

## Characteristics of Blood Pressure and Pulse Waveform Using Hall Effect Sensor by Low Frequency Electrical Stimulation

Byeong-Uk Kang and Sang-Suk Lee\*

Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 26339, Korea

(Received 9 October 2019, Received in final form 22 October 2019, Accepted 22 October 2019)

The characteristics of the measured 80 data during 7 months for the systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), heart rate (HR), and the systolic time (S.time) were investigated according to the conditions of the low frequency acupuncture electrical stimulator(AES). The S.time of the radial artery pulse wave was measured by a clip-type pulsimeter equipped with a permanent magnet and a Hall effect sensor. The mean SBP, DBP, and HR decreased by 5.7 mmHg, 2.1 mmHg and 1.4 /min at 124.1 mmHg, 66.4 mmHg and 87 /min, respectively, after the low frequency treatment by AES. The S.time was 108.6 ms having an increase of 2.6 ms after electrical stimulation at 30 Hz rather than 8 Hz and 15 Hz. The low frequency electrical stimulation was found to effectively stabilize the blood pressure and increase the blood flow in the human body.

**Keywords :** acupuncture electrical stimulator (AES), Hall effect sensor, magnetic sensing, low frequency, systolic blood pressure (SBP), systolic time (S.time)

### 저주파 전기자극에 따른 혈압 특성과 홀효과센서를 이용한 맥진파형 특성에 관한 연구

강병욱 · 이상석\*

상지대학교 한방의료공학과, 강원 원주시 상지대길 84, 26339

(2019년 10월 9일 받음, 2019년 10월 22일 최종수정본 받음, 2019년 10월 22일 게재확정)

경혈점에 전기자극하여 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박수, 수축기 시간을 7개월 동안 측정된 80회의 데이터를 저주파 치료기의 자극조건에 따라 그 특성을 조사하였다. 요골동맥 맥진파형의 수축기 시간은 영구자석과 홀효과센서가 구비된 집게형 맥진기로 측정하였다. 피 실험자의 저주파 전기자극 전과 후에 따라 평균 수축기 혈압과 이완기 혈압, 심박수는 124.1 mmHg와 66.4 mmHg, 87 /min에서 각각 5.7 mmHg와 2.1 mmHg, 1.4 /min 만큼 감소하였다. 수축기 시간은 자극 주파수 8 Hz와 15 Hz 보다 30 Hz에서 전기자극 후에 2.6 ms 정도 증가한 108.6 ms로 나타났다. 인체에 적용한 저주파 전기자극이 혈압의 안정화와 혈류 흐름을 효과적으로 상승시킴을 확인하였다.

**주제어 :** 침전기자극기(AES), 자성센싱, 홀효과센서, 저주파, 수축기 혈압(SBP), 수축기 시간(S.time)

#### I. 서 론

직류전류, 교류전류, 맥동전류, 펄스전류, 펄스자기 등과 같은 전기(electricity)와 자기장(magnetic field)을 이용하여 질병을 진단하고 치료하는 의료 과학의 분야를 전자기치료학이라 정의한다[1]. 고대 인류사회에서부터 자연전기와 영구자석을 이용하여 전기 및 자기치료를 시도하였던 흔적이 있다.

전자기학의 원리가 완전히 규명된 19세기를 지나 수많은 분야에 알맞은 전자정보기기가 개발되어 사람들이 편리하게 생활하는데 큰 역할을 하였다. 특히 다양한 저주파 전기자극기들은 오늘날 기초과학, 임상의학, 전자공학의 발전으로 탈신경근육의 재교육, 관절운동범위의 유지와 획득 및 증진, 위축 및 약화된 근육의 근력 회복 및 강화, 근육퇴행위축 지연, 수의운동 조절 회복 촉진, 보행능력 증진, 이완, 통증조절 등의 목적으로 폭넓게 사용되고 있다[2,3].

저주파 전기자극기는 인체에 수백 Hz 이하의 주파수로 인체에 전기자극을 가하여 질병을 치료하는 의료기기로서 전류

의 세기, 파형, 주파수, 펄스 지속시간, 전극 등의 변화를 이용하여 통증완화, 재활목적, 근육운동 등의 목적에 맞게 사용하는 의료기기이다. 전기자극기는 직류전류와 저전압 저주파 전류를 이용하여 주로 신경 및 탈신경근육의 세포막을 자극하여 활동전위의 전도를 통하여 생리학적 변화를 유도함으로써 근육수축을 유발시킨다. 요즘은 고전압맥동전류, 중주파전류, 미세전류 자기장 등 여러 가지 교류 전기와 펄스자기장을 폭넓게 자극 대상, 목적, 특성에 따라 다양한 전기자극기가 활용되고 있다[4,5].

본 연구는 저주파 침전기자극 치료기로 혈관 건강상태에 어떤 영향을 줄 수 있을지를 알아보기 위해 요골동맥에 관련된 경혈점 부위에 전기자극을 가하여 맥진상태의 특성을 조사한 것이다. 즉, 저주파치료 의료기기로 사용되고 있는 침전기자극기로 사람의 질병의 원인이 되는 혈관 고착상태를 완화시킬 수 있는지에 대한 연구를 진행하였다. 손목의 요골동맥 맥진파형을 안정적으로 편리하게 측정할 수 있도록 사용되는 모델 spuls-2011인 집계형 맥진기(clip-type pulsometer, CTP)는 영구자석과 홀효과센서가 구비되어 있다[6-8]. 반도체 기반의 홀효과센서는 자동차, 휴대폰, 드론, 가전제품, 사물인터넷 산업, 공장자동화 등 다양한 분야에 광범위하게 사용되고 있는 영구자석을 물체에 붙여서 선형 운동 및 각 운동을 감지하는 센서이다[9]. 집계형 맥진기를 이용하여 혈관의 주요 생체정보를 가진 맥진파형의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박수, 수축기 시간에 대해 저주파 전기자극 전과 후 특징을 조사하였다.

## II. 실험 방법

홀효과센서와 영구자석이 구비된 집계형 맥진기는 저주파 전기자극 전과 후에 Fig. 1(a)에 보인바와 같이 손목부근에 위치한 요골동맥의 맥진파형을 측정하는 기기이다[6-8]. 정방형 면적  $3 \times 3 \text{ mm}^2$ 과 두께 1 mm 크기의 홀 소자와 직경 2 mm와 두께 1 mm 크기의 원통형 영구자석이 떨어진 변위는 2.5 mm이다. 요골동맥에서 나타나는 높고 낮은 맥진파형에 따라 영구자석이 상하로 움직인다[10-12]. 본 연구에 사용한 집계형 맥진기에 대한 부품별 명칭을 Fig. 1(a)와 Fig. 1(b)에 각각 나타내었다. 집계부, 측정부, 작동표시 LED, USB 포트와 맥진 측정 후 파형과 특징 점들의 값들을 디스플레이 한 것을 Fig. 1(a)에 보였다. 또한, 피부표면과 닿는 실리콘 라텍스 고무의 중앙 홈 부분에 고정된 영구자석, 측정 홀 소자 내장된 위치, 여러 기능을 갖는 소프트한 버튼식 스위치, 그리고 집계형 스프링을 Fig. 1(b)에 보였다.

본 연구에서 사용된 저주파 침전기자극기(acupuncture electrical stimulator, AES)는 강원도 원주시 동화 침단의료기

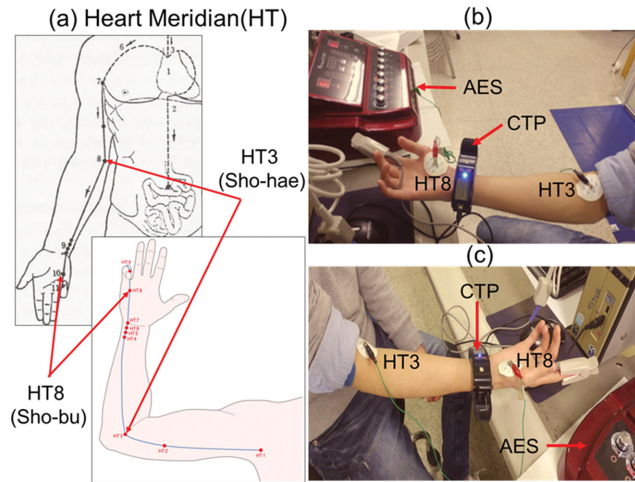


**Fig. 1.** (Color online) (a) Photo of pulsometer (model spuls-2011) composed of clip part, measurement part, LED, USB part, and display of representative pulse waves and characteristic points. (b) Photo of pulsometer equipped with sensing part Hall device, clip-type spring, permanent magnet, and switches.



**Fig. 2.** (Color online) Photo of low frequency acupuncture electrical stimulator (AES) composed setting display part, intensity control volume, connecting wire part, and clip arranging magnetic plate.

기단지 소재 (주)굿플 회사의 제품으로 모델 GP-302N이었다 [13]. Fig. 2는 실제로 사용한 침전기자극기의 사진이다. 이 기기는 경피신경 자극기(transcutaneous electrical nerve stimulation, TENS)라고도 불린다. 2개의 전극에 전류를 흘려 전기자극을 가하는 2 인용 기기이다. 전기적 근육자극 운동기도 같은 종류이다. 그리고 AES 기기를 통해 통증부위의 반복적인 수축과 이완은 신경을 안정시키고 혈류의 통로를 촉진시켜 통증을 치료한다. 근육의 수축과 이완을 반복시킴으로써 효과를 주어 근육의 수축운동은 쇠약된 신체기능을 강화시키고 지방세포에 작용하여 비만을 치료한다. AES 기기의 특징들로서는 250 Hz 미만의 펄스전류를 흐르게 하며, 직접 통증부위를 통하게 하여 자극한다. 스위치 조작을 통해 저주



**Fig. 3.** (Color online) (a) The schematics of human upper body representing Heart Meridian (HT) from the armpit center to the forearm composed of two acupoints of Sho-hae(HT3) and Sho-bu(HT8) (Ref. [14]). Two photos of measurement appearance by using clip-type pulsimeter (CTP), PPG sensor, and two surface electrodes, wires, and clips according to (a) before and (b) after AES treatment.

과 파형, 세기, 동작시간, 저주파 전류의 주파수 등의 조절기능과 CPU로 제어되는 자동 프로그램(auto mode, manual mode) 기능, 터치 패널 적용과 안전기능 등이 있다. 본 연구의 실험은 심혈관기능에 관련하여 팔에 위치한 2개 경혈점을 선택하여 침 대신 일회용 표면전극을 사용하였다. 일회용 표면전극은 스티커 처리되어 있고, 표면에 있는 필름지를 벗겨내면 속에 스티커 영역과 전해질이 묻어있는 전극 영역과 주로 은/염화은(Ag/AgCl)과 젤(gel)로 구성되어 있다.

Fig. 3(a)에서 보였듯이 팔의 2개의 표면 전극을 붙인 곳은 팔목과 손바닥 부위에 “소해(Sho-hae, HT3)”와 “소부(Sho-bu, HT8)”의 위치로, 겨드랑이 중앙의 극천혈에서 시작하여 팔뚝 안쪽을 지나 새끼손가락 안쪽 소충혈에 이르는 한의학적 경락의 수소음 심경(Heart Meridian, MT)인 줄기에 있다[14]. 이러한 두 경혈점을 자극함으로써 심혈관 질환과 상열(위가 뜨겁다.머리/심장/뺨는 차가워야 한다), 불면증, 정신질환을 치료한다. 실험 방법과 순서는 다음과 같다. ① 먼저 피 실험자의 혈압을 측정한다. ② 측정한 것을 기록지에 적는다. Fig. 3(b)와 같이 ③ 반도체 홀효과센서 집게형 맥진기로 맥진파형을 측정한다. ④ 맥진파형이 나온 그림을 PC에 저장한다. ⑤ 저주파 자극기의 전원을 누른다. ⑥ 저주파 자극기의 전극을 수소음 심경 경락의 하나의 경혈점인 “소해(HT3)”라는 경혈점에 전극을 부착하고 또 다른 경혈점에서 “소부(HT8)”라고 부르는 곳에 전극을 부착한다. ⑦ 맥진기를 손목의 요골동맥 부위에 장착하고 광용적 맥파기(PPG)를 왼손의 검지에 끼운다. ⑧ 저주파 자극기를 통해서 측정을 하는데 먼저 5분 동안

주파수를 8 Hz, 자극세기 10단계로 선택해 측정한다. ⑨ 측정을 하면서 맥진파형이 정확하게 나온 것을 선택해서 그림파일로 저장한다. ⑩ 주파수를 15 Hz, 자극세기 10단계로 맞추고 측정을 하고 마친 가지로 모양이 정확하게 나온 파형을 그림파일로 저장한다. ⑪ 주파수를 30 Hz, 자극세기 10단계로 맞추고 측정한 다음 정확하게 나온 파형을 그림파일로 만들어서 저장한다. Fig. 3(c)에서 보여주는 것과 같이 ⑫ 저주파 자극기로 측정이 끝났으면 저주파 자극기의 전원을 끄고 저주파 자극기의 전극을 떼어내고 맥진파형을 측정한다. ⑬ 측정한 파형을 그림파일을 만들어서 저장한다. ⑭ 마지막으로 팔에 부착한 일회용 표면전극을 떼어내고 혈압을 측정하고 측정한 혈압을 기록지에 적고 저장한 파일을 분석해서 새로 파일을 만들어 저장한다. ⑮ 매주 3번 측정을 정례화하고 7개월 동안 80번 이상 측정한 데이터를 확보한 것을 분석한다.

### III. 실험 결과 및 토의

본 연구에서는 저주파 치료기를 이용하여 팔뚝과 손목에 두 개의 경혈점들에 붙인 두 전극 사이로 전기자극하여 인체의 심장으로부터 팔로 거쳐 손까지 이르는 혈관흐름 상태에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위해 요골동맥의 맥진파형의 지표로 측정하고 분석 연구 하는 것이다. 연구에 참여한 피 실험자는 20대 초반 남자 1명이었다. 실험기간은 2019년 3월초부터 9월 말까지 27 주간으로 매주 월, 수, 금요일 오전 10시로 정해진 시간에 각 1번씩 저주파 자극치료와 혈압, 심박수 및 맥진 생체정보를 측정하였다. 모두 80번 횟수의 저주파 자극치료 전과 후의 데이터들을 비교한 결과를 분석하였다.

오른손의 상완 팔 부근에서 커프형 디지털 혈압계를 사용하여 수축기 혈압(고혈압, SBP)와 이완기 혈압(저혈압, SBP), 심박수(HR)를 측정하였다. 왼손에 집게형 맥진기를 사용하여 얻은 맥진파형의 주요인자로 수축기 시간(S.time) 등의 각 측정값들을 저주파 자극치료 전과 후에 각각 측정하였다. 집게형 맥진기로 측정된 맥진파형을 분석하여 맥진의 주요인자인 수축기 피크의 크기와 시간, 반사파 피크의 크기와 시간, 절흔점 피크의 주기와 시간, 중복파 피크의 크기와 시간, 주기를 연속되는 5개의 구간을 맥진파형의 1차, 2차, 3차 미분을 통해 얻어 그 모든 값들과 평균값들을 Fig. 4(a)처럼 상세하게 제시하게 된다.

Fig. 4(a)는 집게형 맥진기로 측정된 요골동맥 맥진파형을 단계별로 분석한 차트를 나타낸 것이다. Fig. 4(a)의 상단에 있는 파형은 원래 맥진파형의 모양이다. 이 원래 맥진파형을 필터링한 분석용 파형의 모양이 중간에 있는 파형이다. 각 맥진파형의 최고점과 최저점을 얻기 위한 1차미분이 적용된 파형모양을 중간 맥진파형 바로 아래와 같이 나타내었다. 또한

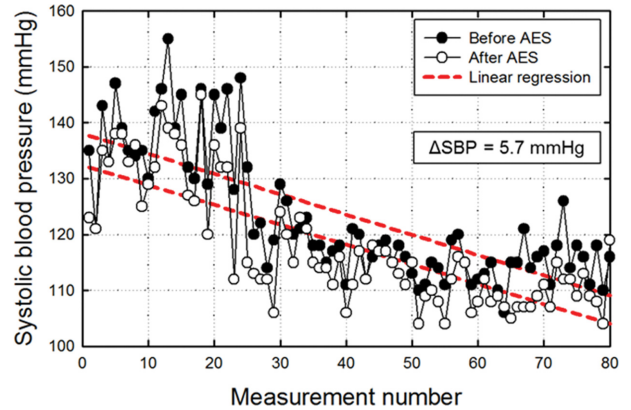




**Fig. 4.** (Color online) (a) Raw data, (b) filtering data, and (c) analysis table for the pulse wave measured by using the clip-type pulsimeter. The S.time obtained by the first, second, third differential methods for the average values of five continuous pulse waveforms. (d) The schematic of measuring principle of radial artery's pulse depending on a distance between Hall device and permanent magnet. (e) The output amplitudes (mV) and time (ms) corresponding to a starting point and a systolic peak point with a minimum amplitude and a maximum amplitude, respectively.

점선으로 구분한 주기적인 맥진파형을 연속된 5개의 맥진파형 구간으로 선택하여 2차 미분과 3차 미분을 걸쳐서 얻어진 맥진파형을 분석한 결과를 하단에 있는 표로 나타내었다. 맥진파의 주요 인자를 각 구간마다 수합하여 정한 뒤 맨 하단 노란색으로 표시된 평균값으로 나타내었다[20]. 맥진파형의 주요 인자들은 수축기 크기(S.amp), 반사파 크기(R.amp), 절흔점 크기(N.amp), 수축기 시간(S.time), 수축기 크기/시간(S.amp/S.time), 반사파 시간(R.time), 절흔점 시간(N.time), 그리고 맥파 주기(P.time) 등이다. 맥진파형이 시작하는 시작점에서 수축기 크기를 나타낸 피크치 까지 해당하는 시간인 수축기 시간(S.time)을 가장 유의성이 있는 주요인자로 택하였다. 수축기 시간은 혈관 유순도에 따른 혈압과 요골동맥 맥진파형의 수축기 시간의 연관성을 갖고 있어서 수축기 시간이 감소되거나 늘어날 경우에는 이에 따라 수축기 혈압과 이완기 혈압은 줄어들게 되는 특성을 갖고 있다[12,15,16].

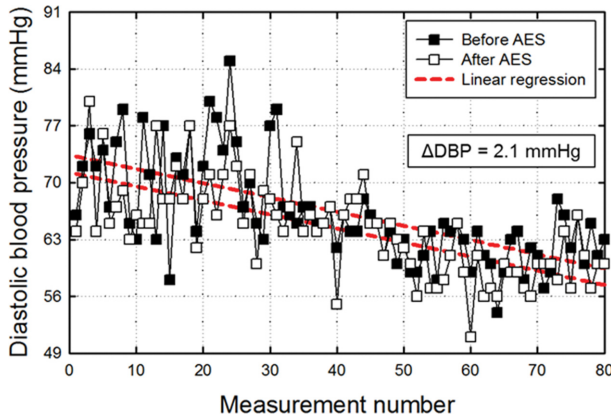
Fig. 1에서 설명했듯이 집게형 맥진기의 피부접촉 부분에 소프트하게 밀착되어 있는 영구자석은 요골동맥의 맥박의 진동에 따라 쉽게 변화 될 수 있도록 탄성이 좋은 라텍스 고무의 중앙에 고정되어 있다. Fig. 4(b)처럼 요골동맥의 수직 변위에 따라 자석의 위치도 변하게 되면, 자석의 변위에 따라 일정거리에 있던 홀효과센서에 받아들여지는 자기장의 세기도 변하게 된다. 이렇게 변하는 자기장이 통과하는 홀소자의 출력은 전압신호로 나타내게 된다[12-15]. Fig. 4(c)에 보여준 대표적인 맥진파형의 모양에서 영구자석과 홀소자 거리가 가장 가까운 상태인 맥파의 시작점(S)부터 거리가 가장 떨어진



**Fig. 5.** (Color online) The systolic blood pressure(SBP) versus measurement number of 80 during 7 months of one young male participant before (●) and after (○) low frequency therapy treatment during 5 min by using the acupuncture electrical stimulator (AES). The mean difference of SBP by linear regression analysis is  $\Delta$ SBP = 5.7 mmHg.

상태인 수축기 최고점(P)까지의 시간을 수축기 시간(S.time)으로 정의하였다.

Fig. 5는 저주파 전기자극 치료(저주파 자극 주파수 3단계: 8 Hz, 15 Hz, 30 Hz, 자극세기: 세기 각 10단계, 자극시간: 각 5분씩) 전과 후 차의 수축기 혈압(SBP)을 분석해본 결과이다. 80개의 데이터 중 77개의 데이터가 저주파 치료 후 혈압이 감소함을 보였다. 즉, 96%가 수축기 혈압이 전기자극 치료 후가 치료 전보다 줄어들었다. 저주파 전기자극 치료 전

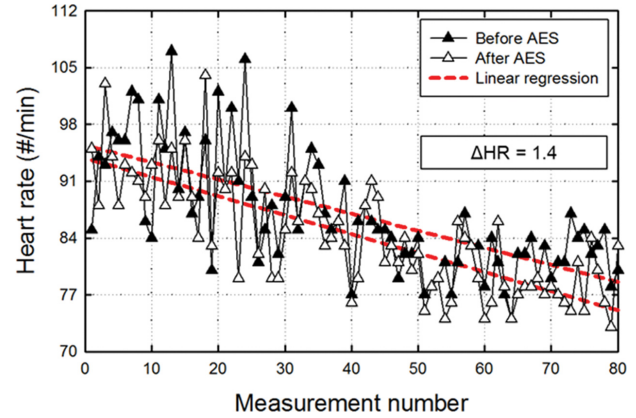


**Fig. 6.** (Color online) The diastolic blood pressure(DBP) versus measurement number of 80 during 7 months of one young male participant before (■) and after (□) low frequency therapy treatment during 5 min by using the acupuncture electrical stimulator (AES). The mean difference of SBP by linear regression analysis is  $\Delta DBP = 2.1$  mmHg.

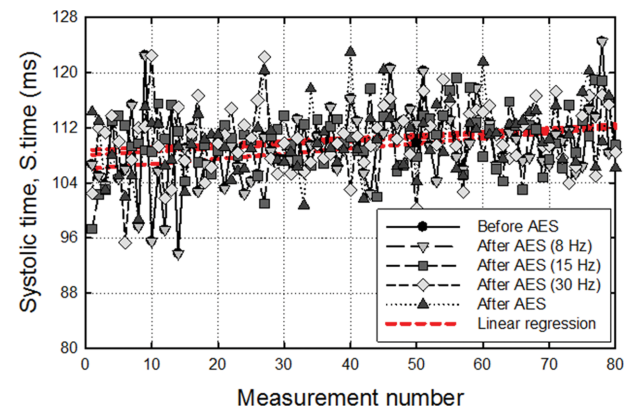
과 후의 모든 수축기 혈압 데이터들을 볼 때, 시간이 지나 측정회수가 많아질수록 전체적으로 감소함을 알 수 있다. 시그마 플롯의 선형회귀 분석에서 상관계수의 제곱은  $R^2 = 0.58$ 로 초기 수축기 혈압이 124.1 mmHg부터 118.4 mmHg까지 감소하여 평균 수축기 혈압의 차이는 5.7 mmHg이었다.

Fig. 6은 저주파 전기자극 치료(저주파 자극 주파수 3단계: 8 Hz, 15 Hz, 30 Hz, 자극세기: 각 10단계, 자극시간: 각 5분씩) 전과 후 차의 이완기 혈압을 분석해본 결과이다. 80개의 데이터 중 61개의 데이터가 저주파 치료 후 혈압이 감소함을 보였다. 수축기 혈압의 감소 특성보다 작은 76%가 이완기 혈압이 전기자극 치료 후가 치료 전보다 줄어들었다. 저주파 전기자극 치료 전과 후의 모든 이완기 혈압 데이터들을 볼 때, 시간이 지나 측정회수가 많아질수록 전체적으로 감소함을 알 수 있다. 시그마 플롯의 선형회귀 분석에서 상관계수의 제곱인  $R^2 = 0.45$ 로 초기 이완기 혈압이 66.4 mmHg부터 64.3 mmHg까지 감소하여 줄어든 평균 이완기 차이 혈압은 2.1 mmHg이었다.

디지털 커프(cuff)형 혈압계로 측정하는 심장의 운동에 의존하는 주요한 생체정보의 변수들인 수축기 혈압과 이완기 혈압 이외에 심박수가 있다. 심박수는 심장이 1분 동안 뛰는 횟수로 정의되며, 정상인은 분당 약 70회이지만 개인마다 차이가 커서 50~100회 정도를 정상 범위로 보고 있다. 일반적으로 신생아는 높고 운동선수 등은 낮다. 심박수는 활동전위 주기와 같고, 박동원전위주기에 의존한다. 심박수 변화요인에는 체온변동, 운동, 수면, 섭식 상태, 감정동요 등이 있다[17]. Fig. 7은 저주파 전기자극 치료 전과 후 차의 심박수를 분석해본 결과이다. 수축기 혈압과 이완기 혈압이 감소함을 보인 반면에, 80개의 데이터 중 20개의 데이터가 저주파 치료 후



**Fig. 7.** (Color online) The heart rate (HR) versus measurement number of 80 during 7 months of one young male participant before (▲) and after (△) low frequency therapy treatment during 5 min by using the acupuncture electrical stimulator (AES). The mean difference of SBP by linear regression analysis is  $\Delta HR = 1.4$  /min.



**Fig. 8.** (Color online) The systolic time(S.time) versus measurement number of 80 during 7 months of one young male participant before (●) and after (triangles, diamond, square) 8 Hz, 15 Hz, and 30 Hz low frequency therapy treatment during 5 min by using the acupuncture electrical stimulator (AES). Three mean differences of S.time by linear regression analysis for 8 Hz, 15 Hz, and 30 Hz are  $\Delta S.time = 0, 2.0$  ms, and 2.6 ms, respectively.

에 측정된 심박수는 감소함을 보였다. 수축기 혈압과 이완기 혈압에 비해 작은 비율인 75%가 전기자극 후가 치료 전보다 심박수가 감소하였다. 저주파 전기자극 치료 전과 후의 모든 심박수 데이터들을 볼 때, 시간이 지나 측정회수가 많아질수록 전체적으로 증가함을 알 수 있다. 시그마 플롯의 선형회귀 분석에서 상관계수의 제곱인  $R^2 = 0.41$ 로 초기 심박수가 분당 87부터 85.6까지 감소하여 평균 심박수 차이는 1.4 이었다.

또한 저주파 전기자극 전과 후에 대한 요골동맥의 맥진파형을 집게형 맥진기로 측정하고 그 맥진파형을 분석한 결과에서 주요인자인 수축기 시간인 S.time에 대해 수축기 혈압 데이터 분석과 같은 방법으로 수행한 결과를 Fig. 8에 나타

**Table I.** Mean values, mean difference values in the p-value of 0.05 as results of four parameters(SBP, DBP, HR, and S.time) between before and after by using AES treatment.

Analysis parameters	Conditions of electrical stimulation during 5 min by using AES						
	Before AES	After AES		Difference (D)			
SBP (mean)	124.1 mmHg	118.4 mmHg		5.7 mmHg			
DBP (mean)	66.4 mmHg	64.3 mmHg		2.1 mmHg			
HR (mean)	87.0 /min	85.6 /min		1.4 /min			
S.time (mean)	106.0 ms	8 Hz	Δ	15 Hz	Δ	30 Hz	Δ
		106.0 ms	0	108.0 ms	2.0 ms	108.6 ms	2.6 ms

냈다. 맥진파형 측정 전에 행한 저주파 전기자극의 조건에서 주파수는 3 가지로 8 Hz, 15 Hz, 30 Hz로 강도세기는 팔뚝의 두 단자인 경혈점 소해와 소부에서 느끼는 자극의 떨림이 안정화되는 최대 10 단계를 택하였다. 그리고 각 주파수별로 5 분간 자극시간을 유지하였다. 저주파 자극 전에 측정된 맥진파형의 평균 S.time은 106.0 ms이었다. 8 Hz, 15 Hz, 30 Hz 전기자극 후 평균 S.time의 값들은 각각 106.0 ms, 108.0 ms, 108.6 ms이었다. 요골동맥의 맥진파형을 활성화하여 혈류를 개선하는 데 알맞은 저주파 전기자극 효과는 주파수가 15 Hz 이상임을 알 수 있었다. S.time이 가장 크게 증가한 주파수는 30 Hz로 그 차이는 2.8 ms이었다.

피실험자 남학생의 수축기 혈압(SBP), 이완기 혈압(DBP), 심박수(HR) 와 수축기 시간(S.time)에 대한 전기자극 치료 전과 후 평균값과 차이의 데이터 분석은 유의성 확률(probability value, p-value) p-값이 0.05 이하 범위 내에서 수행되어 분석 결과를 정리하여 Table I에 나타냈다. Table I에서 알 수 있듯이 대체적으로 저주파 전기자극 후 평균 수축기 혈압과 이완기 혈압, 심박수는 각각 124.1 mmHg와 66.4 mmHg, 87 /min에서 5.7 mmHg와 2.1 mmHg, 1.4 /min 차이 만큼 감소하였다. 평균 수축기 시간은 2.0 ms와 2.6 ms 정도 증가하였다. 수축기 시간은 자극 전 106 ms보다 30 Hz로 저주파 전기자극 후에 2.6 ms 정도 증가한 108.6 ms로 나타난 결과로 비추어 볼 때 자극 주파수가 8 Hz와 15 Hz보다는 30 Hz가 훨씬 혈관 흐름을 상승하는 효과를 주고 있다. 저주파 전기자극이 인체에 혈압의 안정화와 혈류 흐름을 효과적으로 상승시켜 혈압을 낮추는 심혈관 상태를 안정화됨을 알 수 있었다. 본 연구진이 혈관 유순도에 따른 요골동맥 맥진파형의 수축기 시간의 연관성을 알아보기 위해 선행 연구하여 발표한 자발적인 운동효과와 수동적인 온열치료 효과의 결과와 비교하였는바[11,18] 비슷한 수축기 시간의 경향성을 보였다.

## V. 결 론

저주파 치료 효과가 검증된 의료기기인 침전기자극기와 영

구자석과 홀효과센서가 구비된 집게형 맥진기를 사용하여 수 소음 심경 두 개의 경혈점인 소해(Sho-Hae, HT3)와 소부(Sho-Bu, HT8)에 전기자극 전과 후의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박수의 변화 특성을 관찰하였다. 7개월 동안 측정된 80회의 데이터를 분석하여 저주파 치료기의 자극조건에 따른 요골동맥의 맥진파형 특성을 조사하였다. 20대 남자인 피 실험자의 저주파 전기자극 전은 평균 수축기 혈압과 이완기 혈압, 심박수, 수축기 시간은 각각 124.1 mmHg와 66.4 mmHg, 87 /min, 106 ms이었다. 전기자극 치료 후에서 평균 수축기 혈압과 이완기 혈압, 심박수, 수축기 시간은 각각 118.4 mmHg와 64.3 mmHg, 85.6 /min, 108.6 ms으로 변화하였다. 그 결과 평균 수축기 혈압과 이완기 혈압, 심박수는 각각 5.7 mmHg와 2.1 mmHg, 1.4 /min로 줄었고, 수축기 시간은 2.6 ms로 늘어났다. 특히, 요골동맥 파형의 수축기 시간은 5분 동안 단계별 자극 주파수 8 Hz, 15 Hz, 30 Hz 전기자극 후 평균 S.time의 값들은 각각 106.0 ms, 108.0 ms, 108.6 ms이었다. 이로써 요골동맥의 맥진파형을 활성화하여 혈류를 개선하는 데 알맞은 저주파 전기자극 효과는 주파수가 15 Hz 이상이었다. S.time이 가장 크게 증가한 주파수는 30 Hz이고 그 차이는 2.8 ms이었다. 저주파 전기자극이 인체에 혈압의 안정화와 혈류 흐름을 효과적으로 상승시켜 줄을 알 수 있었다.

## 감사의 글

이 논문은 2019년도 상지대학교 한방의료공학과 심화프로 그램의 캡스톤디자인 교육과정 지원에 의해 이루어진 연구 결과입니다.

## References

- [1] U. Bogataj, N. Gros, M. Kljajic, R. Acimovic, and M. Malezic, Phys. Ther. **75**, 490 (1995).
- [2] D. N. Rushton, Med. Eng. Phys. **25**, 75 (2003).
- [3] <https://www.fda.gov>, <https://www.mfds.go.kr>
- [4] IEC 60601-2-10 Medical electrical equipment - Part 2: Partic-

- ular requirements for the safety of nerve and muscle stimulators (2012).
- [5] P. Dobsak, M. Novakova, J. Siegelova, B. Fiser, J. Vitovec, M. Nagasaka, M. Kohzuki, T. Yambe, S. Nitta, J. C. Eicher, J. E. Wolf, and K. Imachi, *Circ. J.* **70**, 75 (2006).
- [6] W. H. Lee, Y. H. Rho, S. S. Hyeon, J. B. Song, and S. S. Lee, *Insights in Blood Pressure* **2**, 2 (2016).
- [7] S. S. Lee, G. W. Kim, M. C. Ahn, Y. S. Park, J. G. Choi, S. D. Choi, D. H. Park, D. G. Hwang, and H. R. Yoon, *J. Biomed. Eng. Res.* **28**, 721 (2007).
- [8] D. H. Nam, W. B. Lee, Y. S. Hong, and S. S. Lee, *Sensors* **13**, 4714 (2013).
- [9] U. Ausserlechner, *J. Sensors* **2016**, Article ID 5625607 (2016).
- [10] I. H. Son, K. H. Kim, J. G. Choi, D. H. Nam, and S. S. Lee, *IEEE Trans. Magn.* **47**, 3063 (2011).
- [11] D. J. Lee, S. H. Kim, J. H. Jeong, and S. S. Lee, *J. Korean Magn. Soc.* **28**, 105 (2018).
- [12] D. J. Lee, S. H. Kim, J. H. Jeong, J. O. Ji, and S. S. Lee, *New Physics: Sae Mulli* **68**, 1035 (2017).
- [13] <https://www.goodpl.kr>.
- [14] <https://www.kmcri.com/knowledge/acupoint/HT>.
- [15] M. F. P. O' Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, *The Arterial Pulse*, 1st ed. (Lea & Febiger: Philadelphia, PA, USA, 1992).
- [16] A. Fronck, *Noninvasive Diagnosis in Vascular Disease* (McGraw Hill, New York, 1989).
- [17] H. S. Cho and S. S. Lee, *J. Korean Magn. Soc.* **22**, 178 (2012).
- [18] G. S. Lee, J. Y. Kim, and S. S. Lee, *J. Korean Magn. Soc.* **29**, 17 (2019).