

## 자기장을 활용한 통증치료기의 효력평가

윤유식 · 김선형 · 최선미 · 문진석  
강동근\* · 김영\* · 안영복\* · 이종철\* · 정우진\*  
한국한의학연구원, \* (주)오스테오시스

### Abstract

### Efficacy Evaluation of Magnetic P

Yoon Yoosik, Kim Sunhyoung, Choi Sunmi, Moon Jinseok  
Kang Dongkun, Kim Young, Ahn Youngbok, Lee Jongcheol, Jung Woojin  
Korea Institute of Oriental Medicine  
OsteoSys

The goal of this study is construction and efficacy evaluation of MPC-25 (Magnetic Pain Control-25), a medical device using magnetic stimulation. MPC-25 consists of a main body containing power supply and control module and a bed containing magnetic core and coil. In distinction from electric pain control medical devices, magnetic pain control system is non-contact, so the patients need not take off their clothes to be treated. High amplitude current pulses are applied to a magnetic coil and induce time varying magnetic field generating eddy current in a conductor like human body. Clinical efficacy test was performed in patients suffering from musculoskeletal pain of lumbar, shoulder and joint. Degree of pain before and after treatment for 30 minutes was compared using Visual Analogous Scale. As a result, 14 cases out of 20 showed decreased pain perception, so the rate of efficacy is 70%. Reduction of pain perception was statistically significant ( $P=0.001$  by Wilcoxon Signed Rank Test).

**Key words** : Magnetic Stimulation, Pain Control, Musculoskeletal Pain, Time Varying Magnetic Field

## 서 론

자기장 자극치료는 인체에 자기장을 작용키면 새로운 전기장이 생겨(전자유도) 전류가 발생하고 이온이 주위의 신경을 전기적으로 자극시키는 원리에 의한다. 보고에 의하면 0.1초 사이에 7300G의 강자기장을 발생시켜 0.3~4초 사이의 자기장진동을 준 결과 요통 83.9%(±9.6%), 어깨결림 78.7%(±11.7%), 무릎관절통 81.5%(±14.6%), 경부통 70.8%(±19.2%)이 개선되었다는 보고가 있다. 그리고 자기는 효소를 활성화한다는 결과가 있는데 13000G의 자기장을 가하면 소화효소인 트립신의 활동이 촉진되며 4000G의 자기장을 가하면 뇌신경세포의 정보전달에 밀접하게 관계되는 아세틸 크린 에스에라제라는 효소가 활성화 된다고 한다.<sup>1)</sup> 미국 밴더빌트 대학의 신경과 전문의인 로버트 홀콤(Robert Holcomb)박사는 만성통증을 조절할 수 있는 새로운 기법을 찾던 중 신체의 특정 부위에 작은 자석을 부착시키면 다양한 원인에 의한 통증을 경감시키거나 혹은 없앨 수 있다는 사실을 발견하였다. 홀콤은 전자현미경을 이용하여, 자석이 작용하게 되면 세포내 염색체가 방향을 바꾸게 되고, 이러한 염색체의 위치변화를 통해 급성 혹은 만성 통증이 없앨 수 있다고 하였다.<sup>2)</sup>

통증은 현대의학에서도 여전히 의문으로 남아있으며 실제적인 상해나 자극, 즉 인체에 대한 물리적 손상이 없어도 느낄 수 있는 일종의 감각이다. 국제통증학회(ISAP: International Association for the Study of Pain)의 정의에 의하면 “통증은 실질적 또는 잠재적인 조직손상이나 이러한 손상에 관련하여 표현되는 감각적이고 정서적인 불유쾌한 경험이다”라고 되어 있다. 통증의 진단방법으로는 한의학적인 망문문절(望聞問切), 방사선(X-ray), 컴퓨터단층촬영(C.T), 자기공명영상검사(M.R.I), 초음파, 기능검사, 촉진에 의한 연관통

검사, 신경반사 검사 등이 있으며 기타 검사로는 혈액 검사, 소변검사, 조직검사, 연관성이 의심되는 질환의 연관 검사 등이 있다. 통증의 치료법을 살펴보면, 환부에 아시혈이나 압통점, Trigger Point 지점에 자침하거나 신침(新針)요법을 이용하여 이부(耳部), 족부(足部), 두부(頭部), 수부(手部)에 자침하는 침구요법(鍼灸療法), 온냉습포나 전기자극요법(저주파, 고주파)을 이용한 이학요법(理學療法),推拿요법(推拿療法), 그리고 약물요법(藥物療法) 등이 있다. 그 외에 근육이완제, 진통소염제 등을 복용하거나 수술, 운동과 자각적인 체조법을 실시하기도 한다.

## 자기장 신경 자극 (Magnetic Nerve Stimulation)

자기장 신경자극이란 피부에 부착한 전극을 통하지 아니한 자기장의 변화에 의해 신경섬유(exon)의 막(membrane)을 통과하는 전류를 유도하여 막전위의 depolarization을 일으켜 신경을 자극시킬 수 있는 방법이다.<sup>3)</sup> 자기장이 신체를 통과하여 신체 안에 전기장(전위의 차이)를 발생시키고 이러한 전위의 차이에 의해 이온의 흐름이 나타나 막전위의 depolarization을 일으켜 신경을 자극시키게 된다. 즉 자기장은 전위의 차이를 일으켜 이온의 흐름(즉 전류)를 유도하는 역할을 하며 그 자체가 신경을 자극하는 것은 아니다. 신경자극을 위한 적절한 전자기장의 파형에 대하여서 여러 연구를 통하여 시간적으로 변동이 빠른 파형일수록 신경자극 효과가 높음이 보고되었다. 자기장에 의한 자극은 전기적인 자극에 비해 피부 안으로 들어가면서 유도되는 전기장의 세기가 훨씬 적게 감소되는 큰 장점을 지니고 있다. 예를 들어 동일한 강도의 자극을 피부에 줄 경우 피부에서 40mm 안쪽에 위치한 신경의 경우에는 자기장에 의한 자극이 전기적 자극보다 10배나 높은 전기장을 유도한다고 알려져 있다. 따라서 자기장 자극

은 전기자극보다 신체 깊숙히 위치한 신경을 자극시킬 수 있으며 동일한 효과를 위하여 피부에 가해지는 자극의 강도가 낮기 때문에 피험자들에게 불쾌감이나 통증을 훨씬 덜 주게 된다. 자기장은 공기 및 기타 매체 중에 감소됨이 없이 전달되므로 신체에서 수 cm 거리를 두고 자극이 가능하며 피험자가 탈의하거나 옷을 걷어 올릴 필요가 없고 피부가 손상되거나 감염된 경우에도 접촉없이 사용할 수 있다.

이때 주의할 점은 인공 심장 자극기(pace maker)를 부착한 환자의 경우 심장 부근의 자기장 자극은 심장 자극기의 작동에 지장을 줄 수 있다. 그리고 심장바로위의 자기장 자극은 피하는 것이 좋으며, 금속성 임플란트(implant)를 이식한 환자는 그 부근의 자기장 자극을 피하는 것이 좋다.

자기장을 국소적 근골격계 통증(localized musculo skeletal pain)의 치료에 적용한 몇몇 사례가 외국에서 국제 의학학술지에 논문으로 발표되고 있다.<sup>4),5)</sup> 또한 최근 들어 여러 질환에 자기장을 활용하여 좋은 성과를 얻은 연구결과들이 제시되어 있어서 인체질환의 치료에 대한 자기장의 유효성과 안전성을 제시해주고 있다.<sup>6)-13)</sup>

본 연구에서는 자기장 통증치료기의 시제품(Magnetic Pain Control-25; MPC-25)을 제작하여 소수의 자원자를 대상으로 한 효능을 평가하였다.

## 시스템의 구성 및 특징

MPC-25 파워와 제어를 담당하는 본체와, 치료용 베드, 신호를 제어하는 Operating S/W로 구성되어 있으며, 본체는 파워모듈(Power Module)과 제어모듈(Control Module)로 구성되어 있고, 치료용 베드는 자기장 발생장치(Magnetic Stimulator)를 포함하고 있다.

## 시스템의 구조

MPC-25는 파워와 제어를 담당하는 본체와, 치료용 베드로 구성되어 있으며, 본체는 파워모듈과 제어모듈로 구성되어 있고, 치료용 베드는 자기코어와 코일로 구성되어 있다.[그림 1.]

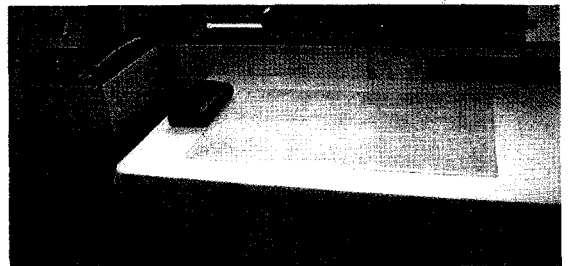


그림 1. MPC-25의 전체 구성도

## 본체

### (1) 전원장치

전원을 공급하는 전원 장치, 고전압 및 고전류를 생성하는 전원발생장치, 자기장발생장치와 연결되는 연결장치로 구성되어 있다.

### (2) 조작 패널

본체의 제어모듈로 치료기를 조작하는 부분으로 LCD 화면과 여러 키로 구성되어 있다.

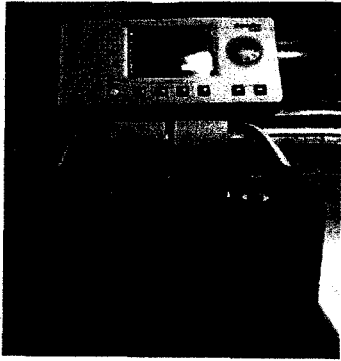


그림 2. 본체의 전면도



그림 3. 치료 베드

### 치료용 베드

치료용 베드의 구성은 환자가 눕거나 앉을 수 있는 베드와 자기장발생장치로 이루어져 있다. 자기장 발생 장치는 치료기 본체에서 생성된 고전압 및 고전류가 연결 케이블을 통하여 순간적으로 인가되어, 강력한 시변자계가 생성되는 부분이다. 자기장발생장치는 자기 코어와 코일로 구성되어 있다. 자기장발생장치는 치료 용 베드의 상판의 아래 부분에 부착되어 베드위에 있는 환자의 통증부위 바로 아래로 이동할 수 있다.

### 자기장발생장치

자기장발생장치는 출력자장의 자기포화가 15000G (=1.5 tesla) 이상이 되도록 형성된 구조를 갖는다. 파워 모듈에 생성된 순간적인 고전압 및 고전류에 의해 코일의 주변에 생성된 시변자계에 의해 자기코어가 자기포 화가 되어 충분히 큰 자기장과 깊은 침투 깊이를 생성 하도록 한 구조와 형상을 가진다. 파워모듈에서 생성 된 순간적인 고전압 및 고전류에 의해 코일의 주변에 시변자계가 생성될 수 있도록 한 원형태의 코일을 말한다. [그림 4]

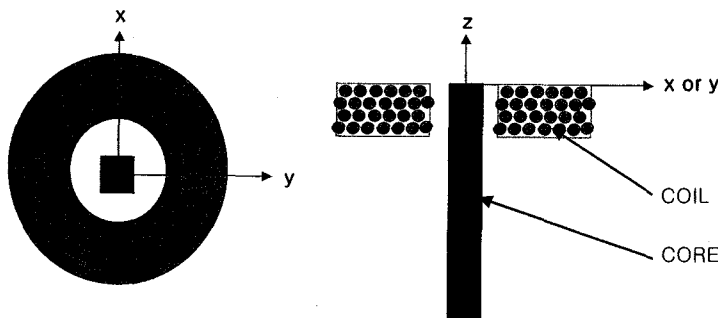
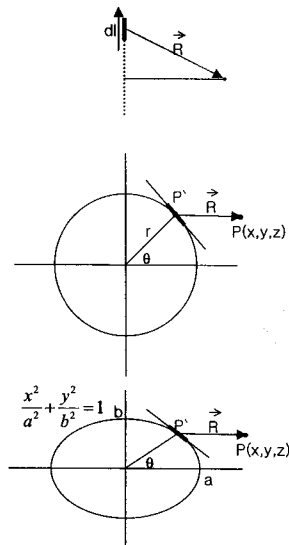


그림 4. 자기장 발생장치의 개요도

**Biot-savart's law**

Biot-Savart law는 도선에 전류가 흘렀을 때 그 전류로 인하여 주변에 자기장이 발생하는데 그 자계의 세기를 말하는 것으로 전류의 흐르는 형태에 따라 자계의

세기가 달라진다. 식(1)은 일반적으로 직선전류가 흘렀을 때 임의의 점 P에서의 자계의 세기이고, 식 (2)와 (3)은 각각 원형과 타원형으로 전류가 흘렀을 때 자계의 세기 식이다.



$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{R}}{R^3} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$f \times g = \begin{vmatrix} \hat{e}_x & \hat{e}_y & \hat{e}_z \\ f_x & f_y & f_z \\ g_x & g_y & g_z \end{vmatrix}$$

$$= (f_y g_z - f_z g_y, f_z g_x - f_x g_z, f_x g_y - f_y g_x)$$

$$\vec{P}' = (r \cos \theta, r \sin \theta, 0)$$

$$\vec{dl}' = (-r \sin \theta d\theta, r \cos \theta d\theta, 0)$$

$$\vec{R} = \vec{\beta} - \vec{P}'$$

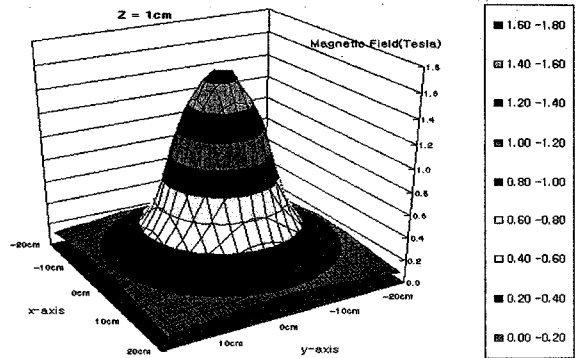
$$\vec{P}' = (a \cos \theta, b \sin \theta, 0)$$

$$\vec{dl}' = (-b \sin \theta d\theta, a \cos \theta d\theta, 0)$$

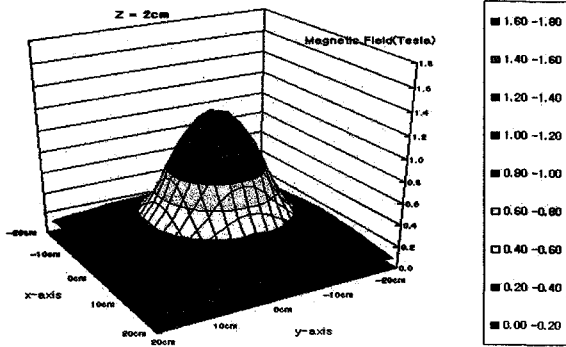
$$\vec{R} = \vec{\beta} - \vec{P}'$$

**출력자장형성도**

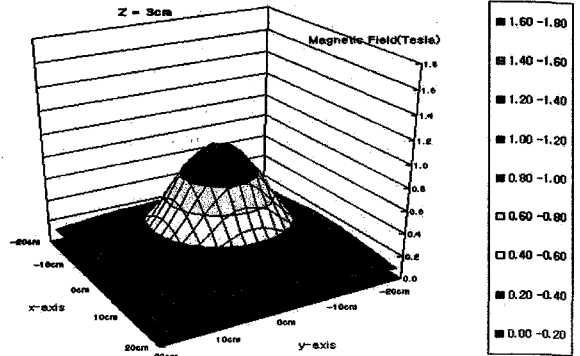
MPC-25의 자기장 발생장치의 출력자장의 형성도를 시뮬레이션 한 결과를 나타낸다.[그림 5] 자기장 발생장치와의 거리 Z = 1cm, Z = 2cm, Z = 3cm에서의 자장 형성도를 나타낸다.



(a) The Magnetic Field Distribution for a distance of 1cm above the coil



(b) The Magnetic Field Distribution for a distance of 2cm above the coil



(c) The Magnetic Field Distribution for a distance of 3cm above the coil

그림 5. 출력지장형성도

### 작동원리

코일에 순간적으로 전류를 급격하게 변화시키면 코일 주변에 자기장(Magnetic Field)을 발생하게 되고, 자기코어에 의해 더 큰 시변 자기장(Time Varying Magnetic Field)이 유도된다. 이 시변 자기장은 도체 내에 와전류(eddy current)를 발생시킨다. 인체의 전기전도도는 금속과 같은 양질의 전도체에 비해 매우 낮지만 도체로서의 성질을 가지고 있으므로, 인체 주위에 시변 자기장을 인가하면 일반 전기 전도체와 같이 인체 내에 와전류를 유도할 수 있다. 인체에 직접 전류를 흘리지 않고 비접촉 방식으로 유도된 와전류는 전극을 사용하여 직접적으로 인체에 주입하는 전류와 같은 효과를 나타낸다.

위와 같은 원리로 환자가 눕거나 앉은 상태에서 베드에 장착된 자기장발생장치에 순간적으로 강한 전류를 흘리면 자기장발생장치 주변에는 전류에 의한 자기장이

발생하며, 베드 위에 있는 환자의 근육 및 신경 주변에 와전류가 유도된다. 유도된 와전류는 신경(Nerve)을 자극하여 근육을 수축시키거나 통증을 경감시킬 수 있다. 자극코일에 흘려주는 전류의 주파수에 따라서 근육과 신경은 수축과 이완을 반복하는 운동을 한다

MPC-25는 자기장의 세기가 크고 침투 깊이가 깊은 특수 자기코어를 적용함으로써 치료의 효과를 증대할 수 있으며 또한 환자들의 적응도에 따라 자기장의 세기 및 침투깊이를 변경시킬 수 있도록 고안되었다. 또한 자기장의 주파수 조절에 의해 신경 및 근육의 수축운동 뿐만 아니라 이완시켜주는 역할을 할 수 있어 치료의 효과를 증대할 수 있다.

### 특징 및 장점

MPC-25는 자기장을 이용한 근골격계 통증 치료기로서 강력한 자기장에 의해 인체 내에 유도되는 와전류

로 치료부위의 신경 및 근육을 반복적으로 자극하여 국소적인 근골격계 통증(musculoskeletal pain)을 경감 및 치료하는 기기이다. 기존에 나와 있던 통증치료기가 접촉식이므로 단자를 환자의 피부에 접촉시켜야 하는 불편함을 피하고 처치가 어려운 신체부위에도 손쉽게 적용하기 위하여 개발된 제품으로 환자가 평상복을 입은 상태에서 누워 있거나 앉아있지만 하면 되는 간편한 치료방법이다. MPC-25는 강력한 자기장의 실현과 깊은 침투 깊이를 구현하고 환자에 따른 자극 강도 조절에 의해 환자 치료의 효과를 증대할 수 있다. MPC-25는 치료 환자가 주로 만성병을 지닌 중년이상임을 고려하여 치료의 효과와 더불어 편안한 느낌을 줄 수 있는 베드형 디자인으로 안락한 치료가 이루어질 수 있도록 개발되었다. 비접촉식이므로 직접적인 전류의 흐름에 피부의 손상이나 감염의 위험이 없다. 접촉단자를 사용할 경우 여러 환자의 피부에 접촉함에서 오는 위생상의 문제와 이를 피하기 위하여 1회용 단자를 사용할 경우 비용 및 번거로움의 문제가 있으나 MPC-25는 이러한 문제에서 자유롭다. 그리고 의사 입장에서 간편한 키 조작에 의해 기기의 조작이 가능하며, 조작상태 및 동작 상태를 LCD 화면으로 출력하여 사용방법이 간단하다.

## 실험 방법

통증의 평가방법에 있어서는 Visual Analogous Scale (VAS), 주당 통증횟수, 주당 진통제 복용량, 의사가 평가한 치료효과, 치료에 대한 환자의 만족도 등이 있으나 VAS가 일반적으로 가장 많이 활용되고 있다. VAS는 통증 등의 경우와 같이 객관적인 측정방법이 존재하지 않을 경우 주관적인 현상을 정량화 하는데 용이하고, 증상의 시간적인 변화를 평가하는데 유용하다. 그리고 통증, 스트레스, 근심, 가려움증, 배고픔, 긴장감, 우울증 등의 평가에 널리 이용되며, 임상에서 증

상의 개선 및 악화, 특정한 치료법의 유용성에 대한 평가에 활용이 가능하다. 여러 VAS 방법을 비교한 연구 결과, 통증의 경우 graded linear horizontal scale이 신뢰성 있는 결과를 내고 환자들에게 선호되는 것으로 보고된 바 있다.<sup>14)</sup>

임상연구결과의 통계처리는 SPSS 9.0 프로그램을 사용하여 Wilcoxon signed rank test로 통계적 유의성을 평가하였고 유의수준은  $P < 0.05$ 로 하였다.

## 결과 및 고찰

총 23명의 자원자가 모집되어서 30분간의 MPC-25 치료를 받았다. MPC-25 치료는 10분간 5 Hz 자극과 20분간의 20 Hz 자극으로 구성되었다. 자원자 중 3명은 치료당일 통증증세가 뚜렷하지 못하여 분석에서 제외되었다.

총 20명의 자원자중 14명이 치료 후 통증의 경감을 나타내었고 나머지 6명은 통증의 정도에 변화가 없었다. 따라서 유효율은  $14/20 = 70\%$ 로 관찰되었다. 또한 각 피험자들의 통증정도를 치료전과 치료후로 나누어 통계적으로 분석한 결과 의미있는 통증경감효과가 관찰되었다. ( $P=0.001$  by Wilcoxon Signed Rank Test)

표1 . 임상실험대상자 Data

	성별	연령	치료부위	치료전 통증 (VAS)	치료후 통증 (VAS)	통증변화 (VAS)
1	남	32	요부	5	4	-1
2	여	27	요부	7	7	0
3	남	33	요부	1	1	0
4	여	25	견부	7	7	0
5	여	64	요부	6	3	-3
6	여	23	견부	6	4	-2
7	남	33	견부	8	5	-3
8	여	33	견부	7	6	-1
9	남	36	견부	5	3	-2
10	남	36	관절	5	1	-4
11	여	67	요부	6	6	0
12	남	36	요부	2	1	-1
13	여	23	요부	7	6	-1
14	여	26	견부	10	9	-1
15	남	43	요부	4	1	-3
16	여	26	견부	9	9	0
17	여	68	요부	8	3	-5
18	여	69	요부	8	5	-3
19	여	59	견부	8	8	0
20	여	24	견부	3	2	-1

표2. MPC-25 치료 전후의 통증의 변화

	N	Mean±sem
Before	20	6.10±0.52
After	20	4.55±0.60***

\*\*\* Z=-3.334, P=0.001 by Wilcoxon Signed Rank Test



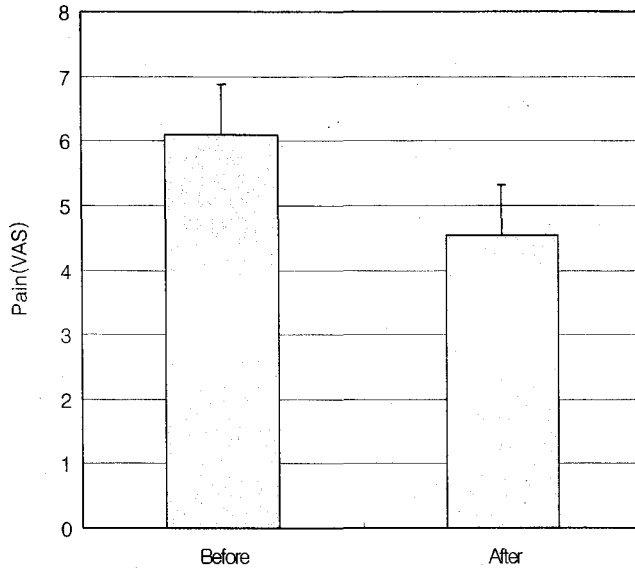


그림 6. MPC-25 치료 전후의 통증의 변화 (평균±표준오차)

\*\*\* P=0.001 by Wilcoxon Signed Rank Test

### 결 론

자기장 통증치료기 (MPC-25)의 동작원리는 코일에 순간적으로 고전류를 급격하게 변화시켜 자기장 (Magnetic Field)을 발생시키고 자기코어에 의해 증폭 시킨 후, 이 자기장에 의해 치료용 베드에 눕거나 앉은 환자의 신경 및 근육 주변에 전류를 유도하여 신경을 자극시킴으로써 통증을 감소시키는 것이다.

효력평가를 위하여 요통, 견비통 등을 지닌 피험자들을 대상으로 10분간 5 Hz 자극과 20분간의 20 Hz 자극을 실시하였다. 실험결과 20명중 14명이 치료 후 통증의 경감을 나타내어 유효율은 70% 이었고, 통계적으로 의미있는 통증경감효과를 보였다(P=0.001 by Wilcoxon

Signed Rank Test).

2000년대에 들어와 두드러진 의료산업분야의 비중 증가와 관련, 의료기 시장의 확대가 이루어지고 있으며 그에 따라 여러 다양한 의료기의 개발과 판매가 시도되고 있다. 이러한 시점에서 자기장을 활용한 치료기의 선진화 기반 확보하고 관련규정을 준수하면서 임상적인 치료 효능을 입증하여 의료기기를 개발할 경우 고부가가치 의료산업으로 육성될 가능성이 크다.

<b>참고문헌</b>
-------------

1. 행림대학 보건학부생 이학교실 강정치(Okai, Osamu) pp13, pp16, pp38.
2. QUIXTAR Press Room, [MAGNA BLOC THERAPEUTIC MAGNETS]
3. Barker AT, 『An Introduction to the Basic Principles of Magnetic Nerve Stimulation』, Journal of Clinical Neurophysiology, 8(1), 26-37, 1991.
4. Pujol J, Pascual-Leone A, Dolz C, Delgado E, Dolz J L, Aldoma J, 『The effect of repetitive magnetic stimulation on localized musculoskeletal pain』, NeuroReport 9, 1745-1748, 1998.
5. Sato T, Nagai H, 『Sacral Magnetic Stimulation for Pain Relief from Rudental Neurogia and Sciatica』, Dis Colon Rectum, 45(2), 280-282, 2002.
6. Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, Jarratt JA, 『Magnetic stimulation of the human brain and peripheral nervous system: an introduction and the results of an initial clinical evaluation, Neurosurgery』, 20(1), 100-109, 1987.
7. Fujishiro T, Takahashi S, Enomoto H, Ugawa Y, Ueno S, Kitamura T, 『Magnetic stimulation of the sacral roots for the treatment of urinary frequency and urge incontinence: an investigational study and placebo controlled trial』, J Urol, 68(3), 1036-1039, 2002.
8. Holcomb RR, Worthington WB, McCullough BA, McLean MJ, 『Static magnetic field therapy for pain in the abdomen and genitalis』, Pediatr. Neurol., 23(3), 261-264, 2000.
9. Jin X, Wu X, Wang J, Huang B, Wang Q, Zhang T, Niu Z, Zhang X, 『Effect of transcranial magnetic stimulation on rehabilitation of motor function in patients with cerebral infarction』, Zhonghua Yi Zue Za Zhi, 82(8), 534-537, 2002.
10. Lefaucheur JP, Drouot X, Nguyen JP, 『Interventional neurophysiology for pain control: duration of pain relief following repetitive transcranial magnetic stimulation of the motor cortex』, Neurophysiol. Clin., 31(4), 247-252, 2001.
11. Menkes DL, Bodnar P, Ballesteros RA, Swenson MR, 『Right frontal lobe slow frequency repetitive transcranial magnetic stimulation is an effective treatment for depression: a case-control pilot study of safety and efficacy』, J Neurol Neurosurg Psychiatry, 67(1), 113-115, 1999.
12. Rollnik JD, Wustefeld S, Dauper J, Karst M, Fink M, Kossev A, Dengler A, 『Repetitive transcranial magnetic stimulation for the treatment of chronic pain - a pilot study』, Eur Neurol, 48(1), 6-10, 2002.
13. Zhu Y, Haldeman S, Hsieh CY, Wu P, Starr A, 『Do cerebral potentials to magnetic stimulation of paraspinal muscles reflect changes in palpable muscle spasm, low back pain, and activity score?』, J Manipulative Physiol Ther, 23(7), 458-464, 2000.
14. Sriwatakul, K., Kelvie, W., Lasgna, L., Calimlin J.F., Weis, O.F. et al. 『Studies with different types of visual analog scale for measurement of pain. Clin. Pharmacol. Ther.』, 34, 234-239, 1983.