ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 24(1), 28-33 (2014) http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2014.24.1.028

펄스자기장 자극에 의한 손의 적혈구 형태학적 변화

황도근*
상지대학교 한방의료공학과, 강원 원주시 우산동, 220-702

(2014년 1월 2일 받음, 2014년 2월 11일 최종수정본 받음, 2014년 2월 11일 게재확정)

최대 0.27 T 세기와 0.102 ms 펄스시간을 가지는 자기장 자극시스템을 이용하여 손에 인가한 후에 생혈액 분석을 통해 말초혈관에 흐르는 적혈구의 형태학적 변화를 조사하였다. 펄스자기장 자극 전 피실험자의 적혈구는 10여개 이상씩 서로 붙어있는 연전형성(連錢形成, rouleau formation)이 일어나서 적혈구의 움직임이 느려졌으나, 손에 10분간 자기장 인가한 후에 연전형성이 되었던 적혈구가 대부분 떨어져서 독립적인 움직임을 보이면서 운동이 활발해졌다. 또한 왼쪽 손에 펄스자기장을 10분 자극한 후에 자극받지 않은 오른쪽 손에서 채혈했을 때에도 연전현상이 똑같이 개선되었다. 이는 혈류흐름에 의해 체내에 모든 적혈구의 연전현상이 개선된 것으로 판단할 수 있다.

주제어 : 펄스자기장 자극, 연전형성, 적혈구

I. 서 론

인체에 미치는 다양한 자기장 자극의 영향은 19세기부터 연구되어 왔으나 대부분 단순하며 체계적인 근거 없이 이뤄져왔다[1]. 현재 자기장이 적용되는 의료기기에는 MRI (Magnetic Resonance Imaging, 핵자기공명영상)와 MEG (Magnetoencephalography, 뇌자도) 등의 진단의료기기가 가장 대중적으로 확산되고 있으며, 치료기기의 활용에는 경두개 자기자극기(repetitive Transcranial Magnetic Stimulation, r-TMS)가 개발되어 대형병원 신경정신과에 도입되어 우울증, 강박증, 운동장애, 정신분열증, 치매 등 정신치료에 활용되고 있다. 이 r-TMS 치료기술은 미국 FDA에서 2008년 우울증 치료로 공식 인정되었으며, 이중코일로 자기장 1~2 Tesla, 100~200 msec 펄스자기장을 대뇌피질에 자극하여 유도전류를 발생시켜 뇌신경세포의 활성화를 유도하고, 산성체액을 건강한 알칼리성 체액으로 전환시키는 역할을 하는 것으로 알려지고 있다[2].

일반적으로 자기장 자극 치료시스템의 장점은 치료시 피부에 비접촉이 가능하고 비침습적인 특성을 가지고 있다. 기존의 대표적인 대중적 치료기기인 전기자극기는 접촉단자가 피부에 직접 접촉되어야하기 때문에 위생문제와 접착물질로 인한 피부발진 등의 단점이 있으며, 전류가 피부표면으로만 흘러 인체의 심부 깊숙이 자극할 수 없는 문제점을 가지고 있다. 이에 반해 자기장 자극은 심부 깊숙이 자기장이 투과하기 때문에 체내에 있는 ion 전해물질에 영향을 주어 심부 깊숙한 조직에서 와전류를 발생시켜 자극을 줄 수 있는 장점이 있다. 이런 장점을 활용한다면 현재 개발되고 있는 경두개자극기 이외에 다양한 분야의 치료기술을 개발할 수 있을 것이다.

자기장 자극에 의한 혈류량 변화에 대한 조사는 여러 연구팀에 의해 연구되어 왔다. 특히 Mayrovitz 등은 사람의 피부 모세혈관에서 주파수 27.12 MHz와 초당 600 pulse/s의 자기장 자극에 의한 혈류량 변화를 레이저 도플러를 이용하여 실험하였다. 자기장을 45분간 팔뚝에 노출하였을 때 노출되지 않은 팔뚝보다 혈액량이 29 % 증가됨을 확인하였다[3]. 또한 그들은 당뇨병 환자의 발가락 주위에 있는 궤양피부에 혈류량이 자기장 자극에 의해 크게 증가되는 것을 발견되었다[4]. Roland 등은 쥐에 펄스자기장(0.01 or 0.2 mT, 2~20 ms pulses, 27.12 MHz)을 노출시켰을 때 새로운 모세혈관 형성이 증가하는 것을 확인하였다[5].

그러나 자기장 자극에 의한 적혈구의 연전(連錢, rouleau)현상 변화에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 단지 국내에서는 레이저 치료에 의한 생혈액 검사의 연전현상에 대해 조사되어 일부 발표된바있다[6, 7]. 즉 자기장 자극에 의한 적혈구의 형태학적 변화 연구와 혈류량 조사는 국내외적으로 매우 초보적인 연구에 머물러있다고 할 수 있다. 또한 아직 적혈구가 동전처럼 쌓여있는 형태인 연전현상이 특별한 질환과 연관되었다는 보고도 확실하지는 않다. 단지 적혈구의 연전현상으로 인하여 혈류속도가 떨어지고 조직의 산소공급에 문제가 생기는 것은 분명해 보인다.

본 연구에서는 최대 0.27 Tesla 자기장 세기와 0.102 msec 펄스 시간을 가지는 자기장 자극시스템을 개발하여 손바닥에

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author:
Tel: +82-33-730-0413, e-mail: dghwang@sangji.ac.kr

인가한 후에 생혈액 분석을 통해 적혈구의 연전형성 변화를 조사하였다.

II. 실험방법

1. 실험 대상

50대 남성 1명을 대상으로 시행하였으며, 키는 174 cm이고 체중은 65 kg이었다.

2. 펄스자기장 자극시스템

본 연구실에서 제작된 펄스자기장 자극시스템은 크기가 작고 이동이 편리한 자기장 발생기를 Fig. 1과 같이 제작하였다. 일반적으로 0.2 Tesla 정도의 고출력 자기장 자극 시스템은 축전기의 내전압 문제와 코일의 발열로 크기를 줄이기 어렵다. 본 연구팀은 특별히 주문 제작된 축전기를 이용하여 Potable한 펄스자기장 자극시스템을 개발하였으며, 특허 등록하여 기술이전을 하였다[8]. 본 자극시스템은 0.5~5초 사이에서 SCR(Silicon Controlled Rectifier)을 이용하여 방전시간을 조절할 수 있다. 고전압 펄스출력 제어소프트웨어 시스템은 마이크로프로세서를 이용하여 제작하였으며, Fig. 2처럼 전원으로부터 공급받은 전류가 축전기에 저장된 후 SCR를 이용하여 ON/OFF 되도록 설계하였다. 본 연구에서는 1500 V에서 260 μs의 고전압 펄스가 약 1초에 한 번씩 방전하도록 제작하였다.

본 연구에서 사용된 펄스자기장 자극코일은 단면이 두께 1.5 mm, 너비 3 mm의 평면사각형의 단일코일을 사용하여 가로 12.0 cm, 세로 4.5 cm로 10번 감아서 Fig. 1의 모양 처럼 긴 타원형의 코일을 제작하였다. 전원시스템과 연결하여 발생한 펄스자기장의 파형은 최대 자기장 세기가 0.27 T이고 펄스시간인 transition time은 0.102 ms이였다. Fig. 3은 본 연구에서 사용된 자극 코일에서 발생한 자기장의 분포도가 손바닥에 미치는 모양을 분석한 그림이다. 또한 펄스자기장 자극하는 손바닥에 미치는 온도변화를 최소화하기 위해 자극코

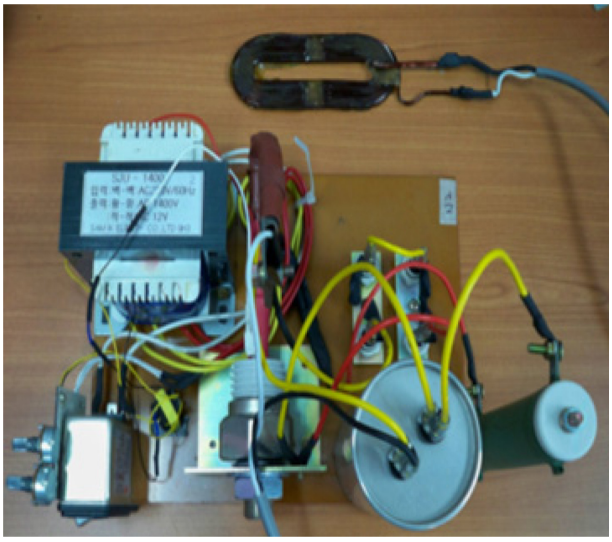


Fig. 1. (Color online) Stimulus system of pulse magnetic field.

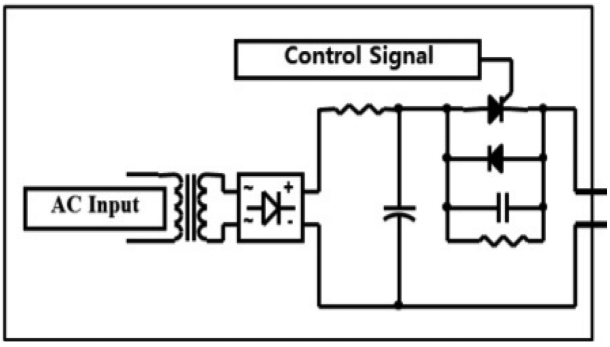


Fig. 2. Circuit of power supply of pulse magnetic field.

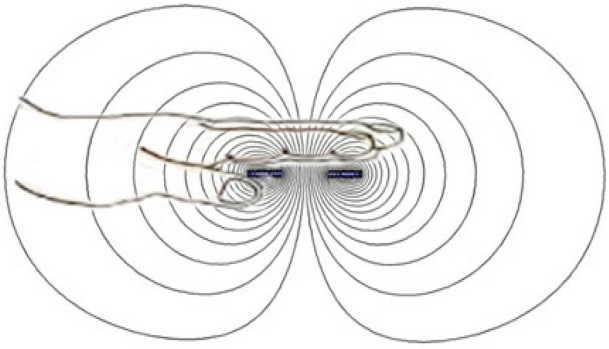


Fig. 3. (Color online) Distribution of magnetic field generated by coil.

Fig. 4. (Color online) Zig-zag system for hand stimulus of pulse magnetic field.

일에 접촉하지 않도록 손 모양 지그를 Fig. 4처럼 제작하였고, 코일은 지그의 밑에 삽입하여 항상 같은 부위에 자극이 되도록 하였다.

3. 펄스자기장 자극 방법

자기장 자극 전에 측정 전날 흡연여부와 음주여부 등 피실험자의 건강상태를 상태를 기록하였으며, 펄스자기장 자극을 받기 직전 자극할 손에서 채혈을 하여 자극 전 적혈구의 연전상태를 현미경을 이용해 우선 조사하였다. 그 후 10분 펄스자기장 자극을 손바닥에 자극한 후 해당 손에서 채혈을 하여 자기장 자극 전후의 적혈구 연전형성의 변화를 비교분석하였다.

자기장 자극에 의한 적혈구의 연전형상 변화가 혈액을 통해 인체에 전반적으로 확산되었는지 확인하기위해 왼쪽 손은 자기장 자극하고, 자극을 받지 않은 오른쪽은 자극 전후 채혈하여 비교분석하였다. 이 후속 실험의 목적은 혈액이 몸에 빠르게 순환함으로 손에만 자기장 자극을 가해도 몸 전체에 적혈구의 연전상태가 변화하는 것을 확인하고자 실시되었다.

4. 혈액 채취 및 연전상태 검사

자기장 자극 전 실험대상자는 의자에 앉아서 10분간 안정을 취한 뒤, 자극전의 적혈구의 연전상태를 확인하기 위해서 3번째 손가락 끝부분으로 부터 혈액을 채취한다. 슬라이드 글라스에 손가락이 닿지 않도록 혈액을 떨어뜨리고 빨리 커버글라스를 덮는다. 채혈 후 5분 이내에 현미경으로 적혈구의 상태를 관찰한다. 10분간 펄스자기장 자극을 가한 후 같은 부위에서 같은 방법으로 채혈을 하고 관찰하여 자극 전후의 적혈구 연전상태를 비교하였다.

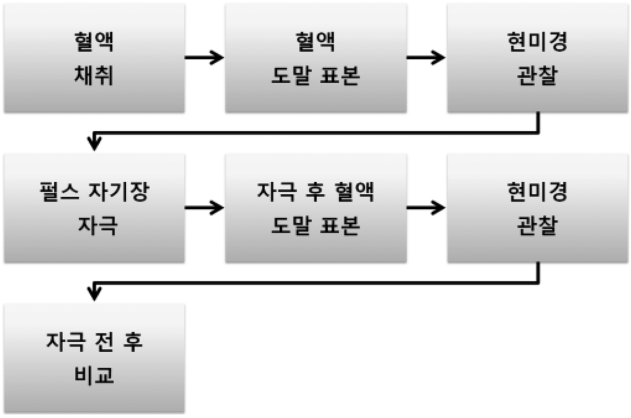


Fig. 5. Experimental Process of magnetic stimulus: (1) Draw blood before magnetic stimulus, (2) Red blood cell analysis using by microscopy, (3) Magnetic stimulus during 10 minute, (4) Draw blood and Red blood cell analysis using by microscopy, (5) Rouleau Analysis before and after magnetic stimulus.

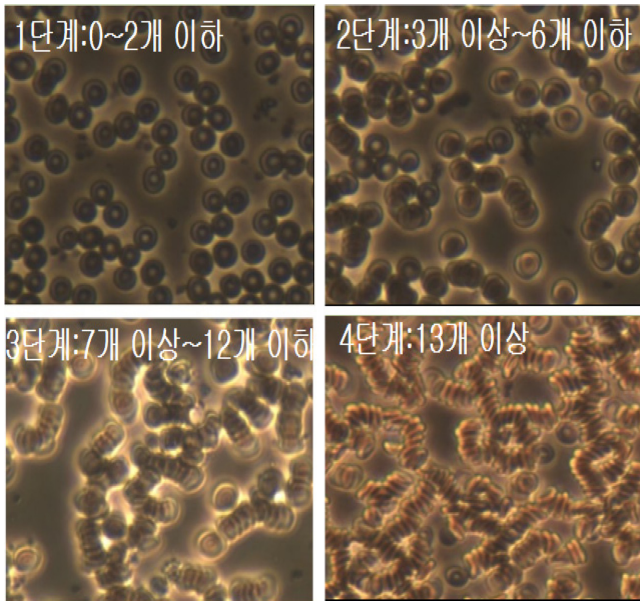


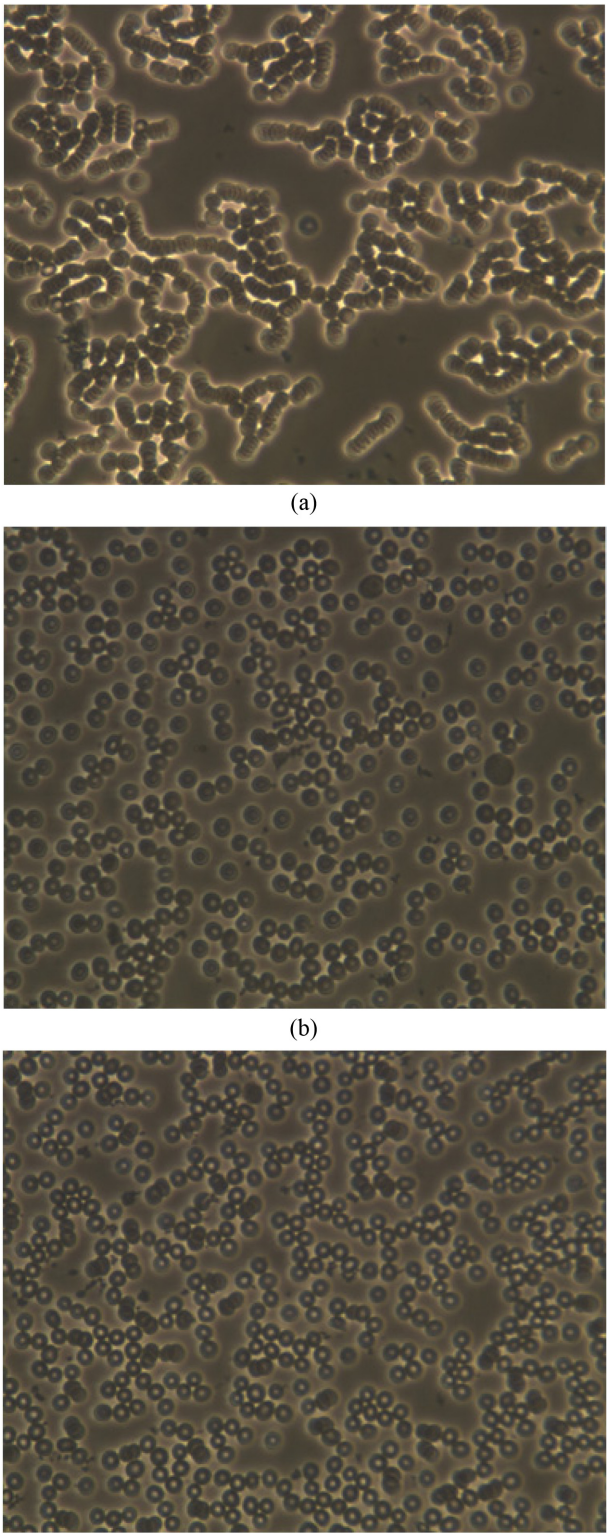
Fig. 6. (Color online) Definition of rouleau states : (a) State 1 - state separated all red blood cells or attached below two cells, (b) State 2 - state attached between 3 and 6 cells, (c) State 3 - state attached between 7 and 12 cells, (d) State 4 - state attached above 13 cells.

생혈액 검사란 현재 서양의학에서 전 혈구 검사처럼 혈구의 개수를 실제로 세는 혈구검사법과 달리 혈액의 모양을 직접 보는 검사로 적혈구형태(Red Blood Cell morphology)검사와 유사하다. 하지만 서양의학에서는 적혈구를 알코올과 같은 물질을 사용하여 고정하고 염색해서 보지만, 한의학적 생혈액 검사에서는 암 시야에서 바로 확인하는 검사이며 염색을 하지 않아 변형되지 않고 본래의 상태에서 관찰할 수 있다.

지금까지 적혈구 연전상태를 체계적으로 정의하는 parameter가 발표되지 않았다. 본 연구에서는 처음으로 적혈구 연전상태의 정도를 4단계로 조작적 정의(operational definition)를 하였다. Fig. 6에서 보여주는 것처럼 1 단계는 적혈구가 모두 떨어져 있거나 또는 1~2개 까지 붙어있는 연전상태, 2 단계에서는 적혈구가 3~6개 정도 붙어있는 경우, 3 단계는 적혈구가 7~12개 정도 붙어있는 경우, 4 단계는 13개 이상의 적혈구가 붙어있는 경우로 정의하였다.

III. 결과 및 고찰

펄스자기장을 왼쪽 손바닥에 10분간 자극하고 왼쪽과 오른쪽 셋째 손가락 끝에서 채혈한 후 현미경으로 적혈구의 연전상태를 측정한 결과 자극전보다 분명하게 개선된 결과를 보였다. Fig. 7(a)는 펄스자기장을 50대 실험대상자의 왼쪽 손바닥에 자극하기 직전 왼쪽 손가락에 끝에서 채혈한 생혈액의 적혈구 상태를 보여준다. 대부분의 적혈구가 서로 붙어있



(a)

(b)

(c)

Fig. 7. (Color online) Change of rouleau state of red blood cells before and after magnetic stimulus in the right and left hand: (a) state of red blood cells before magnetic stiumuls, (b) state of red blood cells after magnetic stimulus during 10 minute in left hand, (c) state of red blood cells after magnetic stimulus during 10 minute in right hand.

어 앞에서 정의한 연전형성의 단계가 제일 높은 4단계임을 알 수 있다. 본 논문에서는 슬라이드 글라스 위에 놓인 적혈구의 동영상을 그림에 포함하지는 않았지만 펄스자기장의 자극을 받기 전에는 10~20 이상씩 서로 붙어서 연전된 상태의 적혈구는 거의 움직이지 못하고 정지해 있는 것을 확인할 수 있었다.

그러나 Fig. 7(b)에서 보듯이 10분간 왼쪽 손바닥을 자극한 직후 채혈한 적혈구에서 연전상태는 거의 붙어있지 않고 모든 적혈구가 개별적으로 분리된 것을 확인할 수 있었다. 또한 적혈구의 동영상을 보면 펄스자기장을 자극하기 전의 적혈구 움직임이 정지된 것에 비하면, 10분간 자기장 자극 직후의 적혈구 움직임은 매우 역동적으로 움직임이 있었고, 최종적으로 적혈구의 연전상태를 사진촬영하기 위해 움직임이 정지할 때까지 대략 80초 정도로 긴 시간이 필요했다. 확실하게 펄스자기장 자극에 의해 적혈구의 연전현상이 개선되는 것을 확인하였다.

Fig. 7(c)는 앞에서와 같이 왼쪽 손바닥에 펄스자기장을 10분간 자극 직후 오른쪽 끝에서 채혈하여 적혈구의 연전상태를 확인하였다. 이유는 인체에서 혈액이 심장박동에 따라 빠르게 순환하기 때문에 비록 왼쪽 손바닥에 펄스자기장을 자극하여 적혈구의 연전현상이 개선되었다면 반대편 오른쪽 손에서 채혈한 적혈구 역시 연전상태가 호전된 것으로 판단하여 실험하였다. 결과는 Fig. 7(c)에서 보듯이 예상대로 Fig. 7(b) 와같이 모든 적혈구가 분리되었고 연전 1단계를 보여주고 있다. 단지 자기장 자극을 받지 않은 오른쪽에서 채혈된 적혈구의 동영상을 보면 적혈구의 움직임이 Fig. 7(b)의 경우보다 다소 느려졌으며. 최종적으로 사진을 촬영하기 위해 정지할 때까지 기다린 시간이 30초로 자극한 왼쪽 손끝에서 채혈한 경우보다 짧았다. 이유는 아직 분명하지는 않지만 펄스자기장 자극이 직접 가해진 부위에서 적혈구의 활동이 더욱 활발한 것은 확실해 보인다. 결론적으로 0.2 Tesla 정도의 강한 펄스자기장을 인체에 가했을 때 혈액에 있는 적혈구에 직접적인 영향을 주어 연전상태가 개선되는 분명한 결과를 얻었다.

현재 서양의학에서 생혈액 감사와 적혈구의 연전현상에 대한 연구는 명확한 임상학적 유용성을 확인하지는 못하고 있다[9]. 국내에서 생혈액 검사는 질병에 대한 확진이나 병변부위를 정확하게 알 수는 없으나 대략적인 병의 상태 및 몸의 기질적 문제를 미리 예측할 수 있다고 한의학과 일부 의원에서 실시하고 있다. 그러나 아직 임상병리적으로 생혈액 검사에 대한 객관적인 자료와 표준화 방법이 정리되지는 않았다. 그럼에도 불구하고 적혈구의 연전현상은 인체의 산소공급을 부족하게 하는 원인은 분명해 보인다. 특별한 증상은 없어도 피곤, 숨참, 소화불량, 부종, 손발 저림이나 차가움 등의

아건강(亞健康, 병증은 없으나 몸이 좋지 않은 상태로 건강과 질병사이의 제3영역을 말함)에서 연전현상이 많이 발생하는 한의학적 임상학적 소견이 많다.

본 연구에서는 적혈구의 연전현상에 대해 서양의학에서도 아직 분명히 밝히고 있지 않아서 본 논문에서는 논의하지 않기로 한다. 단지 펄스자기장 자극에 의한 연전현상의 개선 이유는 다음과 같이 생각된다.

적혈구의 직경은 대개 7~8 μm 가량이며 가운데가 오목한 원반모양을 하고 있으며 두께는 가장자리 부분은 2~3 μm, 가운데는 1 μm이어서 직경이 8~20 μm인 모세혈관을 비교적 쉽게 통과할 수 있다. 적혈구의 엽전모양은 중심에 산소와 결합하는 헤모글로빈(hemoglobin)이란는 산소운반 단백질 때문이다. 이 모양은 폐포의 모세혈관을 통과하면서 산소와 접촉면적을 최대한 높여서 산소가 결합하는데 유리하다. 적혈구는 다른 세포와 달리 핵, 미토콘드리아 등의 세포내 소기관들이 없으며, 대신 헤모글로빈 단백질이 적혈구당 약 300만개 포함되어 있다. 헤모글로빈 단백질 중심에는 Fe 이온이 자리하고 있고, 철을 포함한 포르피린 고리와 단백질의 일종(글로빈)을 포함한 헴(heme)이라는 구조 4개가 모여 이루어진다. 분자식은 $C_{3032}H_{4816}O_{872}N_{780}S_8Fe_4$이다.

결국, 펄스자기장을 가하면 헤모글로빈 내에 있는 철 이온에 로렌츠 힘을 받게 되고, 그 결과로 붙어 있었던 적혈구들은 모두 흩어지는 것으로 판단할 수 있다. 결국 연전현상을 개선하는 방법은 펄스자기장 외에 초음파 등의 다른 방법도 가능할 수 있다. 그러나 앞에서 언급했듯이 펄스자기장은 비접촉이 가능하고 심부 깊숙이 침투하는 특성이 있어 치료방법이 편리하다고 할 수 있다. 앞으로 본 연구는 다양한 조건에서 많은 실험대상자를 토대로 지속적으로 진행할 필요가 있다. 특히 국내외적으로 지속적인 고령자가 늘어나고 당뇨환자 등 혈류 흐름에 문제가 되는 환자들이 확대되고 있어 펄스자기장에 의한 혈류개선 효과 연구는 고령화 사회에서 매우 중요한 치료기술을 확보할 수 있다.

IV. 결 론

강한 펄스자기장 자극시스템을 이용하여 손에 인가한 후에 현미경을 이용한 생혈액 분석한 결과 적혈구의 연전현상이 분명하게 호전되었다. 또한 자기장 자극에 의해 독립적으로 분리된 적혈구는 매우 활발하게 운동하는 것을 동영상을 통해 확인하였다. 체내에 혈류흐름에 의해 손에만 자극하여도 온몸으로 적혈구의 연전현성이 개선되는지 확인한 결과 자극한 손 반배쪽에서 채영한 적혈구의 연전현상도 호전되었음을 확인하였다. 최종적으로 펄스자기장은 적혈구의 연전을 개선시키는 결과를 분명히 보여주고 있다.

감사의 글

본 논문은 2011년도 상지대학교 교내연구비 지원받아 수행되었으며, 실험대상자는 연구책임자가 직접했으며 보조실험은 김우리 학생이 도와주었다. 이에 도와준 모든 분들께 감사를 드립니다.

참고문헌

[1] Jaakko Malmivuo and Robert Plonsey, *Biolectromagnetism*, Oxford university press (1995), chapter 1.
[2] http://en.wikipedia.org/wiki/Transcranial_magnetic_stimulation.
[3] H. N. Mayrovitz and P. B. Larsen, Wounds **4**, 197 (1992).
[4] H. N. Mayrovitz and P. B. Larsen, Wounds **7**, 90 (1995).
[5] D. Roland, M. Ferder, R. Kothura, T. Faierman, and B. Strauch, Plastic and Reconstructive Surgery **105**, 1371 (2000).
[6] S. C. Kim, J. Korean Acupuncture Moxibustion Society **18**, 23 (2001).
[7] S. W. Shin and J. S. Lee, J. Korea CHUNA Manual Medicine **2**, 159 (2001).
[8] Do-Guwn Hwang, et al., “Apparatus for generating voltage for magnetic type medical instrument”, Korea patent, 10-2009-0062239 (2012).
[9] J. H. Kang, J. Y. Sim, H. S. Cho, D. H Ko, S. H. Kim, and H. R. Lee, J. Kor. Acad. Fam. Med. **22**, 70 (2001).
[10] The Korea Society of Hematology, “Hematology” Bummun-Education press (2011).

Change in Rouleau Formation of Red Blood Cells by Pulse Magnetic Field Stimulus in the Hand

Do Guwn Hwang*

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

(Received 2 January 2014, Received in final form 11 February 2014, Accepted 11 February 2014)

The change of rouleau formation of red blood cells in the hand stimulated by pulse magnetic field having a maximum intensity of 0.27 Tesla and pulse duration of 0.102 msec was investigated. Before pulse magnetic field stimulus, the red blood cells of test subject were adjoined over ten and the flow of cells was slowed. However after the stimulus in the hand during 10 minutes, the red blood cells adjoined over tens was spreaded out each other and its motion was fast. Also the red blood cells of left hand unstimulated by pulse magnetic field were spreaded out each other, even though the right hand was stimulated during 10 minute. It prove that the rouleau formation of red blood cells can be improve in the whole body in spite of stimulus in the hand because the blood is flowing a whole body.

Keywords : pulse magnetic field stimulus, rouleau formation, red blood cell