The Characteristics of Peripheral Blood Flow Velocity Measured by a Semiconductor Hall Device Clip-Type Pulsimeter and PPG for the Effect of Shoulder Thermal Treatment

Seung-Yun Lee, Hye-Ji Han, and Sang-Suk Lee*

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

(Received 25 August 2021, Received in final form 15 September 2021, Accepted 23 September 2021)

The average life expectancy of modern people is rapidly increasing due to the development of medicine. The shoulder thermotherapy device (STD) used as a home medical device is studied for the purpose of relieving muscle pain in the upper part of the human body. The peripheral blood flow velocity (PBFV) could be measured from the two waveforms obtained by simultaneously measuring the pulse waves obtained by using a Hall element clip-type pulsimeter in the radial artery of the wrist and a photo-plethysmography (PPG) in the finger. Two women in their 20s with normal blood pressure used the STD by twice per a week for 13 weeks and compared before, middle, and after treatment, the PBFV improved by 12% to 17%.

Keywords: Hall element, permanent magnet, photo-plethysmography (PPG), peripheral blood flow velocity (PBFV), shoulder thermotherapy device (STD)

어깨온열치료 효과에 따른 반도체 홀소자 집게형맥진기와 **PPG**로 측정한 말초혈류속도 특성 연구

이승윤 · 한혜지 · 이상석*

상지대학교 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 26339

(2021년 8월 25일 받음, 2021년 9월 15일 최종수정본 받음, 2021년 9월 23일 게재확정)

의학이 발전함에 따라 현대인들의 평균수명이 급격하게 증가하고, 주요 관심사가 건강을 오랫동안 유지하는 것이 되었다. 가정용 의료기기로 사용되는 어깨온열치료기는 인체 상부의 근육통을 완화시키는 목적으로 사용되고 있다. 본 연구는 이 기기가 말 초혈류속도에 대한 어떠한 긍정적인 효과를 가져오는지를 알아보기 위해 그 특성 변화를 조사하였다. 손목 요골동맥에 홀소자 집 게형맥진기와 손가락에 광용적맥파계를 사용하여 얻은 맥진파를 동시에 측정하여 얻은 두 가지 파형들로부터 말초혈류속도를 측정할 수 있었다. 정상 혈압을 가진 20대 여성 2명이 어깨온열치료기를 사용하여 13주간 주 2회 치료 전과 치료 중, 치료 후를 비교한 결과 말초혈류속도가 12%~17% 정도 향상됨을 보였다.

주제어 : 홀소자, 영구자석, 광용적맥파계, 말초혈류속도, 어깨온열치료기

I. 서 론

최근 4차 산업화 진입과 스마트형 IT(information technology) 기기의 빈번한 사용으로 인해 불안정한 자세, 장시간 작업을 하며 제한된 움직임으로 인해 거북목, 둥근 어깨, 근육통 등과 같은 질환이 현대인들에게 급격히 나타나고 있다. 이러한

자세에 지속적으로 노출될 경우 머리를 지탱하고 있는 목의 하중이 지렛대의 원리로 인해 최대 7배의 충격이 전달된다고 전문가들은 말하고 있고, 이와 같은 자세는 목덜미의 뻐근한 증상이나 어깨나 팔의 통증, 두통, 만성피로 등의 증상을 유발할 수 있다[1]. 특히 65세 이상 사람들 중에서는 거의 절반에 육박하는 45.5%가 어깨 통증을 경험한다는 연구 결과도 있다[2]. 현대의학이 발전함에 따라 현대인들의 평균수명이 급격하게 증가하여 어떻게 하면 건강을 오래 유지할 수 있을까가 주요 관심사가 되었다. 인구 고령화에 따른 질병이

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved. *Corresponding author: Tel: +82-33-730-0415,

Fax: +82-33-738-7610, e-mail: sslee@sangji.ac.kr

증가하여 질병 치료에 사용되는 의료 부담이 커지고 있는데 이러한 의료비 부담을 줄이기 위해 많은 자가 치료가 행해지고 있으며, 가정용 개인 온열치료 자극기가 널리 사용되고 있다[3-5]. 온열치료는 열을 이용해서 몸을 회복시키는 현대적치료법이다.

인체의 온도가 36.5 °C를 기준으로 체온이 1 °C 내려가면 신진대사가 12% 감소하고 면역력이 30% 저하된다. 또한 혈액순환 장애로 인한 각종 질환 발생하고, 변비, 위궤양, 당뇨병, 골다공증의 위험과 파킨슨병, 치매의 발병 원인이 된다[6]. 이를 예방하기 위해 쓰이는 온열치료(heating therapy)가신진대시를 증가시키고, 관절의 경직과 근육통을 완화시킨다[7]. 통증을 완화하는 방법으로는 물리 치료, 약물 치료, 초음파와 온열치료 등이 있다. 그 중 온열요법과 마사지는 현재많이 이용되는 오래된 치료로 알려져 있다. 또한 조직의 유연성에 도움을 줄 수 있고, 근 경련의 감소와 혈류량을 증가시키는 작용과 근육을 이완시키는데 도움이 된다. 이 외에도 온열치료는 뇌하수체 자극으로 호르몬 분비 촉진을 시키고 평형 조절을 하며 성인병 치료에도 큰 효과를 볼 수 있다[8]. 따라서 가정에서도 손쉽게 사용할 수 있는 온열 자극치료기의 수요가 급격하게 증가하고 있다.

본 연구는 개인용 온열치료의 종류 중 하나인 어깨온열치료기(shoulder thermotherapy device, STD)를 사용하여 인체 내 근육통을 완화시켜 어깨온열치료기의 효과가 인체의 생체 신호인 말초혈류속도 개선에 효과가 있는지 검증하고자 연구를 진행하였다. 어깨온열치료기가 우리 몸에 미치는 긍정적인 효능과 효과를 알아보기 위해 파일럿실험(pilot test)으로 진행하였으며 상시 혈압이 거의 비슷한 정상혈압군의 두 명의 피실험자들로 택하였다. 손목과 손가락에 각각 착용한 집 게형맥진기(clip-type pulsimeter, CP)와 광용적맥파계(photoplethysmography, PPG)로부터 동시에 얻은 두 개의 맥진파형들을 분석하였고, 인체의 면역을 높이기 위한 온열치료 효과에 따라 물리적인 생체정보 변수인 수축기혈압과 말초혈류속

도의 특성 변화를 조사하였다.

II. 실험 방법

먼저 인체의 혈관 순환시스템의 기준치를 온열치료 전후로 수축기 혈압을 선택하였다. Fig. 1(a)에서 보여준 것처럼 오실 로메트릭 디지털 전자혈압계(oscillometric digital electric pressure meter)를 이용하여 오른손 팔뚝에 커프의 공기 압력 을 가하여 수축기혈압과 이완기혈압을 측정하였다. 또한 사용 된 어깨온열치료기(model: CDM-300)는 의료기기로서 강원도 원주시 소재 (주)천궁의료기에서 생산되고 있는 제품이다[3,9]. 이 제품의 특징으로는 전열선에 의해 열 내구성이 우수한 인 조가죽으로 이루어진 온열 패드가 데워질 때, 어깨의 피부가 뜨끈한 온열효과를 느끼는 데 도움이 되도록 세라믹 도자를 세련되게 배열하였다. 자기장의 적게 발생되는(non-magnetic field) 열선을 사용하였고, 접지 회로를 채택하여 전기장을 감 소시켰다. 또한 이중 안전장치로 온도센서와 바이메탈을 사용 하여 과전류 방지 기능이 적용된 제품이다. Fig. 1(b)처럼 피 실험자 상체에 착용한 어깨온열치료기는 버튼 형태의 디지털 방식으로 정확한 온도 설정이 가능하며 현재 온도를 확인할 수 있는 저전력 전기설계 시스템을 갖추었다.

Fig. 2(a)는 어깨온열치료기를 사용전과 사용중, 그리고 사용후에 집게형맥진기와 광용적맥파계를 사용하여 동시에 두개의 맥진파형을 측정하는 모습을 보인 것이다[10-12]. Fig. 2(b)에서 동시 측정한 맥진파형과 PPG 파형을 각각 파란색과 하늘색으로 나타내었다. 수축기혈압(systolic blood pressure, SBP)과 이완기혈압(diastolic blood pressure, DBP), 맥박수 (pulse rate, PR) 이외에 디지털 숫자로 보여주는 중요한 생체정보량과 변수들은 각각 산소포화도, 맥박수, 말초혈류속도 (peripheral blood flow velocity or SPWV: spatial pulse wave velocity)가 있다. 특히 말초혈류속도와 같은 공간맥파전달속도를 구하기 위해서는 분모에 해당하는 맥진파형 피크

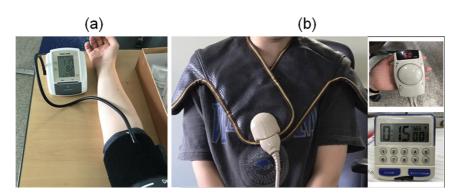


Fig. 1. (Color online) (a) Wearing oscillometric electric pressure meter to measure SBP and DBP. (b) Subject feature wearing one shoulder thermotherapy device (STD) (Model CDM-300) for heat treatment at 60 °C during 15 min.

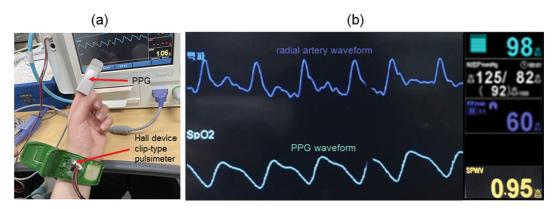


Fig. 2. (Color online) (a) Actual feature of using clip-type pulsimeter (CP) and photo-plethysmography (PPG) to measure oxygen saturation (SpO₂), pulse rate (PR), and peripheral blood flow velocity (PBFV) or spatial pulse wave velocity (SPWV), respectively. (b) Display panel for two waveforms with radial artery pulse (blue) and PPG (sky) and several digital values of SpO₂ (sky), SBP (white), DBP (white), PR (blue), and PBFV (or SPWV) (yellow). Here, L and τ are hand length and time difference of two maximum peaks between radial artery pulse and PPG pulse.

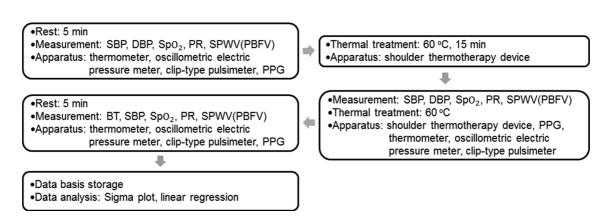


Fig. 3. Flowchart of the experimental process of measuring major bioinformation variables using a STD, thermometer, oscillometric electric pressure meter, and clip-type pulsimeter, and PPG.

와 PPG 파형의 피크 차이 값을 파형 분석을 통해 추출한 각 지점간의 시간 차이($\Delta \tau$) 로 나타내고, 거리에 해당하는 손목과 검지 손가락 끝 사이의 거리(L)는 입력된 환자 정보 중 손 크기를 기준으로 계산 할 수 있다. 이를 수식으로 표현하면 SPWV인 PBFV는 Eq. (1)과 같이 된다[11].

$$PBFV = \frac{L}{\Delta \tau} \tag{1}$$

파일럿실험 측정순서는 Fig. 3에 나타낸 것처럼, 먼저 어깨 온열치료기를 사용 전 5분간의 휴식을 한 후, 체온계를 사용하여 체온을 측정한다. 광용적맥파계를 사용해 산소포화도 (SpO₂)와 맥박수를 측정한 후 동시에 집게형맥진기를 사용해 말초혈류속도를 측정한다. 이어서 혈압을 측정하는 오실로메트릭법(oscillometric method)으로 커프(cuff)에 공기압을 가하였다가 천천히 공기압을 뺄 때 동맥혈관 위의 커프에 생기는 압력진동의 크기를 압력센서에 의해 감지, 기록하여 수축기혈압을 측정한다. 어깨온열치료기를 사용 전 모든 생체정보 변

수들의 측정을 마치면 어깨온열치료기의 온도를 60 °C로 설정한 후 15분간 착용한다. 어깨온열치료기 착용 15분 후, 온열치료기의 온도를 60 °C로 유지한 상태에서 SPWV, SpO₂, PR를 측정한다. 그 후 어깨온열치료기를 벗고, 사용 후 5분 동안 휴식을 취한다. 그 이유는 사용 중과의 시간적 차이를 만들어 온열치료 후의 효과가 생기기 위함이다. 5분간의 휴식 후 체온, SpO₂, PR, SPWV을 차례대로 측정하여 사용전과 후의 변화를 확인한다. 어깨온열치료기를 사용 전, 사용중 그리고 사용 후에 각각 측정하여 확보한 데이터들을 시그 마플롯(Sigma plot)을 통해 그래프로 나타내어 선형회귀분석 (linear regression analysis)으로 경향성을 확인하고 평균값과 표준편차를 비교하였다[3].

III. 실험결과 및 토의

본 연구는 어깨온열치료기 사용 전과 사용 중 및 사용 후 에 연속적으로 측정한 맥박수와 산소포화도 파형을 이용하여

말초혈류속도에 대한 특성 비교를 위해 실험을 수행하였다. 임상실험 대상자는 평소 정상 혈압인 20대 여성 2명 (subject-1, subject-2)으로 선정하였다. 임상실험 대상자에 대한 맥진 파형 연속 측정 시 요골동맥이 있는 손목 피부 표면에 닿은 영구자석이 움직임에 따라 미세하게 변한다. 맥진 파형은 자성의 세기가 맥진센서의 수직면으로 통과할 때 전기적 신호로 변환되는 홀소자가 구비된 집게형맥진기를 이용하여 얻었다. 실험기간은 2021년 4월 초부터 6월 말까지 13주간으로 피실험자 2명인 subject-1와 subject-2가 매주 화요일과 목요일 오후 3시와 5시로 정해진 시간에 각 1번씩 온열치료와 혈압, 심박수 및 맥진 파형 등의 생체정보를 측정하였다. 모두 27번 횟수로 어깨온열치료 전과 후의 데이터들을 비교한 결과를 분석하였다.

말초혈류속도는 말초혈관을 통해 혈액이 전달되는 속도를 집게형맥진기와 PPG를 사용하여 측정한다. 집게형맥진기로 요골동맥 중앙부에 영구자석을 부착하여 맥의 움직임에 따라 발생하는 자기장의 변화를 홀센서로 얻은 요골동맥 파형과 PPG로 맥박수와 산소포화도를 알 수 있는 광용적 맥진파형을 동시에 비교하여 얻어진 말초혈류속도를 환자감시장치에 디스플레이 하였다. Fig. 4에서 보여주는 두 개의 각각의 파형 피크치의 시간차를 파악하고, 시간차에 의해서 손목에서 손가락까지 해당하는 길이로 나누어 말초혈류속도를 측정한 것이다. 대체적으로 맥박수가 빠른 사람의 경우 말초혈류속도가 느려진다[13].

Fig. 5는 어깨온열치료기를 사용하여 치료 전, 치료 중, 치료 후의 말초혈류속도에 대한 데이터의 경향성을 선형회귀분석으로 나타낸 것이다. 실험자들은 각각 수축기혈압이 127

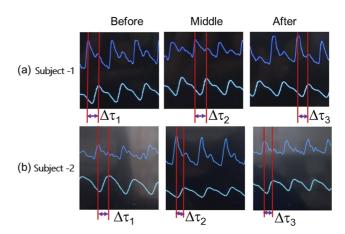


Fig. 4. (Color online) Radial artery pulse waveform and PPG waveform obtained from the simultaneous measurement of three status (before, middle, and after) by the clip-type pulsimeter and PPG mounted on the wrist and fingertip of the left hand for the subject-1 (a) and subject-2 (b), respectively. Here, $\Delta \tau_i$ are the time interval measured from the peaks of two pulse waveforms and the time interval between two systolic peaks in ith radial artery pulse wave, respectively.

mmHg~132 mmHg이고 이완기혈압이 78 mmHg~87 mmHg 정도로 정상 혈압을 가진 20대 여성 2명으로 실험을 진행하였는데, Fig. 5(a)에서 나타낸 Subject-1의 치료 전의 경우, 측정 횟수가 증가함에 따라 말초혈류속도가 감소하는 경향을 보이고 있고 Fig. 5(b)처럼 치료 중에도 치료 전과 비슷하게 감소하는 경향성을 띄고 있다. 또한 치료 후에는 치료 전과 치료 중의 경우보다 더 급격하게 감소하는 것을 Fig. 5(c)를 통해 알 수 있었다. Subject-1과 비슷하게 Fig. 5(d)와 Fig. 5(e)에 나타낸 것처럼 subject-2는 치료 전의 경우, 말초혈류속도가 감소하는 경향을 보이고 있고 치료 중에는 치료 전보

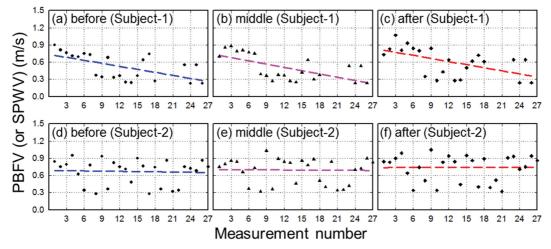


Fig. 5. (Color online) PBFV versus measurement number of 27 for two young females. Subject-1: (a) before, (b) middle, and (c) after, Subject-2: (d) before, (e) middle, and (f) after for the thermal treatment during 15 min by using the shoulder thermotherapy device (STD). Here short dash line is result of linear regression analysis for each data.

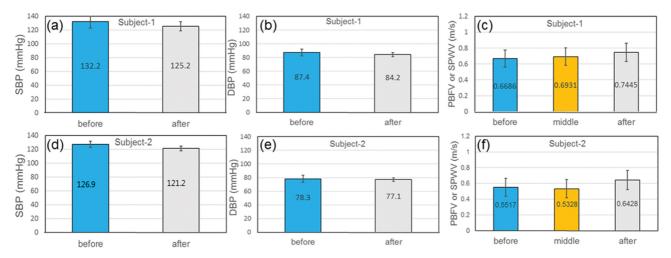


Fig. 6. (Color online) The mean values with standard deviation for the (a) and (d) SBP, (b) and (e) DBP, and (c) and (f) PBFV for two young females of subject-1 and subject-2 before and after thermal treatment during 15 min by using the shoulder thermotherapy device (STD).

다는 미미하게 감소하는 결과를 볼 수 있었다. Fig. 5(f)처럼 치료 후 또한 말초혈류속도가 감소하는 결과값을 얻을 수 있었다. 두 실험자의 결과값을 보면 어깨온열치료기를 사용함으로써 치료 전, 빠른 말초혈류속도를 완화시켜 감소하는 결과를 볼 수 있었고 subject-1이 subject-2보다 말초혈류속도가더 감소하는 경향을 보이고 있다.

먼저 subject-1의 수축기혈압 평균치와 표준편차를 알 수 있는 그래프인 Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)을 보았을 때 치료 전 수축기혈압의 평균값은 고혈압 전단계 수치인 132.2 mmHg을 나타내는데, 치료 후에는 혈압이 125.2 mmHg로 낮아지는 모 습을 볼 수 있었다. 표준편차 또한 줄어들어 평균에 집중적 으로 분포하여 있다는 것을 알 수 있었다. 이완기혈압도 마 찬가지로 87.4 mmHg로 고혈압 전단계를 의심할 수 있는데 모두 84.2 mmHg로 감소하였다. Fig. 6(c)에서 보인 말초혈류 속도가 치료 전 0.66 m/s에서 치료 중 0.69 m/s에서 치료 후 에는 0.74 m/s로 점차 증가하는 경향을 보이며 어깨온열치료 기의 효과를 볼 수 있었다. Subject-2의 실험결과 또한 수축 기혈압 126.9 mmHg, 이완기혈압 78.3 mmHg을 나타낸 Fig. 6(d)와 Fig. 6(e)에서 모두 실험 전에 비해 실험 후에 수축기 혈압 121.2 mmHg, 이완기혈압 77.1 mmHg로 낮아지는 모습 을 보였다. 하지만 Fig. 6(f)에서 보인 말초혈류속도는 0.55 m/s에서 치료 중에 0.53 m/s로 약간 감소하다가 치료 후에는 치료 전에 비해 0.64 m/s로 증가한 모습을 볼 수 있었다.

실험결과를 정리하면 정상혈압을 가진 20대 여성 실험자두 명을 실험대상자로 설정하였고 어깨온열치료기로 온열치료 전, 실험자 subject-1과 또다른 실험자 subject-2 모두 말초혈류속도가 측정 횟수에 따라 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 하지만 평균값 분석을 통해 치료 후일 때는 subject-1은 말초혈류속도가 12% 만큼 증가하고, subject-2는 말초혈류

속도가 17% 만큼 증가하여 전반적으로 subject-1과 subject-2의 말초혈류속도가 점차 개선되었다. 이러한 결과를 통해 어깨온열치료기가 정상혈압을 가진 건강한 사람의 말초혈류속도를 개선시키는데 도움이 된다고 볼 수 있다. 어깨온열치료기는 혈류속도 관련 질병을 진단하고 말초혈류속도를 개선시키기 위해서 디지털헬스케어기기로서 진단과 치료에 필요한데이터를 확보하여 지속적인 건강관리에 활용될 가능성을 제시할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

요즘 현대의학이 발전함에 따라 현대인들의 평균수명이 급 격하게 증가하고, 현대인들의 주요 관심사가 건강을 오랫동안 유지하는 것이 되었다. 따라서 가정용 어깨온열치료기는 인체 상부의 근육통을 완화시키는 치료의 목적으로 사용되고 있고, 이 기기가 말초혈류속도에 대한 어떠한 긍정적인 효과를 가 져 오는지를 알아보기 위해 집게형맥진기와 광용적맥파계를 사용하여 혈류속도를 측정하는 실험을 진행하였다. 손목의 요 골동맥 맥진파형과 손가락의 광용적 맥진파형을 동시에 측정 하여 말초혈류속도를 측정할 수 있었고 집게형맥진기, 광용적 맥파계와 혈압계를 이용하여 온열치료효과와 말초혈류속도, 그리고 수축기혈압의 변화를 관찰할 수 있었다. Subject-1의 치료 전 수축기혈압은 치료 후에는 125.2 mmHg로 낮아졌으 며, 이완기 혈압 또한 84.2 mmHg로 감소하는 경향을 보였다. 말초혈류속도는 0.66 m/s에서 치료 후에는 0.08 m/s만큼 증가 하여 0.74 m/s로 나타냈다. Subject-2의 경우도 모두 실험 전 에 비해 실험 후 정상혈압으로 나타나며, 말초혈류속도는 0.55 m/s에서 실험 중에 0.09 m/s로 만큼 증가하여 치료 후에 는 0.64 m/s로 나타냈다. 이로써 온열치료기기가 사용하기 전

보다 사용한 후 말초혈류속도가 점차 개선됨을 확인할 수 있 었다.

감사의 글

이 논문은 2021년도 상지대학교 한방의료공학과 캡스톤 디자인과 2021년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2021R111A3054773).

References

- [1] http://snuseoul.kr/bbs/board.php?bo table=media&wr id=154.
- [2] M. H. Lee, K. E. Kim, H. Y. Jang, and I. Y. Cho, J. Korean Convergence Soc. 11, 361 (2020).
- [3] M. J. Lee, S. Y. Lee, and S. S. Lee, New Physics: Sae Mulli **70**, 896 (2020).
- [4] G. S. Lee, J. Y. Kim, and S. S. Lee, J. Korean Magn. Soc. 29,

- 17 (2019).
- [5] https://health.chosun.com/site/data/html_dir/2014/02/21/2014 022103373.html.
- [6] H. Sahinbas, Cancer Therapy 8, 139 (2012).
- [7] S. H. Um, H. W. Moon, and J. S. Lee, Korean J. Sports Science **28**, 1373 (2019).
- [8] H. Kwak, S. B. Lee, and S. B. Kim, J. Korean Acad. Fam. Med. **24**, 877 (2003).
- [9] CHOEONGUNG MEDICAL Homepage, https://cheongung.com/product/view.html?pid=18&cate1=94&cate2=&page=1&no=98.
- [10] K. H. Kim and S. S. Lee, J. Magnetics 20, 47 (2015).
- [11] D. H. Nam, W. B. Lee, Y. S. Hong, and S. S. Lee, Sensors 13, 4714 (2013).
- [12] D. H. Lee, Y. S. Hong, and S. S. Lee, J. Korean Magn. Soc. 23, 135 (2013).
- [13] M. F. P. O'Rourke, R. P. Kelly, and A. P. Avolio, The Arterial Pulse, 1st ed. (Lea & Febiger, Philadelphia, USA, 1992).