

정자기장과 맥동전자기장이 MC3T3-E1 세포의 ALP 및 DNA 활성도에 미치는 영향

손 정 희¹⁾ · 배 성 민²⁾ · 성 재 현³⁾

정자기장과 맥동전자기장이 배양 조골세포에 미치는 영향을 알아보고자 MC3T3-E1세포를 각 자기장하에서 배양하여 ALP활성도와 DNA의 합성능을 평가한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 정자기장을 가한 군에서 자석을 1,2,3개 가한 군(51~114.8mT)에서 대조군에 비하여 ALP의 유의성있는 증가가 나타났다(P<0.05), 자석을 4개 5개 가한 군(150mT)에서는 대조군에 비하여 ALP활성도에 차이가 나타나지 않았다.
2. 맥동성 전자기장에서는 대조군에 비하여 ALP활성도에 유의한 차이가 나타나지 않았다.
3. DNA합성능은 정자기장과 맥동성 전자기장을 가한 군 모두 대조군에 비하여 유의한 차이가 나타나지 않았다.

이상의 결과 정자기장에 의한 교정력은 골세포의 대사과정에 변화를 줄 수 있으므로, 치아이동에 어떠한 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

(주요단어 : 자기장, 조골세포, ALP 및 DNA활성도)

I. 서 론

교정치료에 의한 치아의 이동은 기계적인 교정력을 치아와 지지조직에 가하여 생물학적 변화를 야기시키므로써 골조직 내에서 치아가 움직이게 된다. 최근 이러한 기계적 교정력을 발생시키는 가철성 및 고정성 장치물에 부가적으로 자석의 힘을 이용하려는 시도가 이루어지고 있다. 가철성 기능적 악교정 장치에 자석을 사용할 경우, 상하로 장치물을 분리할 수 있으므로 장치물에 대한 환자의 협조도를 증가시켜 장시간 장착이 가능할 뿐 만 아니라 발음에 대한 장애도 줄일 수 있는 이점이 있다. 또한 전통적으로 사용되어온 금속 와이어, 코일 스프링, 스크류, 고무 등

은 교정력의 발생 초기에 강한 힘이 적용되므로 동통과 불편감의 한 원인이 되기도 하였으며, 그 힘이 치아가 이동함에 따라 약화되는 단점이 있었다. 그러나 자력은 두 자석간의 거리의 제곱에 반비례하는 특징을 가지고 있으므로 자석의 인장력을 이용하면 초기에 약한 힘이 적용되다가 치아가 이동하면서 두 치아 사이의 거리가 짧아질수록 점차로 힘이 증가되므로, 초기에 강한 힘이 적용되다가 그후 힘이 소실되는 기존의 교정력의 단점을 해소할 수 있을 것으로 생각되어 왔다. 또한 고정성 교정치료에 있어서 약간 고무의 사용은 가장 중요한 치료과정 중의 하나지만 환자의 절대적인 협조를 필요로 한다. 그러나 자력을 적절히 이용하면 약간 고무의 사용없이도 교정 치료가 가능할 수 있을 것이다.

자석에 관한 연구는 1960년대 중반 Karl Strnat에 의해서 부피가 작으면서도 강한 자력을 나타내는 희토류 금속계인 Sm-Co계의 자석개발로 그 이용도가

1) 경북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생

2) 경북대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생

3) 경북대학교 치과대학 교정학교실, 교수

급격하게 증가되었다. 교정 분야에서도 Blechman^{3,4)}과 Dellinger¹⁶⁾ 전까지는 영구자석을 이용한 교정력은 유용성이 없다고 하였으나, 부피가 작은 희토류 자석의 개발로 최근에는 고무나 스프링을 대체하는 장치 소개되어 있으며, 또한 Kawata^{등^{21,22)}} 자석 브라켓도 개발한 바 있다.

자석의 이용은 이미 오래전부터 우리의 일상생활과 밀접한 관련이 있으며, 또한 우리는 항상 자장내에서 살고 있다. 그러나 자기장이 생체에 미치는 영향과 효과에 대해서는 아직 명확하게 밝혀진 바가 없어 많은 논란의 대상이 되고 있지만, 정형외과 영역에서는 골절의 치유를 촉진하기 위하여 맥동 전자기장을 이용하고 있으며, 교정학 분야에서는 최근 Darendeliler^{등¹³⁾}에 의하면 자기장의 영향으로 치아의 이동속도가 증가된다는 보고도 있다.

따라서 본 연구는 자기장이 골세포에 미치는 영향을 세포 수준에서 알아보기 위하여, 현재 널리 사용되고 있는 희토류 금속계열의 Sm-Co계 자석을 이용한 정자기장(static magnetic field)과, 교류전압에 의한 맥동성 전자기장(pulsed electromagnetic field)이 조골 세포주 MC3T3-E1배양세포의 Alkaline phosphatase(ALP)활성도와 DNA합성능에 미치는 영향을 알아보고자 본 실험을 시행하였다.

II. 문헌 고찰

1. 희토류 자석의 개발

1960년대 중반 Karl Strnat는 미공군 재료 실험실에서 기존의 자석에(Alnico, ceramic, ferrite) 비하여 여섯배 이상의 강한 자력을 자기면서 탈자화(demagnetization)에 대한 저항성도 높은 사마리움 코발트계(Sm₂Co₅)의 자석을 발견하였다. 이러한 희토류계의 자석의 발견은 자석의 부피를 획기적으로 감소시키는데 기여하였으며, Robinson²⁶⁾은 1984년 또 다른 종류의 희토류 자석인 Neodymium iron boron 자석을 소개하였다. 이는 SmCo계 자석보다도 자장의 세기가 2배 정도 더 강하지만 열에 대한 저항이 약한 것으로 나타났다.

2. 교정임상에서 자석의 이용

1976년 Kawata³⁶⁾는 정중이개 치료를 위하여 영구자석을 임상에서 처음 사용하였다. 이때 사용한 영구자

석은 치관 전체의 크기와 비슷할 정도로 부피가 크고, 전치에 밴드를 한 후 자석을 묶는 방법으로 부착하였다. 정중이개는 4주후에 폐쇄가 되었다.

Blechman과 Smiley⁴⁾는 성장기 고양이의 치아에 aluminium-nickel-cobalt 자석을 부착시켜 치아이동을 한 실험에서, 방사선학적 및 조직학적으로 자석의 생물학적 안정성을 입증하였고, 두 자석사이의 간극(air gap)이 감소하면서 거리의 역 제곱으로 자력이 강해지므로 더 빠른 치아이동을 할 수 있다록 보고하였다.

Blechman³⁾은 Sm₂Co₅ 자석으로 약간 교정력을 가하여 치료한 결과, 자석은 치아를 이동시킬 수 있는 충분한 힘을 발휘하므로 탄성고무의 사용 필요성을 없앨 수 있다고 하였다. 또한 치아이동시에 불편감을 없앨 수 있었으며, 필요시 힘의 방향을 조절하는 것이 가능하다고 하였다.

Dellinger¹⁶⁾는 Sm₂Co₅ 자석의 반발력을 이용한 교합거상판인 Active Vertical Corrector(AVC)를 사용하여 골격성 개방교합 환자를 치료한 결과, 전안면 고경의 감소, 구치부 함입, 그리고 하악골의 전상방 회전이 일어났다고 하였다. 그때 사용한 힘은 600-700 gm이었고, 최소 하루 12시간 이상 사용하게 하였으며, 3년 동안 경과를 관찰한 결과 안정성이 있음을 보고 하였다.

Kawata^{등²¹⁾}은 Sm₂Co₅ 자석으로 만든 자화에지와 이즈 브라켓을 사용하였다. 크롬을 도금하여 부식저항을 가지게 하였으며, 니켈 도금을 하여 mesh를 브라켓 밑면에 용접할 수 있도록 하여 브라켓을 치아에 직접 부착할 수 있게 하였다. 그는 자석의 부가적인 견인력으로 치료기간을 단축할 수 있었으며, 환자의 불편감을 줄이고, 더 좋은 치주조직 건강을 유지할 수 있다고 하였다.

Vardimon^{등³²⁾}은 영구자석을 이용하여 구개확장을 시도한 결과, 치체이동으로 인한 구치간 폭경의 증가가 일어났으며 상악구개 부위가 상방으로 재위치하였다고 하였다.

Gianelly^{등¹⁸⁾}, Itoh^{등¹⁹⁾}, Bondemark^{등⁵⁾}은 자석의 반발력을 이용하여 상악구치의 후방이동을 시도하였다. 종래의 강한 교정력을 가할 경우에는 혈행의 장애로 치아 이동양상이 느려지는 문제가 있었으나, 자장에 의해서 적혈구 모양이 좁고 길게 변화가 되어 혈행은 계속 유지가 되고 치아 이동도 빠르다는 것을 보고하였다.

Kalra^{등²⁰⁾}은 Sm₂Co₅ 자석을 고정성장치에 사용하

여, 하악골이 후퇴되고 하안면 고경이 증가된 II급 1류 부정교합 환자의 치료에 이용한 결과, 치료후 하악골 길이는 3.2mm 증가하였으며 안면각은 2.8° 감소, 상·하악 치아는 1.5mm 함입, 하안면각은 1.3° 감소되었다고 하였다. 치료후 관찰에서 다소의 보상성 맹출이 있었지만 다른 변화는 안정되었다고 보고하였다.

Vardimon 등³²⁾은 FOMAIII(functional orthopedic magnetic appliance)라는 기능형 자석장치를 4개월간 장착시킨 원숭이 실험에서, 두개저의 성장양상은 변화하지 않았으나, 중안면부의 전돌양상과 상악골의 전상방 회전이 나타났으며, 하악골 길이의 성장 억제 는 거의 나타나지 않은 반면 과두의 수직적인 성장 양상을 관찰할 수 있었다고 하였다.

Sandler 등²⁷⁾은 Neodymium계열의 자석을 미맹출 견치이동에 이용한 결과, 술식후 수술부위가 완전 봉합되므로 치유가 빠르고 기존의 술식보다 환자의 부담을 경감시키고, 술식의 복잡성도 피할 수 있었다고 하였다. Vardimon 등³¹⁾도 Neodymium iron boron 자석을 이용하여 매복된 치아를 성공적으로 견인하였다고 보고하였다.

Woods 등³⁴⁾은 자석의 반발력을 이용한 장치물을 성장이 끝난 원숭이의 구치부에 4개월간 적용해 본 결과 상악골의 위치 변화는 없었으며, 약간의 전방치아의 보상성 맹출과 약간의 하악골의 후방회전이 나타나면서 구치부가 치조와내로 함입되었다고 하였다.

Darendeliler와 Joho^{12,14)}, Darendeliler 등¹²⁾은 자력을 이용하여 Autonomous Fixed Appliance(AFA)와 Magnetic Activator Device(MAD II)로 II급 양악전 돌증을 치료한 예를 보고하였으며, 또한 Magnetic Activator Device(MAD III)를 사용하여 조기 3급 부정교합을 치료한 증례를 보고하였다.

Darendeliler와 Fredli¹¹⁾는 Sm₂Co₅ 자석의 인장력을 이용하고, 구치부에는 자석의 반발력을 이용한 장치(MAD-IV)를 사용하여 개방교합을 치료한 결과, 골격 및 치열을 개선시킬 수 있다고 보고하였다.

3. 자기장이 조직 및 세포에 미치는 영향

Tsutsui 등³⁰⁾은 Sm₂Co₅ 자석의 세포독성 실험에서 자장의 유무에 의한 세포독성은 대조군에 비하여 나타나지 않았다고 하였으며, 니켈도금시 보다는 크롬도금시에 생물학적으로 더 우수하다고 하였다.

Cerny⁹⁾는 개의 치아조직에 대한 Sm₂Co₅ 자석(95mT)의 영향을 조사해 본 결과, 임상적 및 현미경

학적으로 조직에 어떠한 세포반응이나 이물질 반응도 나타나지 않았다고 하였다.

Gerling 등¹⁷⁾은 맥동성 전자기장에 의한 하악과두의 성장 증가 양상에 관찰하고자 Guinea pig의 하악과두에 맥동전자기장을 가한 결과 하악과두에서 woven bone합성의 증가, 연골 세포간 기질의 분비 증가와 혈류량의 증가가 관찰되어, 맥동성의 전자기장에 의해서 과두의 연골과 골 대사를 변화시킬 수 있다고 보고하였다.

Blechman³⁾은 자석을 생체적합성 에폭시수지로 포매할 경우 자석의 부식물이 구강내로 새어나오는 것을 방지할 수 있는 생물학적으로 안정성이 있는 방법이라고 하였다.

Stark과 Sinclair²⁹⁾는 Guinea Pig에서 상악 중절치 이동에 맥동전자기장을 가할 경우, 치아 주위의 치조골에서는 파골세포의 출현이 증가되어 치아 이동이 증가되고, 또한 골 침착의 증가도 가능하다고 하였다.

Sandler 등²⁷⁾은 Sm₂Co₅ 자석과 다른 물리적, 화학적 성질을 갖는 Neodymium-iron-boron 자석이 UMR-106세포의 DNA 합성에 미치는 효과에 대하여 조사를 한 결과, UMR-106세포의 증식에 정자기장은 영향을 미치지 않았으며, 세포독성도 관찰되지 않았다고 보고 하였다.

Linder-Aronson과 Lindskog²⁴⁾은 백서의 좌측 경골후각에 Sm₂Co₅ 자석을 부착한 후 주사전자현미경으로 조직학적 소견을 관찰한 결과, 대조군에 비하여 상피두께의 감소가 나타났으며, 컴퓨터 영상분석으로 측정된 형태학적 변화에서도 3-4주 후에 흡수면적의 증가를 보여 정자기장이 상피재생을 억제시키고 골 흡수를 촉진한다고 하였다.

Camilleri와 McDonald⁸⁾은 백서의 시상봉합에 정자기장이 미치는 영향을 테트라 사이클린 형광법으로 골개조를 조사한 결과 거의 변화가 나타나지 않았으나, 자석을 가한 실험군에서 세포내 thymidine 흡수가 감소되므로 정자기장이 세포분열을 방해하는 것을 암시한다고 하였다.

Bondemark 등⁶⁾은 임상에서 사용한 재생 Sm₂Co₅ 자석의 세포독성을 밀리포어 여과법과 추출법을 통해 알아본 결과, 세포독성은 낮았으나, 부분적으로 스테인레스강으로 도금된 Sm₂Co₅ 자석에 수용성의 세포독성 성분이 소량 존재하므로 임상에서 사용하기 전 24시간 동안 물속에 담구어둘 것을 추천하였다.

Darendeliler 등¹³⁾은 Guinea Pig에 Sm₂Co₅ 자석과 맥동전자기장을 가한 군이 기존의 금속 스프링을 사

용한 군보다 치아이동 속도가 빨랐으며, 조직학적으로 관찰한 결과 이동된 상악절치 사이에 골의 양과 기질의 침착이 증가하였으며, 또한 혈액화학적으로 자기장을 가한 실험군에서 혈중 칼슘이 감소하였고, 정자기장하에서는 백혈구수가 감소하였다고 하였다.

Sandy 등²⁸⁾은 자기장에 의한 세포의 반응에서 정자기장은 결합조직에 영향을 미치지 않았으나 맥동 전자기장은 콜라겐 합성을 증가시켰다고 하였다.

III. 연구재료 및 방법

1. 재료

Alpha Minimal Essential Medium(α -MEM)과 fetal bovine serum(FBS)은 GibcoBRL사(미국)에서 구입하였다. Trypsin, bovine serum albumin(BSA)은 Sigma사(미국), L-[2,3-³H] proline(12.4Ci/nmol)은 New England Nuclear사(미국)의 제품을, 세포 배양용 플라스틱 용기는 Costar사(미국)의 제품을 사용하였고, 기타 시약은 시판되는 일급 시약을 사용하였다.

2. 세포배양

본 연구에 사용된 세포는 조골 세포주 MC3T3-E1이었으며 Kodama 등²³⁾에 의해 신생쥐(C57BL/6)의 두 개골에서 분리되어 계대배양된 세포로서 염기성 인산분해효소(alkaline phosphatase, 이하 ALP로 표기)의 활성과 교원질 합성능이 있으며, 장기간 배양하면 골기질의 석회화가 나타나는 조골세포와 골세포로의 분화 성질을 갖고 있는 세포주이다.

세포주는 10% fetal bovine serum(FBS) penicilin 100U/ml, streptomycin 100 μ l/ml, fungizone 5 μ l/ml가 포함된 α -Minimal Essential Medium(α -MEM) 10 ml에 넣고 37 $^{\circ}$ C, 95%의 습도, 5%의 CO₂ 배양기(Sanyo Co. Japan)에서 배양하였으며, ALP측정을 위하여서는 4well세포 배양접시에 세포를 well당 5,000개로 접종하여 배양하였으며, DNA측정을 위하여서는 well당 20,000개로 접종하여 배양하였다.

3. 자장의 자극 방법

1) 맥동 전자기장

본 실험에 이용한 장치는 Gerling 등¹⁷⁾의 방법에 준하여 Helmholtz 코일을 이용하였으며, 에나멜이 칠해

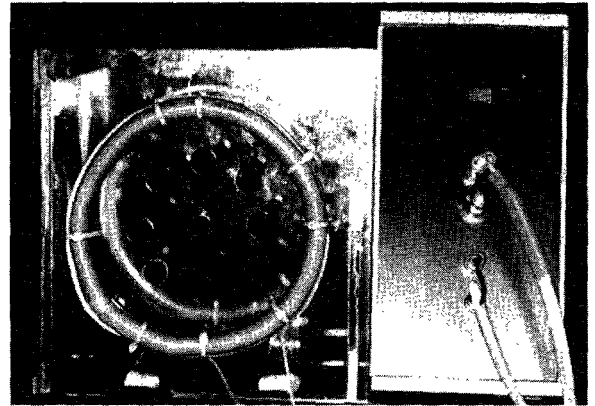


Fig. 1-a. Photograph of experimental unit in pulsed electromagnetic field.

진 17Gauge의 구리선을 40회 감은 한쌍의 코일을 플라스틱 상자 양쪽에 18cm거리를 두고 평행하게 위치시켰고, 15볼트, 4.5암페어인 전원을 공급하여 맥동 주파수 100Hz(Hertz), 최대 전자기장력이 5.3mili Tesla(mT)가 되도록 하였다. 맥동 전자기장은 하루 10시간 동안 조건을 가하였으며, DNA합성능 측정을 위하여 하루동안, ALP측정을 위하여서는 10일간 조건을 가하였다(Fig. 1-a).

2) 전자기장

본 실험에 사용한 자석은 직경 9.5mm, 두께 1.5mm의 Sm₂Co₅계 영구 자석(태평양금속(주), 한국)을 사용하여, 실험군에서는 영구자석을 4well 배양접시 상하에 각각 1개씩(51mT), 2개씩(96.2mT), 3개씩(114.8mT), 4개씩(151mT), 5개씩(151mT) 적용한 군과 아무 조건을 가하지 않고 배양한 대조군으로 나누었다(Fig. 2). ALP측정을 위하여서는 24시간 자장을 가한 상태에서 10일간 배양을 시행하였으며, DNA합성능 측정을 위하여서는 하루동안 자장을 가하였다(Fig. 1-b).

4. Alkaline phosphatase 활성도의 측정

세포층의 ALP활성도는 Bessay 등²⁾과 Burch 등³³⁾의 방법을 이용하여 다음과 같이 측정하였다. 조건을 준 4well 배양접시의 배양액을 제거하고 찬 PBS로 3회 씻은 후 측정할 때까지 -20 $^{\circ}$ C에 보관하였다. 얼음 위에서 기질(PNPP, sodium paranitrophenyl-2-phosphate)을 준비하고 세포층에 lysis완충액(0.02%

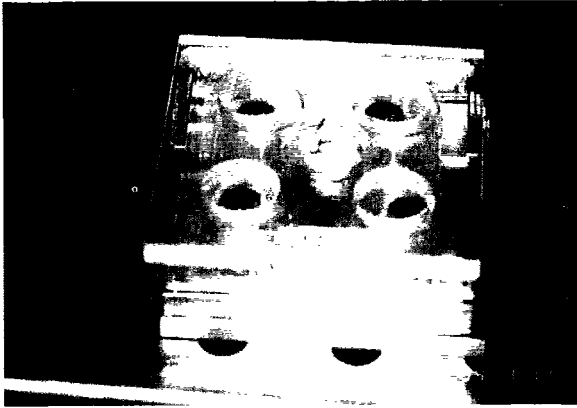


Fig. 1-b. Photograph of experimental unit in static magnet field.

thymidine을 첨가하여 10시간 배양하였다. 세포배양액을 제거한 세포층을 phosphate buffered saline (PBS)으로 3번 씻은 후 10% trichloro-acetic acid (TCA)를 1ml 넣고 4°C에서 20분간 방치하였다. 그후 5% TCA로 2회 세척하고 찬 에타놀 1ml를 넣어 세척한 후 실온에서 건조시켰다. 이렇게 준비된 세포층에 500 μ l의 2% Na₂CO₃가 든 0.1N NaOH를 넣어 세포를 완전히 녹인 후 5ml scintillation vial에 옮겨 β -counter(Packard사 미국)로 측정하였다. 측정된 값은 CPM(count per minute)으로 표기하였다.

IV. 통 계

SPSS 통계 프로그램을 이용하여 각군간의 계측치를 비교 분석하였다. 대조군과 실험군간의 계측치 차이의 유의성 검증은 T-test로 하였다.

V. 결 과

1. 정자기장에 의한 ALP활성도 변화

정자기장의 세기에 따른 ALP활성도는 자석 1개, 2개, 3개를 가한 군에서 대조군에 비하여 ALP활성도에 유의한 증가가 나타났으나, 자석을 4개, 5개를 가한 군에서는 대조군과 비슷한 활성도를 나타내었다 (Table 1).

Table 1. The alkaline phosphatase activity of MC3T3-E1 cells cultured for 10days in static magnetic field

	Unit=nmol/min/mg.protein	
	MEAN [†]	S.D.
Control	0.88	0.08
M1	1.18	0.16*
M2	1.38	0.27*
M3	1.22	0.16*
M4	0.96	0.11
M5	0.78	0.12

[†]n=4

*:Significant difference compared to control.(P<0.05)

M1 : One magnet, M2 : Two magnets,
M3 : Three magnets, M4 : Four magnets,
M5 : Five magnets.

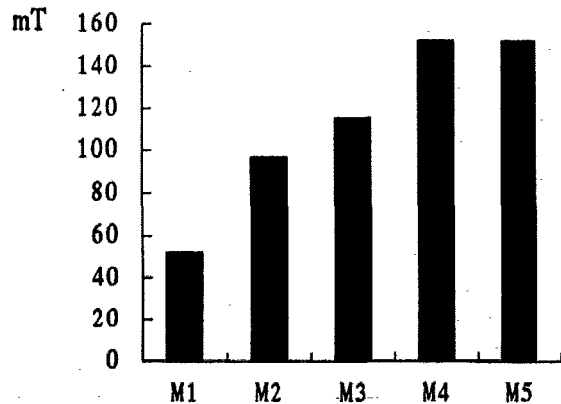


Fig. 2. Magnetic force on static magnetic group. M1 : One magnet, M2 : Two magnets, M3 : Three magnets, M4 : Four magnets, M5 : Five magnets.

nonident F-40)을 1ml 넣어 30초간 초음파 마쇄기로 마쇄한 다음 300 μ l를 취하여 ALP의 활성도를 측정하였고, 200 μ l를 취하여 Lowry²⁵⁾법으로 단백질의 양을 측정하였다. 표준용액으로는 paranitrophenol을 30 nmol까지 되도록 하여 넣고 37°C에서 30분간 반응시킨 뒤 1N의 NaOH 250 μ l를 넣어 반응을 중단하였다. 이것을 410nm에서 ELISA reader(Gilford Ltd, U.S.-A.)로 흡광도를 측정하였으며, ALP의 활성치는 nmole/min/mg/protein단위로 나타내었다.

5. DNA합성능의 측정

세포를 1일간 배양한 후 여기에 1 μ Ci/ml의 [³H]

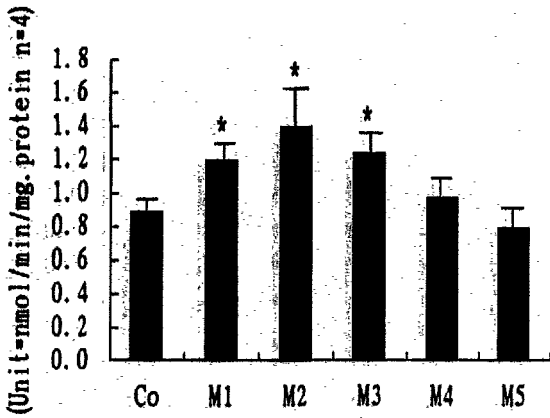


Fig. 3. The Alkaline phosphatase activity of MC3T3-E1 cells cultured for 10days in static magnetic field.(n=4)

*:Significant difference compared to control. (P<0.05)

Co : control, M1 : One magnet, M2 : Two magnets, M3 : Three magnets, M4 : Four magnets, M5 : Five magnets.

Table 2. The alkaline phosphatase activity of MC3T3-E1 cells cultured for 10days in pulsed electromagnetic field

Unit=nmol/min/mg.protein			
	MEAN [†]	S.D.	
Control	2.67	1.88	
PEMF	2.84	0.39	NS

[†]n=4

NS : Not Significant

PEMF : Pulsed Electromagnetic Field

2. 맥동성 전자기장에 의한 ALP활성도 변화

대조군과 실험군 사이에 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 2).

3. 정자기장에 의한 DNA변화

ALP활성도에 차이를 나타낸 2개의 자석을 가한 군 (90mT)과 가장 자력이 강한 5개의 자석을 가한군 (150mT)을 대조군과 비교시 DNA활성도에 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 3).

Table 3. The DNA synthetic activity of MC3T3-E1 cells cultured for 24days in static magnetic field

Unit=cpm/cell			
	MEAN [†]	S.D.	
Control	14.7	1.00	
M2	16.4	1.40	NS
M5	15.5	1.10	NS

[†]n=8

NS : Not Significant

M2 : Two magnets, M5 : Five magnets

Table 4. The DNA synthetic activity on pulsed electromagnet group

Unit=cpm/cell			
	MEAN [†]	S.D.	
Control	16.3	1.90	
PEMF	15.7	1.70	NS

[†]n=4

NS : Not Significant(p<0.05)

PEMF : Pulsed Electromagnetic Field

4. 맥동성 자기장에 의한 MC3T3-E1 세포의 DNA 합성능 변화

실험군과 대조군 사이에 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 4).

IV. 고 찰

자석은 원래 인간의 생활과 깊은 관계가 있어 왔으며, 19세기에는 자석의 이상한 매력을 이용한 치료가 유행하기도 하였지만 의학의 대상으로는 취급 되지는 못하였다. 그러나 20세기에 들어서면서 알니코, 페라이트 자석과 같은 강한 자석의 실용화와 동반하여 의학 및 치의학에 자석의 구체적 응용이 시작되었다. 특히 고성능 희토류 자석의 출현은 의료용 기구의 발달과 함께 치료에 자석을 응용하는 기초적 및 임상적 연구가 활발히 진행되어 왔다.

현대인은 생활속에 항상 자기장에 노출되어 있으

며, 그 강도의 정도에 따라 다양한 효과가 생체에 미치는 것으로 보고되고 있다. 정적인 자기장에 대한 생체의 영향은 초기에는 세포의 pyknosis와 호흡의 억제, 창상 치유의 지연, 종양으로의 전이 등이 언급되었으나, 최근 실험실 연구로는 장기간 강한 자기장에 노출되어도 어떠한 영향을 미치지 않는다는 보고도 있어, 자기장이 생체에 미치는 영향에 관하여서는 앞으로 더 많은 연구를 요하는 중요한 문제이다.

교정학 분야에서 영구자석을 이용하여 치아의 이동을 시행할 경우, Vardimon 등³¹⁾은 정자기장이 골대사를 촉진하여 교정치료시 치근흡수와 같은 부작용을 감소시킨다고 보고하였으며, Kawata 등²¹⁾은 자석의 힘이 치아를 직접 움직이는 것 이외에 부가적으로 전류를 발생시켜 이 전류(piezoelectricity)가 치조골을 개조시킬 수 있다고 하였다. Davidovitch 등¹⁵⁾은 자석이 구강내에 삽입되면 타액이 전해질로 작용하여 치주인대 내에 미세전류가 발생하여 조직을 자극하는데 기여하는 것으로 보고하였다. Linder-Aronson과 Lindskog²⁴⁾은 정자기장이 상피재생을 억제하여 영구자석 하방의 상피두께가 감소하였으며, 또한 골흡수를 촉진한다고 주장하였다. 또한 Gerling 등¹⁷⁾과 Stark와 Sinclair²⁰⁾은 맥동전자기장은 혈류의 증가와 골대사를 촉진시킨다고 하였으며, Darendeliler 등¹³⁾은 Guinea pigs에 Sm_2Co_5 자석과 맥동자기장을 가한 군이 기존의 금속 스프링을 사용한 군보다 치아이동 속도가 빠르고, 조직학적으로 관찰한 결과 이동된 상악절치 사이에 골의 양과 기질의 침착이 증가하였으며, 또한 혈액화학적으로 자기장을 가한 실험군에서 혈중칼슘이 감소하였고, 정자기장하에서는 백혈구수가 감소하였다고 하였다.

MC3T3-E1세포는 초기 증식기에서 ALP의 증가가 현저하므로 본 실험에서는 배양초기부터 10일간 정자기장을 가하였으며, ALP활성도를 측정해 본 결과 M1, M2, M3군에서 대조군에 비하여 유의성 있는 증가가 나타났으나 M4과 M5군은 대조군과 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이는 정자기장은 조골세포에 어떠한 변화를 일으킬 수 있다는 것을 나타내며, 따라서 치아이동에 관한 위에 언급한 논문의 각종 가설을 뒷받침할 수 있는 중요한 연구결과로 사료된다.

또한 자기장의 세기에 따라 세포의 반응이 다를 수 있다는 것을 시준하는 흥미로운 결과로 생각된다. 그러나 다른 효소와 세포간 대사물질에 미치는 영향에 대하여서 향후 더 많은 연구가 필요하리라 생각된다. 본 실험에서 5.3mT의 맥동 전자기장을 가한 군에서

는 ALP활성도에 영향을 미치지 않았으나, 향후 전자기장의 세기를 더욱 세분화 다양화하고 여러가지 실험 조건을 변화시켜 더 연구해 볼 필요가 있다고 사료된다.

세포의 증식능은 Thymidine의 흡수능을 측정하여 평가할 수 있다. Camilleri와 McDonald⁸⁾은 thymidine 흡수를 검색하여 관찰한 결과, 정자기장이 세포분열을 방해하는 것을 암시한다고 하였다. Sandler 등²⁷⁾은 Sm_2Co_5 자석과는 다른 물리적, 화학적 성질을 갖는 neodymium iron boron 자석을 이용하여 조골세포 양상의 세포(UMR-106 세포)에 정자기장이 미치는 효과를 ^3H -thymidine으로 DNA합성을 조사한 결과, UMR-106세포의 증식에 정자기장은 효과가 없었으며, 세포독성도 관찰되지 않았다고 보고하였다. 본 실험에서도 정자기장을 가한 모든 군과 5.3mT의 맥동 전자기장을 가한군에서 DNA합성능은 대조군과 별다른 차이가 나타나지 않았다. 전자기장에 의한 효과는 정자기장과는 달리 전자기장에 의해 세포내에서 전기적인 흐름이 생기며, 이로 인하여 세포 대사 과정의 변화가 일어난다고 할 수 있다. Andrew와 Bessett¹⁾은 PEMF에 의해서 조직내에서 발생하는 전기적인 흐름은 일정한 것이 아니며, 일반적인 직류 전류에 의해서 알려진 것과 같이 음극에서의 골합성과 같은 골생성이나 병원성의 감염등은 일어나지 않는다고 하였다. PEMF에 의해서 정상적인 골질의 치유시에 중간 단계로 섬유성 연골과 혈행의 침투, 섬유성 골의 대치가 일어난다고 하였다.

자석은 Column의 법칙에 따라 거리가 멀어지면 자력을 그 제곱에 반비례하는 특징이 있다. 본 실험에 사용된 영구자석은 자석의 개수를 5개이상 증가시켜도 자력의 세기가 더 이상 증가하지 않았으며, Blechman³⁾, Vardimon³¹⁾, Darendililer와 Friedli¹¹⁾는 대개 구강내에서 3mm이상 멀어지는 경우에는 자력의 효과가 없어져 버린다고 하였다. 또한 구강내에서와 같은 37°C, 100%의 습도에서는 자석이 부식이 되고, 이로 인해서 파절이 일어나 고유의 구강내에 적용하기 위하여서는 마찰과 습도에 견딜 수 있도록 표면 처리가 필수적이다.

지금까지의 많은 연구중에는 정적인 자기장은 배양 세포에 별다른 영향을 나타내지 않았고, 맥동성 전자기장과 같은 간헐적 자극을 가하는 경우에서 세포의 활성도 증가가 나타난다고 하였다. 하지만 본 연구에서 이와는 다른 결과를 나타낸 것은 실험조건외의 차이에 의한 결과로 볼 수 있다. 또한 가한 자기장의

세기가 정자기장의 경우 맥동전자기장에 비하여 10 배이상 더 강하여서 나타난 결과로도 볼 수 있으나 향후 이러한 두 종류의 자기장의 세기에 관한 상호 비교연구도 필요할 것으로 사료된다.

본 실험은 치아이동에 있어서 조골양세포로 알려진 MC3T3-E1세포를 배양하여 초기 증식기 단계에서 자기장의 효과를 본 것이다. 본 실험에 나타난 DNA합성능의 결과로 볼 때 자기장은 세포의 증식에 영향을 미치지 않는 것으로 보이며, ALP활성도에 증가가 나타난 것은 세포의 ALP대사에 정자기장이 영향을 미칠 수 있을 것으로 사료되므로, 정자기장은 치아이동에 영향을 미칠 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 치아주위의 치주조직은 조골 세포로만 이루어진 것이 아닌 다양한 세포의 복합적 집합체군이므로 자기장이 다른 종류의 세포에 미치는 영향에 대한 연구도 필요하다고 본다. 하지만 골개조의 주요한 역할을 하는 세포가 조골세포임을 감안한다면, 정적인 자기장에서는 자력의 힘에 의하여 치주 조직에 가하여지는 기계적인 자극 뿐만 아니라 자기장에 의한 세포 대사의 변화도 같이 나타날 수 있을 것으로 사료된다. 그리고 향후 미래의 교정장치로 간주되고 있는 자석을 교정 임상에 보편화시키기 위하여는 자기장이 생체에 미치는 영향에 관한 명확한 평가와 함께, 더 강력한 자석의 개발로 자석의 부피를 더욱 줄여야 할 것으로 사료된다.

V. 결 론

정자기장과 맥동전자기장이 배양 조골세포에 미치는 영향을 알아보고자 MC3T3-E1세포를 각 자기장 하에서 배양하여 ALP활성도와 DNA의 합성능을 평가한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 정자기장을 가한 군에서 자석을 1,2,3개 가한 군(51~114.8mT)에서 대조군에 비하여 ALP의 유의성 있는 증가가 나타났으며(P<0.05), 자석을 4개 5개 가한 군(150mT)에서는 대조군에 비하여 ALP활성도에 차이가 나타나지 않았다.
2. 맥동성 전자기장에서는 대조군에 비하여 ALP활성도에 유의한 차이가 나타나지 않았다.
3. DNA합성능은 정자기장과 맥동성 전자기장을 가한 군 모두 대조군에 비하여 유의한 차이가 나타나지 않았다.

이상의 결과 정자기장에 의한 교정력은 골세포의

대사과정에 변화를 줄 수 있으므로, 치아이동에 어떠한 영향을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Andrew C, Bassett L.:Pulsing Electromagnetic fields:A New Method to Modify Cell Behavior in Calcified and Noncalcified Tissue. *Calcif. Tissue. Inter.* 34:1 8, 1982.
2. Bessay O.A., Lowry O.H., Brock M.J.:A method for the rapid determination of alkaline phosphatase with fibecubic milimeters of serum. *J. Biol. Chem.* 164:321-29, 1946.
3. Blechman A.M.:Magnetic force systems in orthodontics, *Am.J.Orthod.*, 87:201-210, 1985.
4. Blechman A.M., Smiley H.:Magnetic force in orthodontics, *Am.J.Orthod.*, 74:435-443, 1978.
5. Bondemark L., Kurol J.:Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets. *Eur. J.Orthod.*, 14:264-272, 1992.
6. Bondemark L., Kurol J, Wennberg A.:Biocompatibility of new, clinically used, and recycled orthodontic samarium-cobalt magnets. *Am.J.Orthod.*, 105:568-574, 1994.
7. Burch W.M., Levovitz H.E.:In vitro stimulation of alkaline phosphatase activity in immature embryonic chick cartilage by adenosine 3', 5'-monophosphate. *J. Cell. Biol.* 93:338-42, 1982.
8. Camilleri S, McDonald F.:Static magnetic field effects on the sagittal suture in *Rattus Norvegicus*. *Am.J.Orthod.*, 103:240-246, 1993.
9. Cerny R.:The reaction of dental tissues to magnetic field. *Aust. Dent. J.*, 25:264-268, 1980.
10. Darendeliler M.A, Chiarini M., Joho J.P.:Early class III treatment with magnetic appliances. *J. Clin. Orthod.*, 27:563-569, 1993.
11. Darendeliler M.A., Friedli J.M.:Treatment of an impacted canine with magnets. *J. Clin Orthod.*, 28:639-643, 1994.
12. Darendeliler M.A, Joho J.P.:Magnetic activator device II (MAD II) for correction of class II, division 1 malocclusion. *Am.J.Orthod.*, 103:233-239, 1993.
13. Darendeliler M.A., Sinclair P.M. Kusy R.P.:The effects of samarium-cobalt magnets and pulsed electromagnetic fields on tooth movement *Am.J.Orthod., Dentofac. Orthop.* 107:578-88, 1995.
14. Darendeliler M.A. Joho J.P.:Class II bimaxillary protrusion treated with magnetic forces. *J.Clin Orthod.*, 26:361-368, 1992.
15. Davidovitch Z., Shanfeld J.L. Montgomery P.C, Lally E., Laseter L., Furst L., Korostoff E.:Biochemical mediators of the effects of mechanical forces and electric currents on mineralized tissues. *Calcif. Tissue. Int.* 36:86-97, 1985.
16. Dellinger E.L.:A clinical assessment of the Active Vertical Corrector-A nonsurgical Altermatermative for skeletal

- open bite treatment, *Am.J.Orthod.*, 89:428-636, 1986.
17. Gerling J.A., Sinclair P.M., Roa R.L.:The effect of pulsating electromagnetic fields on condylargrowth in guinea pigs. *Am.J.Orthod.* 87:211-23, 1985.
 18. Gianelly A.A., Vaitas AS., Thomas W.M.:The use of magnets to move molars distally. *Am.J.Orthod.*, 96:161-167, 1989.
 19. Itoh T., Tokuda T., Kiyosue S., Hirose T., Matumoto M., Chaconas S.:Molar distalization with repelling magnets. *J.Clin. Orthod.*, 25:611-617, 1991.
 20. Kalra V., Burstone C.J., Nanda R.:Effects of a fixed magnetic appliance on the dentofacial complex. *Am.J.Orthod.*, 95:467-478, 1989.
 21. Kawata T., Hirota K. Sumitani K, Umehara K., Yano K., Tzeng H.J., Tabuchi T.:A new orthodontic force system of magnetic brackets. *Am.J.Orthod.*, 92:241-248, 1987.
 22. Kawata T., Yamaguchi K., Kyama K., Yamashita S.:The application of magnetic bracket to develop the orthodontic treatment system, *J.Jap. Orthod. soc*, 41:737-745, 1982.
 23. Kodama Hiro-aki, Amagai Y, Sudo H., Ksai S, Shigehisa Y.:Establishment of a clonal osteogenic cell line from newborn muse calvaria. *Jpn. J. Oral. Biol.* 23:899-901, 1981.
 24. Linder-Amnson S., Lindskog S.:A morpnometric study of bone surfaces and skin reaction after stimulation with static magnetic fields in rats. *Am.J.Orthod.*, 99:44-48, 1991.
 25. Lowery O.B., Rogenbrough M.J., Farr A.L., Reber R.W.: Protein measurement with folin phenol reagent. *J.Biol. Chem.* 193:255-60, 1951.
 26. Robinson A.L.:Powerful new magnet material found. *Science*, 233:920-922, 1984.
 27. Sandler P., Meghji S., Murray A. et al:Magnets and orthodontics. *Br.J.Orthod.* 16:243-249, 1989.
 28. Sandy J.R, Richard W.F, Murray C.M.:Recent advances in understanding mechanically induced bone remodelling and their relevance to orthodontic theory and parctice. *Am.J.Orthod., Dentofac. Orthop.* 103:212-22, 1983.
 29. Stark T.M., Sinclair P.:Effect of pulsed electromagnetic fields on orthodontic tooth movement. *Am.J.Orthod.*, 91:91-104, 1984.
 30. Tsutsui H., Kinouchi Y, Sasaki H., Shiota N., Ushita T.:Studies on the SmCo magnet as a dental material. *J. Detn. Res.*, 58:1597-1606, 1979.
 31. Vardimon A.D., Graber T.M., Drescher D, Bourauel L.:Rare earth magnets and impaction, *Am.J.Orthod.*, 100:494-512, 1991.
 32. Vardimon A.d, Graber T.M., Voss L.R.:Stability of magnetic versus mechanical palatal expansion. *Eur. J Orthod.*, 11:107-115, 1989.
 33. Vardimon AD., Graber T.M., Voss L.R., Muller T.P.:Functional orthopedic magnetic appliance(FOMA)III-dodus operandi. *Am.J.Orthod.*, 97:135-48, 1990.
 34. Wood M.G., Nada R.S.:Intrusion of posterior teeth with magnets:An experiments in nongrowing baboons. *Am.J.Orthod., Dentofac. Orthop.* 100:393-400, 1991.
 35. 河田照茂, 松賀正考, 岸上尚司:齒科矯正治療へのマク“ネット”應用について. *齒科シ”ャーナル* 8:355-60, 1978.

- ABSTRACT -

The Effects of Static Magnetic Field and Pulsed Electromagnetic Field on Alkaline Phosphatase and DNA synthetic Activity of ME3T3-E1 Cells

Jeong-Hee Son, D.D.S., M.S.D, Ph.D., Seong-Min Bae, D.D.S. M.S.D,
Jae-Hyun Sung, D.D.S. M.S.D, Ph.D.,

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Kyungpook National University

The purpose of this study was to evaluate the effects of magnetic field on cellular activity of MC3T3-E1 cells. The celular activity was monitored by alkaline phosphatase and DNA synthetic activity in control, static magnetic field and pulsed electromagnetic field groups. A static magnetic field was applied to the cell by placing one, two, three, foue, and five samarium-cobalt magnets above and below each cell plate for 24hours per day. A pulsed electromagnetic field with a frequency of 100 herz was applied for 10 hours per day.

After 10 days of magnetic field exposure, there were increase of alkaline phosphatase activity in static magnetic field groups consisted of one, two and three magnetic groups.

Alkaline phosphatase activities were not significantly increased in four and five magnetic groups.

Application of pulsed electromagnetic field did not result in significant increase in alkaline phosphatase activity compared to control.

DNA synthetic activity in both static and pulsed electromagnetic field group were not significantly different from that in control group.

The result of this study suggest that magnetic field could have effect on the metabolism of bone cells related to the cellular metabolic process.

KOREA. J. ORTHOD. 1997 ; 27 : 623-632

※ **Key words** : Magnetic field, Alkaline phosphatase and DNA synthetic activity, MC3t3-E1 cells.