

체열진단을 통한 펄스자기장 자극기의 혈류개선효과 고찰

이현숙*

상지대학교 보건과학대학 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동 220-702

(2011년 7월 29일 받음, 2011년 9월 28일 최종수정본 받음, 2011년 9월 29일 게재확정)

자기장 자극시스템을 통하여 순간펄스 고자기장을 손바닥과 발바닥 그리고 무릎에 인가한 후 체열진단시스템을 통하여 모세혈관을 포함한 인체의 혈관 자극에 의한 혈류개선 효과를 연구하였다. 연령별, 성별 구분을 통하여 자극 후 체열진단을 통해 공통적으로 자극부위에 온도가 상승하는 결과를 얻었으며, 자기장 자극기 코일에서 발생하는 자체 발열량을 제거하기 위해 플라스틱 재질의 성형물로 신체와의 직접적인 접촉을 차단시켰으며 일정거리를 유지하여 실험하였다. 그 결과 비접촉을 통하여 순수하게 자기장의 펄스파형이 피부에 가까운 혈관을 자극하여 내부 전자기 에너지가 피부에 온도상승을 가져온 것으로 고찰된다.

주제어 : 펄스자기장, 체열진단, 혈류개선

I. 서 론

최근에 강한 펄스 자기장을 인체에 자극하여 인체에 유도된 전류가 신체 각 부위의 신경 및 근육질환 등의 치료에 이용되고 있음을 보여주는 연구가 많이 발표되고 있다[1, 2]. 또한 펄스 자기장치료시스템은 골절치료에 효과가 인정되어 1979년에 미국식품의약국 FDA의 승인을 얻은 뒤 다양한 통증치료에 사용되기 시작하였다[3]. 일본의 한 그룹에서는 45~80 mT, 50~60 Hz의 교류자기장을 인가하는 실험을 통해 혈류개선 효과를 확인하였으며, 또한 생체 백혈구 암세포 (Human Leukemic Cell)는 교류 자기장 하에서 세포괴사가 일어난다고 발표하였다[4]. 그리고 본 연구팀에서 최근에 국소적이고 집약적인 펄스자기장을 형성하여 말초신경에 영향을 줄 수 있는 여러 형태의 코일을 개발하여 광혈류량측정기 (photoplethysmogram: PPG)로 혈류개선 효과를 관측하였다[5].

신체의 피부에는 많은 혈관과 신경이 밀집되어 있어 말단부위 체온 조절에 중요한 역할을 하며 체표면(body surface)에서 수 mm 이내의 혈류 조절(blood flow regulation)은 주로 자율 신경계(autonomic nervous system)에 의해서 조절이 되는데 인체 표면의 국소적이며 비대칭적인 온도변화(thermal asymmetry)는 예로부터 많은 사람들의 관심의 대상이 되었다. 임상적으로 혈액순환과 관련된 질환의 경우, 체열의 분포가 정상과 질환 상태에 따라 서로 다르다는 것이 이미 널리 알려져 있다. 당뇨병과 같이 널리 알려진 혈액순환 장애 질환의 경우에 대하여 오랜 시간 동안 축적된 데이터베이스가 존재하며, 이에 대한 논문 등이 보고되고 있다[6]. 이러한 체열 진단법은 최근 한의학에서도 전통적인 진단법인 망진, 문진(inquiry), 문

진(auscultation), 절진외에 진단의 객관화를 위하여 현대과학과 다양한 접목을 시도하기 위하여 임상에서 활용하고 있다[7].

세동맥, 세정맥 및 모세혈관의 혈류흐름에 미치는 영향에 대한 해석은 자기장을 통과하는 전도성 유체의 거동에 관한 패러데이의 연구에 기초하여 Fig. 1(a)와 같이 강한 펄스자기장이 모세혈관을 자극할 때, 혈관내에 존재하는 생체이온들이 강한 자기장의 영향으로 Fig. 1(b)와 같이 혈관 벽으로 이동하여 충돌하기 때문에 혈관 벽에 형성되는 퇴적물을 서서히 제거함으로써 말초혈관을 통한 혈류 흐름을 개선하는 것으로 보고 있다. 펄스자기장이 혈관에 미치는 영향에 대한 또 다

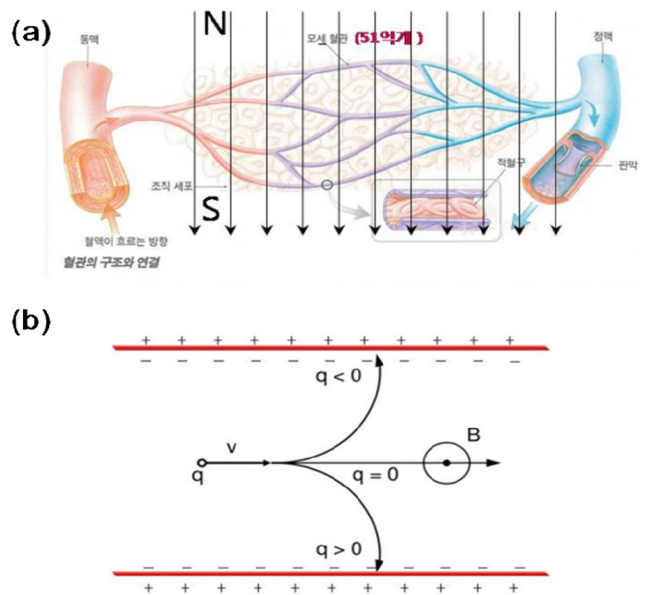


Fig. 1. (Color online) The schematic diagram of (a) magnetic field transmission in blood vessel (b) ion activation in blood capillaries by magnetic field.

*Tel: (033) 730-0416, E-mail: hslee@sangji.ac.kr

른 가설은 모세혈관에서의 혈류흐름이 소동맥이나 전모세혈관의 수축·이완 정도에 따라 결정되며 수축·이완 정도는 조직에서 혈관의 대사활동과 혈관 평활근의 교감신경에 의해 조절되므로, 평활근의 교감신경을 자극하여 직접적으로 소동맥과 전모세혈관의 수축·이완을 유발할 수 있으며 또한 척수를 통해 뇌로 전달된 교감신호가 다시 피부 교감신경의 활성화를 통해 혈관의 수축·확장 섬유의 활동성에 영향을 주어 모세혈관 및 혈관에 혈액량을 증가시킬 수 있다는 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 비침습적인 방법으로 심부까지 자극할 수 있는 강한 자기장을 이용하여 국소적 부위인 손바닥, 발바닥 그리고 무릎을 자극하여 모세혈관의 확장 및 수축의 영향으로 인한 체열 변화를 비교 연구하기 위하여 적외선 체열진단기를 사용하였다. 외부 자극에 의한 모세혈관의 혈류변화를 분석하는 방법으로 PPG가 폭넓게 연구되고 있으나, 신호 획득 및 처리에 있어 간단하지 않는 반면에, 체열진단영상을 통한 분석은 외부 자극의 효과를 빠르고 비교적 용이하게 고찰할 수 있는 장점을 가지고 있다.

II. 실험 방법 및 조건

실험에 사용된 펄스자기장시스템이 인체의 실험부위에 인가되는 모식도가 Fig. 2에 보여준다. 실험의 순서는 펄스자기장 인가 전 무릎과 발바닥, 손바닥 등 특정 부위의 체열영상을 촬영한 직후 1 Hz 주파수의 펄스자기장을 10분간 실험부위에 인가시킨 후 다시 체열영상을 촬영하여 펄스 자기장 인가 전과 후의 체열상의 비교방식을 취했다. 코일부에 발생하는 발열량을 고려하여 코일을 플라스틱 성형물로 감싸 신체 부위와의 접촉을 차단시키고 1 cm 거리를 유지시켰으며 매 실험마다 코일을 교체하여 코일 발열량의 오차를 최소화 시켰다. 실험에 사용한 펄스자기장 시스템은 전형적인 LC 회로를 SCR 제어를 통하여 강한 펄스형태의 자기장을 발생을 유도하는 방법을 선택하였으며 (주)누가의료기의 누가한방기술연구소에서 개발한 자기장 자극기 OM-100 시제품을 이용하여 실시하였다.

실험시 펄스자기장파가 나오는 코일부 중심의 펄스자기장의 순간 자기장세기는 shunt를 이용한 고전류 측정에 의해 순간 최대전류 2000 A를 측정 후 자기장 유한요소 해석법 (Finite Element Method for Magnetics: FEMM)을 이용하여 코일표면에서 2.5 T로 추정할 수 있었다. 오실로스코프를 이용한 측정에서 코일 양단에 발생하는 최대 유도전압은 약 900 V였으며 200 μ sec의 주기로 감쇄 진동하였다(Fig. 2).

체열진단측정은 대한체열진단학회의 권고사항에 맞는 규격화된 독립된 측정실과 장비의 위치를 준수한 병원시설을 이용하였으며 실험 시작 전 피실험자 6명을 습도가 일정한 26 °C의 실내에서 20분간 대기시켜 실온에 적응시켰으며 시

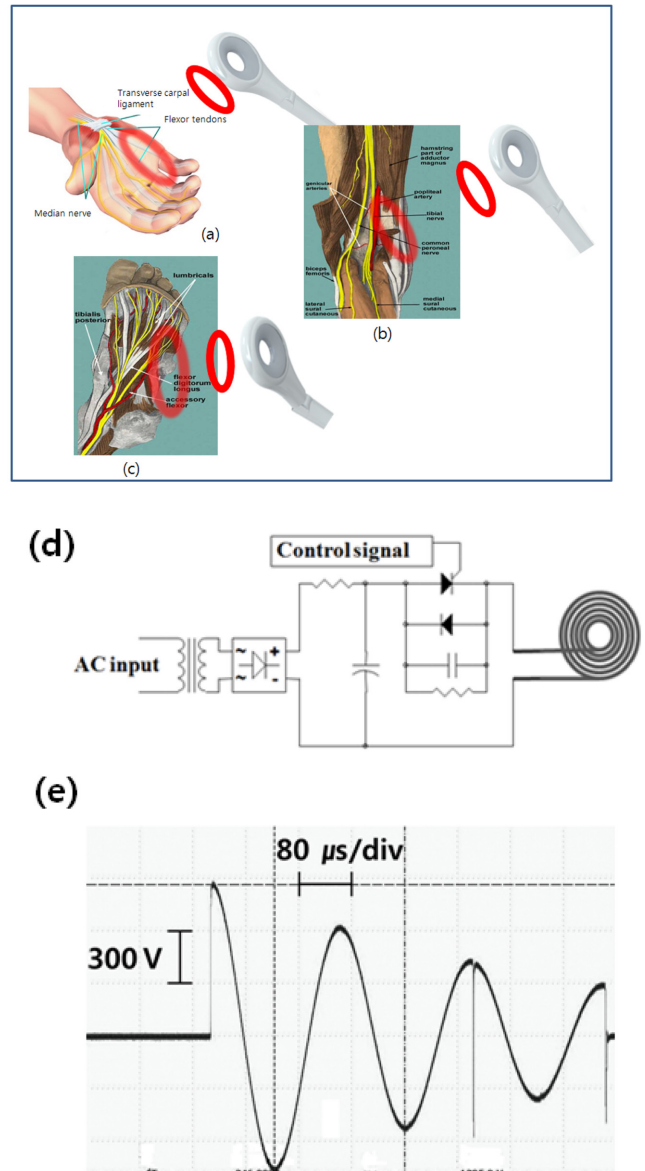


Fig. 2. (Color online) The schematic diagram of applied magnetic stimulus on (a) palm (b) knee (c) plantar skin and (d) schematic circuit diagram of a pulsed magnetic field stimulator and (e) generated pulsed magnetic field waveform.

험에 참여한 피실험자는 특별한 병변이 없는 자로서 전자기파 치료 및 저주파 치료 등의 경험이 없는 피실험자 6명을 무작위로 선정하여 실시하였다(나이 34.5 ± 13.6세, 남5, 여1). 펄스 자기장 인가 전과 후의 체열진단을 위해 (주)메쉬사의 Thermal Vision 적외선체열진단장비를 사용하였다.

III. 실험 결과 및 고찰

체열진단시스템을 이용한 체표면의 온도분포 측정은 보다 더 정밀한 혈관의 확장과 수축을 추정할 수 있는데 정상인의

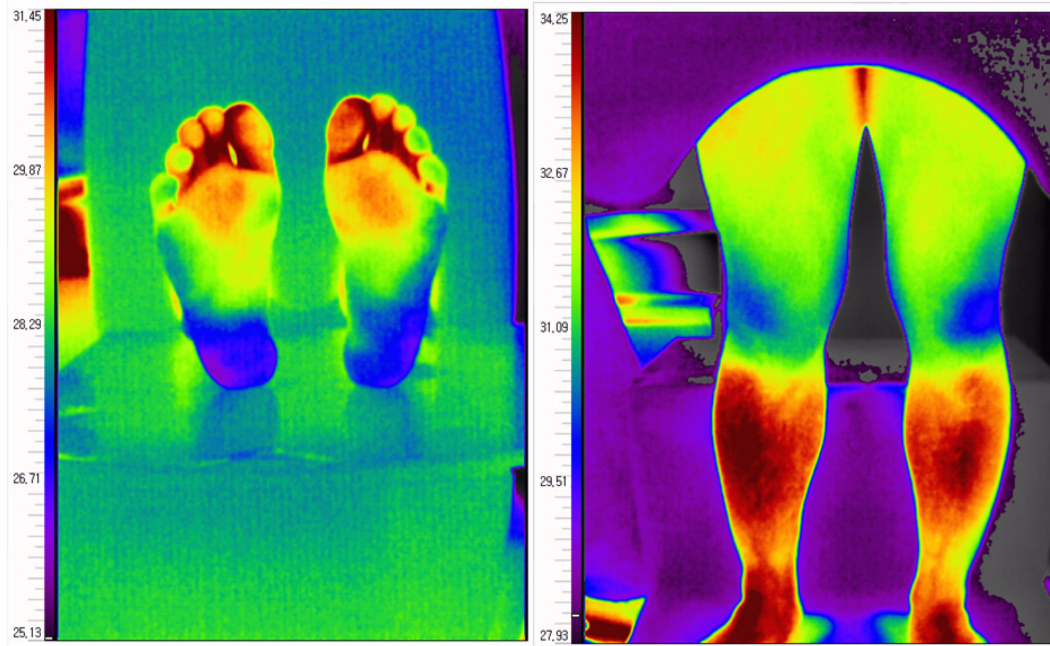


Fig. 3. (Color online) Thermogram of (a) plantar skin and (b) lower limbs of male of 25-years-old before applying magnetic field stimulus.

경우 팔과 다리와 같은 사지에서는 보통 좌/우 대칭의 체표 온 분포를 나타내며 뼈가 앙상한 무릎이나 피하 지방이 많은 무릎 위 부분은 저온을 나타내고 피하 지방이 적은 무릎아래의 경골근육군 부위의 피부는 비교적 주위환경 온도에 따라 민감하게 반응한다. 발바닥 부위는 다른 부위 보다 발가락 근처에 혈관망이 밀집되어 있어 자기장 인가 전에도 Fig. 3(a)에 나타난 것처럼 큰 혈류량의 변화에 의해 상대적으로 높은 체열을 나타낸다. 또한 해부학적으로 다리의 말단에도 혈관 수축섬유가 근위부쪽 보다 더 많이 존재하여 혈관 확장과 수축이 자주 일어나는 곳이기 때문에 Fig. 3(b)에서 보여주는 것처럼 자기장 인가 전에 피하지방이 많은 무릎 위나 뼈로 구성된 무릎에 비해 고온임을 알 수 있었다.

체열진단기 실험의 특성상 시간적 차이를 두고 측정된 신체의 체열상에 대한 오차를 고려해 피실험자의 두 발의 발바닥 중 한 곳에만 집중적으로 자기장을 10분간 인가한 후 동시에 열상을 측정하였다. Fig. 4를 보면 펄스 자기장을 인가한 오른쪽 발바닥과 인가하지 않은 왼쪽 발바닥의 체열상의 확연한 차이가 발생한 것을 확인할 수 있다.

펄스 자기장 발생부인 코일에서 발생하는 열을 최대한 차단하면서 인체에 펄스 자기장을 인가한 후 측정된 체열상과 인가 전 체열상의 비교는 Fig. 5와 같다. 코일표면에서 측정된 최대자기장은 2.5 T 인데 반하여 자기장 자극 부위는 코일로부터 공간적으로 떨어져 있기 때문에 평균적으로 0.7 T의 자기장 감소를 보인다. Fig. 5는 33세 남성의 무릎(a), 발바닥(b) 그리고 손바닥(c)에 대한 각각의 체열상 변화를 보여

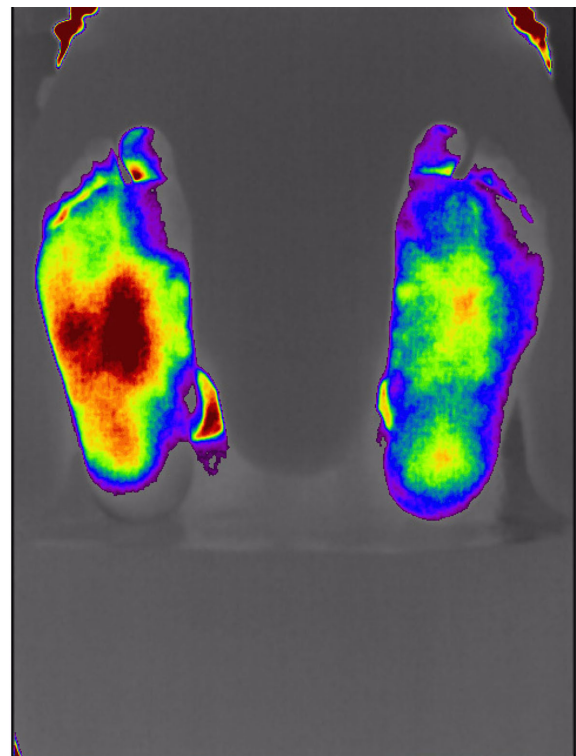


Fig. 4. (Color online) Thermogram of right and left plantar skin of male of 33-years-old. Pulsed magnetic field stimulus applied to only right plantar skin.

주고 있으며 칼라차트를 이용하여 온도차를 확인할 수 있다. 나머지 5명의 실험군에 대해서도 비슷한 양상으로 측정되었다. 체열진단법은 체표면의 절대온도가 아닌 신체 사지의 좌

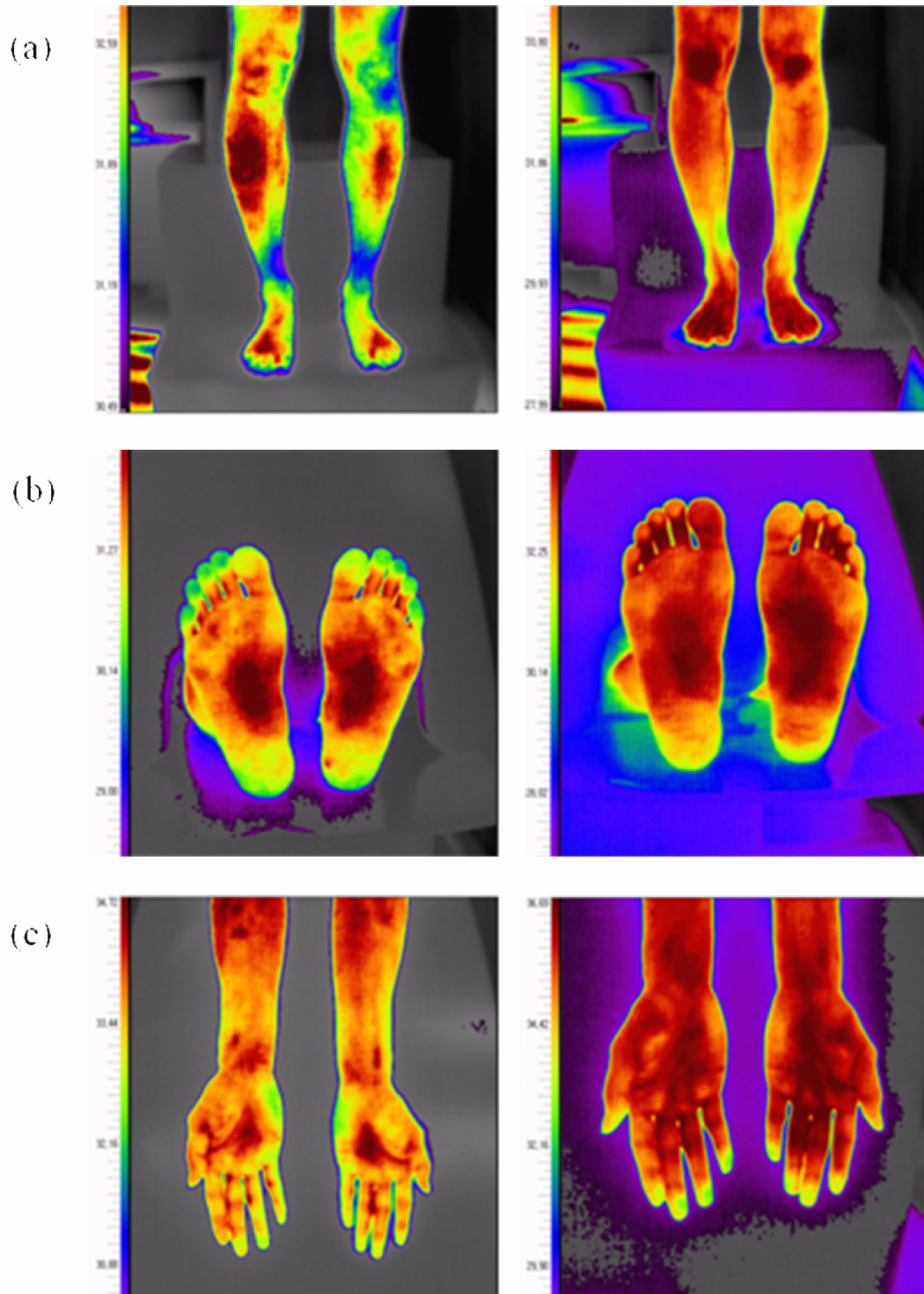


Fig. 5. (Color online) Thermogram of (a) lower limbs, (b) plantar skin and (c) palm of male of 33-years-old before and after applying magnetic field stimulus. The left side is shown less exothermically than the right side applied magnetic field stimulus. Vertical line means range of spectrum in thermogram.

우 대칭의 발열 차이 또는 주변 부위와 현격히 다른 발열상을 의미 있게 여기기 때문에 특정 부위의 실험 전과 후의 절대 온도의 비교는 부정확하다. 하지만 서론부에서 언급했듯이

인체의 표면 즉 피부의 온도는 심부의 온도를 간접측정 할 수 있으며 그 원리는 피부의 온도와 혈류량의 관계가 서로 비례적인 연관성이 있기 때문이다. 또한 혈류량은 혈액을 공

급하는 혈관의 수축과 팽창에 의하여 조절된다. Fig. 5을 보면 펄스 자기장을 인가한 부위가 인가 전 보다 발열의 절대적 크기는 비교할 수 없지만 자기장 자극 후 발열의 양과 범위가 증가됨을 알 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 강한 펄스 자기장자극에 의해 체열 상승원인은 두 가지 요인으로 가정할 수 있다. 우선 혈액에 들어있는 생체이온이 강한 펄스 자기장에 의해 활성화되어 혈관벽을 자극하고 그에 따라 혈관이 확장되어 혈액량이 증가하여 자극 부위의 체온이 상승될 수 있다. 또한 신경계에는 Na^+ , K^+ , Cl^- 등의 생체이온들이 이온채널을 따라 이동하며 자극이 전달되기 때문에 자극 주위의 말초 신경계는 강한 자기장 자극에 의해 주위 근육과 혈관을 자극하여 혈액량 증가하여 온도가 상승하는 것으로 볼 수 있다[8]. 이런 가정들이 명확하게 구별할 수 없지만 분명한 것은 강한 교류자기장은 생체내의 이온들에 직접적인 유도전류를 발생하여 자극을 유도하고 그에 따른 혈액량을 증가시켜 자극부위의 체열 상승을 유발한다.

IV. 결 론

체열진단영상에서 측정되는 온도분포는 피부혈관에 흐르는 혈류량과 속도에 가장 직접적인 영향을 받는다. 즉 피부혈관은 내장 및 근육혈관과 달리 온냉자극 등 외부자극에 의해 뚜렷하게 확장 또는 수축되는 경향이 있다. 본 연구에서 개발한 0.7 T의 강한 펄스자기장을 인체의 손바닥, 발바닥 및 무릎에 자극하여 피부온도의 상승을 확인하였으며, 이것은 자기장 발생코일을 비접촉인 방법으로 인가하였기에 각 부위에서의 체열상승은 코일의 발열보다는 전자기장 에너지가 체표면에 전달되어 상승한 것으로 판단된다. 생체 내에서 펄스교류 자기장은 혈관에 직접적인 영향을 주어 혈관내의 여러 이온들이 혈

관벽을 자극하여 혈관확장으로 혈액량이 증가할 수 있다. 또한 펄스 자기장은 소동맥과 모세혈관, 평활근 등을 관장하는 교감신경계에 들어있는 생체이온들을 자극하여 혈관을 확장시킬 수 있다. 강한 펄스자기장이 이러한 생체 각 부위에 대해 미치는 영향에 대해 아직 체계적인 이론이 확립되어 있지 않지만, 이번 실험을 통하여 강한 펄스장 자극이 말초혈관의 혈류량 변화에 영향을 주어 체열상승 효과를 일으킬 수 있다는 것을 체열진단영상을 통해서 확실히 검증할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 상지대학교 교내연구비 지원과 2009년도 교수연구년 지원을 받아 연구하였음.

참고문헌

- [1] M. Kanje, A. Rusovan, B. Siskan, and G. Lundborg, *Bioelectromag.* **14**, 353 (1993).
- [2] D. J. Cotter, *Med. Instrum.* **17**, 289 (1983).
- [3] 이정찬, 박정진, 신동혁, 최영미, 박남규, 김우규, 이윤중, 이은봉, 송영욱, *대한류마티스학회지* **11**, 143 (2004).
- [4] T. Hisamitsu, K. Narita, T. Kasahara, A. Seto, Y. Yu, and K. Asano, *Jpn. J. Physio.* **47**, 307 (1997).
- [5] J. Lee, I. Go, J. Choi, T. Jang, S. H. Shin, H. S. Lee, D. G. Hwang, and S. Kim, *J. Magnetism* **15**, 209 (2010).
- [6] Y. T. Lee, S. M. Min Kim, J. H. Yoo, H. C. Oh, J. W. Ha, S. Y. Sung, J. H. Chang, and H. K. Yoon, *J. Korean Orthop. Assoc.* **44**, 575 (2009).
- [7] 송범용, 김경식, 손인철, *경락경혈학회지* **17**, 47 (2000).
- [8] J. Malmivuo and R. Plonsey, *Bioelectromagnetism*, Oxford University Press, New York (1995) pp. 66-105.

Effect of Pulse Magnetic Field Stimulus on Blood Flow using Digital Infrared Thermal Imaging

Hyun Sook Lee*

Department of Oriental Biomedical Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 29 July 2011, Received in final form 28 September 2011, Accepted 29 September 2011)

The changes in the blood flow in the peripheral vascular system under strong pulsed magnetic fields (pMF) were studied by digital infrared thermal imaging (DITI). After pMF stimulus temperatures in stimulated area were commonly increased in both groups of age and gender. In order to reduce heat generated from coil in pMF stimulus system plastic moldings were fabricated, so that certain distance was kept between stimulus system and the skin and to prevent direct contact to the skin. It is believed that skin temperature is increased by internal electromagnetic energy stimulated the peripheral vascular system by non-contact method.

Keywords : blood flow, digital infrared thermal imaging, pulse magnetic field