸무게와 키, 혈압과 맥박수, S.time을 3일에 한번 씩 총 11회 측정하였다. 커프형 상완혈압기를 착용하여 왼손의 수축기 혈압(SBP)와 이완기 혈압(DBP)과 맥박수를 각각 측정하였다. Fig. 2에서 보여준 임상실험 대상자들의 평상시 정상혈압을 유지하는 20대 남성과 20대 여성에 대한 BMI, SBP,

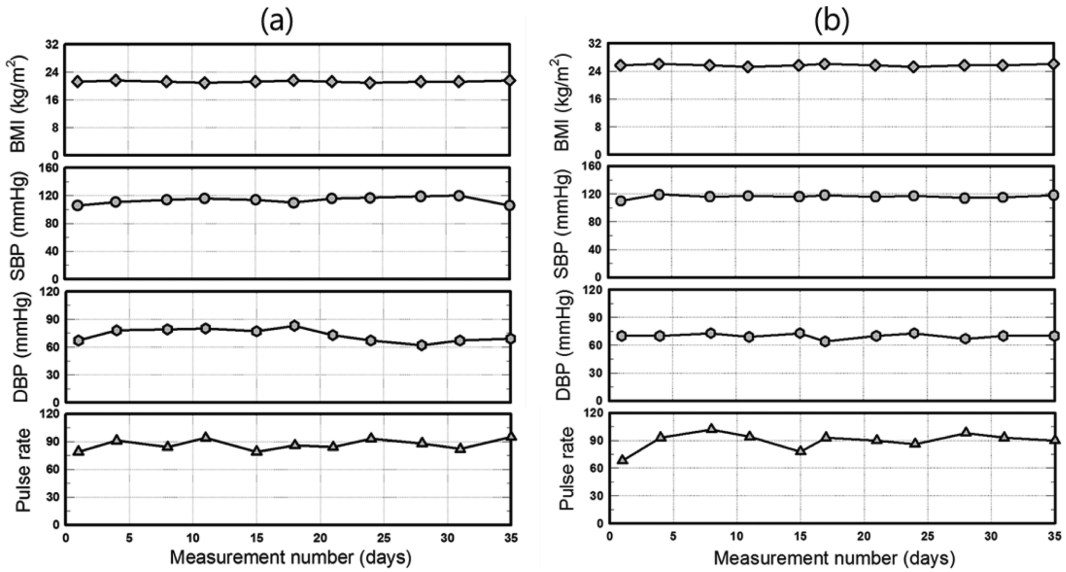

Fig. 2. BMI (body mass index), SBP (systolic blood pressure), DBP (diastolic blood pressure), and Pulse rate versus measurement number during 35 days by pulse data analysis for normal Young (a) Male participant with an age of 25 and (b) Female participant with an age of 23.

DBP, 맥박수의 뚜렷한 변화의 특징은 거의 없음을 보여주고 있다. 이것은 몸무게와 평상시 정상혈압군에 속한 두 명의 임상실험 대상자가 일정한 체질량지수와 수축기 혈압을 유지하기 때문임을 알 수 있다.

Fig. 2(a)에 보여준 데이터를 종합하면 20대 남성의 BMI의 평균값은 21.5 kg/m^2, SBP의 평균값은 113.0 mmHg이며, DBP와 맥박수는 측정할 때마다 약간의 변화를 보이고 있다. 반면에 손목 착용 시계형 또는 집게형 맥진기로 측정한 맥진파형에서 S.time은 평균 112.4 ms으로 거의 일정하게 나타났다. Fig. 2(b)에 보여준 데이터에서 20대 여성의 BMI의 평균값은 25.5 kg/m^2, SBP의 평균값은 116.0 mmHg이며, 남성의 경우와 마찬가지로 DBP와 맥박수는 약간의 변화를 보이고 있다. 또한 손목 착용 시계형이나 집게형 맥진기로 측정한 맥진파형에서 S.time의 평균값은 109.2 ms으로 거의 일정하게 나타났다.

임상실험대상자에 대한 맥진파형 연속 측정은 Fig. 3과 같이 요골동맥이 있는 손목 피부면에 닿은 영구자석이 움직임에 따라 미세하게 변하는 자성의 세기가 맥진센서의 수직면으로 통과할 때 전기적 신호로 변환되는 홀 소자가 구비된 집게형 맥진기를 이용하였다. Fig. 3(a)는 홀 소자와 영구자석을 사용하는 3가지 형태의 요골동맥 맥박동의 펄스를 감지하는 메커니즘의 작동 원리와 개략도를 나타내었다[12]. Fig. 3(a)에서 보여준 것처럼 맥동의 움직임에 따라 영구자석도 같이 위가 변화하여 맥진 센서부에 고정된 홀 소자에 멀어진 초기상태와 중간 위치의 상태 그리고 가장 가까워 진 상태에서 자기장의 세기가 약함에서부터 중간 그리고 강함으로 바뀌게 된다. 홀 소자의 평면에 수직으로 통과하는 자기장의 세기와 전류원에 공급되는 정전류가 두 개의 단자로 흐를 때 홀 소자를 구성하는 반도체 물질내의 다수 운반자인 양공(Hole)들이 로렌츠 힘을 받아 전류 방향과 수직인 가로방향으로 이동하게 되어 홀 전압이 형성되게 된다. 홀 전압의 크기는 영구자석이 홀 소자과 가까워지면서 증가하는 자기장의 세기와 비례하여 Fig. 3(a)의 상단부에 보여준 아날로그 형식으로 계기의 바늘 움직임에 그대로 반영된 것이다.

집게형 맥진기로 측정된 측정데이터는 Fig. 3(b)와 같이 SPULS-2011 파형분석 프로그램을 통하여 전형적인 요골동맥 파형에서 정의된 주요 인자인 수축기 시간(S.time)은 맥파의 시작점인 S와 피크점인 P 사이의 간격 시간이다[16]. Fig. 3(b)에서 시판중인 A139x-시리즈 홀 소자는 높은 감도와 자기장의 선형성을 가지기 때문에 미묘한 자기장의 변화에 따

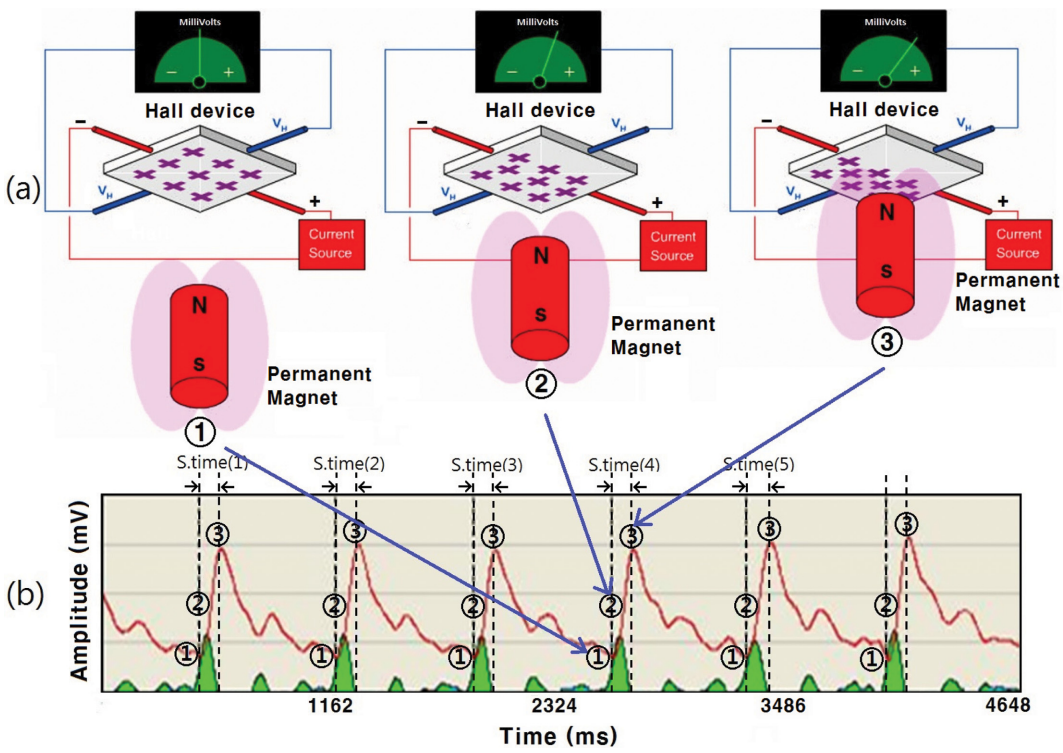

Fig. 3. (Color online) (a) The schematic of operating principle of three forms of radial artery pulsimeter's pulse-sensing mechanism using Hall device and permanent magnet. (b) Three output amplitudes (mV) depending on the subtle magnetic field versus time for commercial A139x-series Hall device with high sensitivity and linearity in magnetic field correspond to ① a starting point, ② a middle point, and ③ a systolic peak point with a minimum amplitude, a medium amplitude, and a maximum amplitude, as shown in blue solid arrows, respectively. Here the green color notices the first derivative waveform.

라 3개의 출력 진폭(mV)은 ① 시작점, ② 중간점 및 ③ 최대점에 해당하여 최소 진폭, 중간 진폭 및 최대 진폭을 각각 나타낸다. Fig. 3(b) 맥진파형 아래 부분에 표시한 녹색 영역은 1차 미분파형을 나타낸다. Fig. 3(b)에 나타낸 맥진파형의 분석을 통해 연속된 5개 맥진파형의 수축기 시간(S.time)의 평균값으로 정하였다.

정상 혈압군에 속한 실험대상자의 상완혈압과 요골동맥파의 수축기 시간의 상관관계를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 인위적인 혈압상승을 위해 단계별 과한운동을 적용하여 혈압을 측정하였고, 이어서 홀소자 집게형 맥진기로 맥파를 측정하였다. 인위적인 혈압상승은 5층 건물의 계단을 뛰어서 내려가고 올라오는 횟수를 조정하여 혈압을 여성의 경우는 149 mmHg 까지, 남성의 경우는 163 mmHg 까지 상승시켰다. 상승시킨 혈압에서 1분 이내에서 측정한 맥진파형은 SPULS-2011 프로그램을 통해 Fig. 3(b)과 같이 5개의 연속 맥진 파형으로부터 얻은 요골동맥파의 수축기 시간(S.time)의 평균값을 계산하였다. 상완혈압중 수축기 혈압인 SBP와 요골동맥의 S.time을 각각 측정한 데이터를 분석한 것을 바탕으로 Sigma Plot 통계프로그램을 이용하여 혈압공식을 도출하였다.

SPULS-2011 파형분석 프로그램 데이터를 분석한 결과 SBP가 높으면 S.time은 줄고, SBP가 낮으면 S.time은 늘어남을 알 수 있었으며, 20대의 남성은 SBP 대비 S.time이 휴식상태보다 인위적인 격한 운동 후 측정한 결과가 균일하게 감소하였으며, Slope은 대략 −5.7이었다. 여성의 경우도 SBP 대비 S.time이 균일하게 감소하는 Slope은 대략 −1.7이었다.

SPULS-2011 파형분석 프로그램으로 분석한 데이터를 기준으로 얻은 선형회귀분석결과(Linear Regression Analysis Results, LRAR)들은 중요 계수(Coeffcients)의 값들인 y축 절편값 $b[0]$와 기울기 $b[1]$, 결정계수인 r^2들을 Fig. 4와 Fig. 5의 설명에 각각 나타내었다. 여기서 결정계수 r^2은 S.time와 SBP 측정값의 유효성을 보여주는 것으로 0.9 이상이면 매우 우수한 상관 관계식이 도출됨을 보증하게 된다. Sigma Plot 통계프로그램에서 분석한 LRAR를 보면 Eq. (1)과 같이 상관관계 식이 성립하는 것을 알 수 있다.

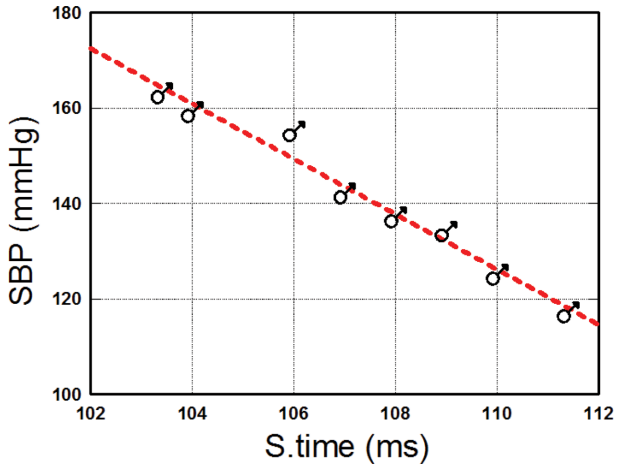

Fig. 4. (Color online) Systolic blood pressure versus S.time with linear regression analysis results (red short dash) by using Sigma Plot Statistical Program after exercise motion of Young Male with age of 25. $b[0] = 762$, $b[1] = -5.78$, $r^2 = 0.975$.

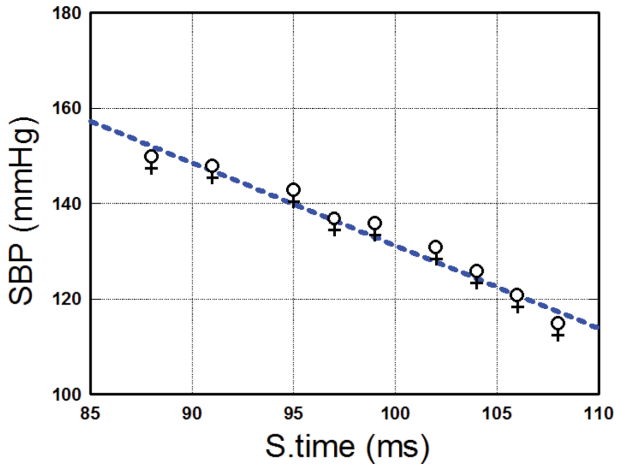

Fig. 5. (Color online) Systolic blood pressure versus S.time with analysis results (blue short dash) by using Sigma Plot Statistical Program after exercise motion of Young Female with age of 23. $b[0] = 304$, $b[1] = -1.73$, $r^2 = 0.969$.

$$y = b[1]x + b[0] \tag{1}$$

Eq. (1)에서 $b[1]$은 기울기이며, $y = b[1]x$의 그래프를 y축으로 $b[0]$ 만큼 평행 이동한 직선이다. r^2(결정계수)은 적용된 회귀식이 얼마나 타당한가를 알아보기 위한 것뿐만 아니라 독립변수(x)가 종속변수(y)에 대한 얼마만큼의 설명력을 가지게 되는지 나타내는 것이다.

20대 남성의 경우 SBP와 S.time의 상관관계식인 혈압 추정 회귀식을 얻기 위해 Fig. 4과 같이 데이터를 면밀히 분석하였고, LRAR를 보면 $b[0] = 762$ mmHg/ms, $b[1] = -5.78$ mmHg, $r^2 = 0.975$로 결과 값들이 계수처리 되었다. 분석한 결과 앞에서 언급한 경우와 같이 SBP가 낮으면 S.time은 늘어남을 알 수 있으며, SBP가 높으면 S.time은 줄어드는 것을 뚜렷한 양상을 보여 주었다. 이에 따라 남성의 경우 혈압추정 회귀식은 혈압의 초기측정값과 기울기, 절편값을 고려하여 Eq. (2)을 도출하였다.

$$SBP_{Male}[\text{mmHg}] = -5.78[\text{mmHg/ms}] \times S.time[\text{ms}] + 762 \tag{2}$$

20대 여성의 경우 SBP와 S.time의 상관관계식인 혈압 추정 회귀식을 얻기 위해 Fig. 5와 같이 데이터를 또한 면밀히 분석하였고, LRAR를 보면 $b[0] = 304$, $b[1] = -1.73$, $r^2 = 0.969$ 결과 값이 계수 처리되었다. 분석한 결과 앞에서 언급

한 경우와 같고 남성의 경우와 같이 SBP가 낮으면 S.time은 늘어남을 알 수 있으며, SBP가 높으면 S.time이 줄어드는 뚜렷한 양상을 보여 주었다. 이에 따라 여성의 경우 혈압추정 회귀식은 혈압의 초기측정값과 기울기, 절편값을 고려하여 Eq. (3)을 도출하였다.

$$SBP_{Female}[\mathrm{mmHg}] = -1.73[\mathrm{mmHg/ms}] \times S.time[\mathrm{ms}] + 304 \qquad (3)$$

자성 홀소자 손목 착용형 맥진기로 측정된 요골동맥파의 S.time에 의존하는 수축기 혈압 공식 추정식인 식(2)와 식(3)에서 SBP와 S.time의 영향관계에 남성과 여성의 기울기와 절편이 다르게 나타나는 이유는 체질량지수인 BMI와 심장 부근의 상반신의 신체적 구조의 차이에 의한 영향이 주된 것으로 사료된다. 향후 실용화 단계에서는 10대에서 80대까지 나이별로 더 많은 남성과 여성이 임상데이터의 시료를 확장하여 분석하고 신뢰성을 높여 연구를 진행할 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4를 바탕으로 도출된 비가압 혈압 추정식의 활용방안은 범용적으로 사용하는 간편한 혈압 측정기로써 대체될 가능성을 시사한다. 맥진기는 동맥의 박동을 기록하는 기기로써 한방 의료기관에서 사용하는 기본 장(場)인 맥진시스템은 한의학의 증(證)을 진단하거나 심혈관계 또는 심박동을 통해 추정 할 수 있는 자율신경계 질환 및 혈액과 심혈관 동맥관계에 영향을 미치는 몇 가지 건강상을 진단하는데 사용되어 왔다. 자성 측정 홀소자 맥진센서를 이용한 손목 착용 맥진시스템은 요골동맥파, 맥박수, 심박수, 비침습 · 비가압식 연속혈압측정 가능한 개인 맞춤형 제품개발이 가능하다고 볼 수 있다. 앞으로 현대사회의 건강관리를 휴대(Potable)하기 편리한 유비쿼터스 헬스케어(Ubiquitous-Health Care, U-HC) 상시 혈압관리 시스템으로 개인용 손목착용 시계형 맥진시스템을 이용한 자성 홀소자 맥진기를 개발하여 보고할 예정이다.

IV. 결 론

자성 홀소자 손목착용 맥진기를 이용하여 얻은 요골동맥파의 수축기 시간(S.time)과 전자혈압기로 측정한 상완 수축기 혈압(SBP) 간의 상관관계를 조사하였다. 평소 혈압이 정상인 20대 남성 1명, 20대 여성 1명은 구분 없이 BMI, SBP, DBP, 맥박수들 간의 상관관계를 찾을 수 없었다. 20대의 남성과 여성을 과한 운동을 적용하여 인위적으로 상승된 혈압을 측정하고, 집게형 맥진기로 요골동맥파를 측정한 결과 혈압이 요골동맥파의 S.time이 선형적으로 매우 좋은 유의성이 있게 감소하는 것을 확인하였다. 요골동맥파의 S.time이 SBP와 관련 의존성을 Sigma 선형회귀분석결과로 입증하였다. 본 연구에서는 개인별로 홀소자 집게형 맥진기로 측정된 요골동맥파의 수축기의 변화에 따라 비가압 혈압을 추정 할 수 있는 수치식을 도출하였다. 이를 통해 요골동맥파의 측정으로 얻은 S.time 만으로도 개인별 혈압을 관리하는 건강형 혈압 맥진기 개발 가능성을 제시하였다.

References

[1] J. B. Song, W. H. Lee, S. S. Hyeon, and S. S. Lee, New Phys.: Sae Mulli **67**, 113 (2017).

[2] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, The Arterial Pulse, 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] W. H. Lee, Y. H. Rho, S. S. Hyeon, J. B. Song, and S. S. Lee, Insights in Blood Pressure **2**, 2 (2016).

[5] M. C. P. Carrasquero, L. M. H. Bernard, H. Kobori, Y. Ozawa, K. S. H. Smith, L. L. Hamm, and L. G. Navar, Hypertension **44**, 223 (2004).

[6] M. C. Ahn, J. G. Choi, I. H. Son, S. S. Lee, and K. H. Kim, J. Korean Magn. Soc. **20**, 106 (2010).

[7] A. Fronek, Noninvasive Diagnosis in Vascular Disease, McGraw Hill, New York (1989).

[8] L. H. Hwang, W. S. Park, and S. K. Na, J. Kor. Inform. Comm. Soc. **38C**, 822 (2013).

[9] 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).

[10] W. S. Yoon, J. O. Ji, and S. S. Lee, J. Korean Magn. Soc. **24**, 179 (2014).

[11] S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd Ed., John Wiley & Sons (1981) pp. 30~35.

[12] D. Y. Kim, S. S. Hyeon, J. K. Rhee, and S. S. Lee, J. Korean Magn. Soc. **24**, 146 (2014).

[13] K. H. Kim and S. S. Lee, J. Magn. **20**, 47 (2015).

[14] N. K. Lee, J. K. Rhee, and S. S. Lee, J. Acupunct. Meridian Stud. **8**, 83 (2015).

[15] 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).

[16] D. J. Lee, S. H. Kim, J. H. Jeong, J. O. Ji, and S. S. Lee, New Phys.: Sae Mulli **67**, 1151 (2017).