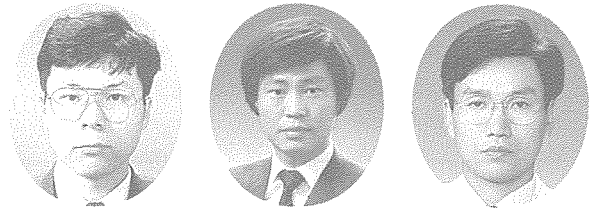


# 교정영역에서 영구자석 사용에 대한 고찰



장 항 익 · 황 현 식 · 김 종 철

전남대학교 치과대학 교정학 교실

**보** 다 효과적인 교정치료를 위해서 정확한 치료 목표의 설정과 이를 바탕으로 한 생물학적으로 안정되고 효율적인 힘의 조절이 필요하다. 즉 환자에게 불편감을 주지 않고 치조골 상실과 치근 흡수와 같은 조직의 손상 없이 가장 빨리 치아를 이동시킬 수 있는 최적의 교정력이 요구된다<sup>1)</sup>. 교정력으로 철사, 고무줄, 저작근 등이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 보다 나은 교정력을 얻기 위해 영구자석의 사용이 고려되고 있다. 이에 영구자석을 교정영역에서 사용하게 된 역사적 배경, 자석의 종류, 생물학적 및 임상적 고려사항 등을 고찰하여 차후 임상 및 연구에 도움이 되고자 한다.

## I. 역사적 배경

자기학의 역사는 인간에게 최초의 자성재료로 알려진 자철광(Magnetite)이라 불리는 광석으로부터 기원한다<sup>2)</sup>. 그 초기 역사는 불명확하나 자철광이 철을 끌어당기는 힘이 있다는 사실은 기원전 수세기 전부터 확실하게 알려져 있었다. 자철광은 터키의 마그네시아(Magnesia) 지방에 풍부하게 매장되어 있어 지금 사용되는 용어 'magnet'은 이 지방의 그리스 이름 Magnesia에서 유래하고 있다.

자석이란 에너지를 내장하는 물질(energy storage device)이다. 이 에너지는 초기에 자화시킬 때 자석 내에 축적되며, 만약 적절한 방법으로 자석이 제조되고 취급된다면 이 에너지는 자석 내에 무한히 남아있게 된다. 더욱이 자석의 에너지는 언제라도 사용 가능한 것이며 반복되는 사용에도 불구하고 소멸되지 않는다.

최초이자 오랜 기간동안 유일했던 영구자석의 응용례는 나침반이었다. 하지만 오늘날 영구자석은 컴퓨터, 녹음기, VTR, 캠코더, TV등의 정보기억매체, 로봇, 자동차등의 정밀기계, 전력용 발전기, 모터, 변압기 같은 전기 기기 등 응용례를 상세히 열거한다면 전문가도 놀랄 만큼 많다. 현재 라디오, 텔레비전 및 플레이어가 널리 퍼지고 있으므로 스피커용 자석이 단일 품목으로는 가장 큰 시장 점유를 보인다.

치과영역에서의 영구자석은 Behrman과 Egan(1953)이 보철물의 유지를 위해 최초로 도입한 이래 다양한 임상 적용이 시도되고 있다<sup>3,4)</sup>.

교정영역에서는 Blechman과 Smiley(1978)가 처음으로 고양이의 치아이동에 Aluminium nickel cobalt 자석을 사용하였다<sup>5)</sup>. 그 결과 자석을 이용할 경우 환자의 협조도 보다는 술자에 의해 조절이 가능하며, 고무줄에 의한 치아이동에 비해 치

료기간이 짧으며, 방향조절이 우수하며, 적절한 Moment/Force ratio를 유지할 수 있다는 장점을 보고하였다.

1970년대에 Becker는 완전히 자화(magnetization) 되었을 때 Cobalt-Samarium 자석이 Alnico 자석보다 10배 정도 강하고 demagnetization에 대한 저항성도 20-50배 정도 높다고 희토류 자석에 대해 최초로 보고하였고<sup>6)</sup>, Kawata 등은 이를 고정장치에 응용하여 임상에 활용하였다<sup>7,8)</sup>. 1984년 Science 잡지에서는 다른 종류의 희토류 자석인 Neodymium iron boron 자석을 소개하였으며<sup>9)</sup>, 이를 계기로 영구자석의 임상적용이 활발히 이루어질 수 있게 되었다.

## II. 종 류

자석에는 일시자석과 영구자석이 있다. 일시자석은 전자석의 철심(연철)과 같이 외부의 자화력(외부자기장)을 제거하면 자성이 없어지는 것이고, 영구자석은 일단 자성을 가지게 하면 외부자기장을 제거해도 장기간 자성을 유지하는 것으로, 자석강이라고 하는 강철을 강력한 자기장 하에서 자화시켜 만든다. 형태는 여러 가지이며, 막대 모양으로 만든 막대자석, U자형의 말굽자석 등이 있고, 이 밖에 소형의 영구자석을 수평면에서 자유롭게 회전할 수 있게 한 자침도 있다.

그 동안 치과영역에 이용된 영구자석에는 Alnico, Ferrite, Platinum-cobalt, Samarium-cobalt( $\text{SmCo}_5$ ,  $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ ), Neodymium iron boron( $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ) 자석 등이 있다. Alnico, Ferrite, Platinum-cobalt 등의 초기 자석은 크기가 크고 자력이 약하며 물리적 특성도 낮아 사용이 제한되었다. 이에 보다 강력한 자석에 대한 요구로 희토류 자석인 Samarium-cobalt 자석이 보고된 바 기존의 자석보다 자력이 강하고 물리적 특성이 우수해 치과영역에서 적절히 이용할 수 있게 되었다<sup>10)</sup>.

최근에는 Sm-Co 자석보다 물리적 특성이 우수하고 자력에 있어서도 약 60%정도 더 높은 neodymium iron boron 자석이 발표되었다. 그렇지만 구강 내에서 타액에 대한 부식저항이 더 낮

아 demagnetization이 잘되는 단점도 있다<sup>11)</sup>.

## III. 영구자석의 임상적 이용

### 1. forced eruption

치은 변연 하방으로 치관이 골절된 치아를 신경 치료한 후 보철을 위한 지대치로 사용하기 위해 또는 공간의 부족으로 인해 매복되어 있는 치아의 맹출을 유도하기 위해 자석을 이용한 치료들이 시도되었다. 일반적으로 보철물의 지대치로 사용하기 위해 신경치료된 치아를 forced eruption 시키는 방법으로는 브라켓을 이용한 고정성 장치나 Hawley plate 등의 가철성 장치를 이용하는 두 가지 방법이 있다. 이 중 심미적 이유로 가철성 장치를 사용할 경우 환자가 매번 고무줄을 걸어야 하는 번거로움이 있다. 그러나 이러한 증례에서 자석을 사용할 경우 환자가 매번 고무줄을 거는 번거로움이 없다. McCord 등은 치은 변연 하방에서 전치가 골절된 증례에서 근관치료를 시행한 후 작은 Sm-Co 자석을 부착하고 가철성 장치에 큰 자석을 포함시켜 자석의 견인력으로 전치를 맹출시켰다<sup>12)</sup>.

매복치의 경우 치료를 위해서 보통은 외과적으로 노출시킨 후 브라켓이나 버튼을 부착하고 결찰선을 연결하여 고무줄로 견인한다. 이런 경우에 치아의 견인 방향 조절이 어려워 인접치 특히 측절치 등의 치근 흡수를 야기할 수 있으며 고무줄을 걸기 위한 결찰선이 매복치와 구강과의 통로 역할을 하여 치은 조직의 염증, 부착상피의 근단 측 이동, 골퇴축, 백악법랑경계부 노출 등의 부작용이 초래될 수 있다<sup>13-17)</sup>. 이에 Vardimon 등은 자석의 견인력을 이용함으로써 판막을 봉합하여 구강환경으로부터 치아를 차단함으로써 매복치 인접 치주조직의 건강을 유지할 수 있으며 장치의 자석을 자유자재로 위치시킴으로써 고무줄보다 용이하게 원하는 방향으로 치아를 견인할 수 있음을 보고하였다<sup>18)</sup>. Sandler 등은 매복된 중절치, 견치, 소구치 등을 neodymium iron boron 자석을 이용하여 치료한 증례들을 보고하였다<sup>19-21)</sup>.

## 2. 구치부의 원심이동

Gianelly등은 modified Nance appliance와 함께 자석의 반발력(repelling magnet)을 이용한 상악 대구치의 후방이동 증례를 보고하였으며 자석을 이용할 경우 삽입이 용이하고 환자의 협조가 필요 없으며 anchor loss가 적다는 장점을 언급하였다<sup>22,23)</sup>. Itoh등은 상품으로 시판되고 있는 Molar Distalization System의 소개와 함께 환자 치료 증례에 대해 발표하였으며<sup>24)</sup>, Bondemark등은 자석의 반발력으로 상악 제1,2대구치를 동시에 후방이동시키는 증례를 보고하였다<sup>25)</sup>.

## 3. 전치부 정중이개(diastema) 치료 후 보정(retention)

정중이개의 교정치료후에는 고정성 유지만이 재발방지의 해결책으로 보고된 바<sup>26,27)</sup>, 여러가지 디자인의 고정성 유지장치가 소개되어 왔다. 특히 Zachrisson은 flexible spiral wire(FSW) retainer를 도입하여 어느 정도 치아의 이동을 허용함으로써 stress breaking effect로 유지장치의 파절 가능성을 줄일 수 있다고 하였다<sup>28,29)</sup>. 그러나 이 고정성 유지장치도 치간청소(interproximal cleansing)가 어려운 단점이 있어 Springgate등은 micro magnet(0.8×0.8×1.5mm)을 양 치아의 설측면에 직접 부착하여 유지장치로 사용한 결과 치아의 정상적인 생리적 이동을 허용하며 치실사용(flossing)이 용이한 장점이 있다고 보고하였다<sup>30)</sup>.

## 4. 골격성 개방교합

개방교합의 치료에 시도하였다<sup>31)</sup>. samarium-cobalt 자석이 매몰된 상,하 구치부 bite plane으로 구성된 이 AVC는 전통적인 bite block에 비해 저작근의 간헐적 힘 대신 지속적 힘으로 빠른 치아 이동이 가능하며 간헐적인 전자기장이 치아 이동에 중요한 역할을 할 수 있으며 구치부의 압하와 하악골의 autorotation으로 전안면교경이 감소하는 치료 효과를 보고하였다. Woods와 Nanda등은 AVC를 이용하여 동물실험을 시행하였으며

<sup>32,33)</sup>, Kalra등은 자석 사용에 의한 골격성 개방교합의 치료 효과에 대해서도 통계적으로 보고하였다<sup>34)</sup>. 또한 Barbre와 Sinclair는 AVC의 개방교합 치료에 대한 두부방사선학적 평가에서 구치의 합입, 상악 절치의 맹출 및 설측 경사, 하악골의 autorotation등에 의해 전후방 관계에서는 효과가 없었으나 수직피개가 8개월만에 3mm 개선됨을 보고하였다<sup>35)</sup>. acrylic bite block과 posterior repelling magnet splints 두 군 사이의 개방교합에 대한 치료 효과를 비교한 Kiliaridis등의 연구에 의하면 부작용으로 편측 반대교합이 나타났지만 자석을 이용한 경우에서 보다 빠른 효과가 나타났<sup>36)</sup>. Kuster와 Ingervall은 가철성 spring loaded bite block을 사용한 경우와 repelling magnet이 있는 bite block을 사용한 경우의 치료 효과에 대해 비교하였는데 spring loaded bite block을 사용하여 치료한 증례에 비해 자석을 이용한 bite block으로 치료한 증례가 상하악 구치부에서 두드러진 압하가 이루어졌으며 수직피개의 증가도 컸다<sup>37)</sup>. 그러나 재발 경향이 분명하므로 장기간 유지를 위한 치료를 계속해야 하며 저작근의 훈련을 통한 교합력의 증가로 치료 결과를 안정화시킬 수 있다고 Kuster와 Ingervall은 언급하였다. 한편 구치부를 압하시키는 repulsive magnetic appliance의 부작용인 하악골의 lateral shift를 방지하기 위해, Vardimon등은, 3차원적인 힘과 모멘트의 분석을 시행하여, 위해한 lateral shearing force를 감소시키기 위한 방법을 제시하기도 하였다<sup>38)</sup>. 국내에서는 김등이 영구자석을 이용한 고양이 구치부 압하와 bite plane 사용시 구치부 압하에 대해 비교 연구를 시행한바 있다<sup>39)</sup>.

힘과 모멘트의 분석을 시행하여, 위해한 lateral shearing force를 감소시키기 위한 방법을 제시하기도 하였다<sup>38)</sup>. 국내에서는 김등이 영구자석을 이용한 고양이 구치부 압하와 bite plane 사용시 구치부 압하에 대해 비교 연구를 시행한바 있다<sup>39)</sup>.

## 5. 골격성 제3급 및 제3급 부정교합의 기능적 치료

영구자석을 이용하여 악골관계의 부조화를 치

료하려는 시도가 있어 왔다. Vardimon등은 제 II 급 부정교합의 치료를 위한 Functional orthopedic magnetic appliance II<sup>40)</sup>와 제 III급 부정교합의 치료를 위한 Functional orthopedic magnetic appliance III<sup>41)</sup>를 고안하여 동물실험을 시행하였고, Darendeliler와 Joho는 Autonomous Fixed Appliance(AFA)와 Magnetic Activator Device (MAD II)로 제II급 양악 전돌 환자를<sup>42)</sup>, Magnetic Activator Device II로 제 II급 1류 부정교합 환자를<sup>43)</sup>, Magnetic Expansion Device(MED)와 Magnetic Activator Device III라는 장치로 제 III 급 부정교합<sup>44)</sup>을 치료한 증례들을 보고한 바, 기존의 기능성 장치에 비해 부피가 작아 환자가 24시간 장착할 수 있다는 장점을 언급하였다.

## 6. 상악골 확장

Vardimon등은 jackscrew를 이용한 상악골 확장장치와 자석의 반발력을 이용한 장치를 원숭이에서 비교 실험하여 기존의 jackscrew를 이용한 장치는 힘의 방향이 측방향, 그 후 수평적으로 발생하여 정중선에 정중이개가 발생하고 비복합체의 골절을 초래하는데 반해, 자석을 이용한 장치는 힘을 후상방으로 발생시키고 협골 측두봉합선에 분산되어 절치봉합과 횡경봉합을 현저히 이개시키며, 회귀현상 또한 적다고 하였다<sup>45)</sup>. 그 후 안정성에 대한 연구에서 transverse stability가 tooth borne appliance군보다 skeletally borne appliance군에서 높음을, circum-maxillary sutures (transverse suture)와 치근 형태(root configuration)의 영향으로 구치간 확장이 견치간 확장보다 안정성이 높다고 보고하였다<sup>46)</sup>. 또한 자석을 이용하여 약한 힘으로 상악골을 확장시킨 경우 sagittal advancement와 함께 vertical superior translation이 일어남을 보고하였다. 국내에서는 이등이 자석의 반발력을 이용한 상악골 확대 장치의 효과에 대해 연구하였는데 자석을 이용한 상악골 확대 장치는 screw 보다는 속도가 느린 저속 확대장치로 사용될 수 있다고 보고하였다<sup>47)</sup>.

## 7. corticotomy 수술 후 교정치료

Köle<sup>48)</sup>, Mostafa<sup>49)</sup>, Suya<sup>50)</sup>, Anholm등<sup>51)</sup>은 치근 흡수와 같은 부작용의 감소, 치아이동 기간 단축, 치료결과의 안정 등을 이유로 교정치료 전 corticotomy를 시행할 것을 주장하였다. corticotomy란 치아이동의 주 저항이 되고 있는 피질골에 홈을 형성하여 치아와 주변 치조골이 오로지 수질골에 의해서만 주위 골과 연결되게끔 하는, 즉 교정력 적용 시 치아와 주변 치조골이 함께 움직이게끔 하는 외과적 술식이다<sup>50)</sup>.

그러나 많은 장점에도 불구하고 이 술식 후 교정치료시에는 수술 부위 치유 전에 교정치료가 완료되어야 할뿐만 아니라 보통의 교정치료보다 센 힘이 적용되어야 하고 activation을 자주 해야 하는 단점이 있어 널리 보급이 되지못해 왔다. 이러한 단점을 극복하기 위해 황은 바람직한 교정력으로, 힘의 조절이 용이하고 주위 골 대사를 촉진시킬 수 있는 자석 사용을 권한 바 있다. corticotomy 사용 후 자석으로 교정력을 적용할 경우 다소 과도한 힘이 적용되어도 자석의 부가적인 장점에 의해 보상이 되고 또한 치아이동이 빨라 골 치유 전에 교정치료를 완료할 수 있을 뿐 아니라 잦은 activation을 하지 않아도 뒬을 증례와 함께 주장하였다<sup>52)</sup>.

## IV. 생물학적 고려사항

### 1. 장점

전통적인 교정치료에 비해 자석을 이용한 교정치료의 장점에 대해 많은 발표가 있었으며 증례별로 각각 다른 장점들이 존재한다. 자석을 이용한 교정치료의 장점은 술자가 자석을 적절히 위치시킴으로써 힘의 방향과 크기를 쉽게 조절할 수 있고 고무줄이나 구외장치에서는 환자의 협조가 필수적인 반면에 자석은 환자의 협조가 필요없이 술자에 의해 조절이 가능하며<sup>5)</sup>, friction free system으로 고정원의 조절이 용이함을 들 수 있다. 또한 장치의 디자인이 단순하여 취급이 용이할 뿐만 아니라 자석간의 힘을 정확히 계산할 수 있으며<sup>53)</sup>

자석의 견인력을 이용할 경우 초기에는 힘이 약하다가 점차 강해지는 치주조직에 보다 생리적인 힘이 가해지고<sup>7,53,54)</sup> 정자기장의 골 대사 촉진으로 교정치료 시의 치근 흡수와 같은 부작용을 감소시키며<sup>18,55)</sup>, systematic stress reactions이 적고 불편감이나 동통이 감소하며<sup>7)</sup>, 보다 나은 구강위생을 유지할 수 있음이 보고되고 있다<sup>12,53)</sup>.

Kawata등은 자석의 힘이 치아를 직접 움직이는 것 이외에 부가적으로 electrocurrent를 발생시키는 데 이 electrocurrent(piezoelectric)가 치조골을 개조(remodeling) 시킨다고 하였다<sup>55)</sup>. Davidovitch등은 자석이 구강 내에 삽입되면 타액이 전해질로 작용하여 치주인대 내에 미세전류가 발생하여 조직을 자극하는데 기여하는 것으로 보고하였다<sup>56)</sup>. 또한 구강 내에서 자석의 운동에 따라 pulsating electromagnetic field가 발생하여 vascularity를 증가시키고 골대사를 촉진시키며<sup>57-59)</sup>, 정형외과 영역에서는 electromagnetic fields가 골형성을 촉진시켜 골절상 치유에 도움이 된다는 보고가 있다<sup>60-63)</sup>. 최근 McDonald는 치아 이동 동안 골개조에 관계되는 섬유아세포와 조골아세포를 실험하여 자장(magnetic field)이 조골아세포에는 어떠한 영향도 주지 않고 다만 섬유아세포의 증식을 야기해 골치유와 창상치유를 증진시킨다고 하며 아직도 해결되지 않은 많은 문제들과 생물학적 안정성을 결정하기 전에 많은 연구가 필요하다고 발표하였다<sup>64)</sup>.

자석사용에 의한 여러 가지 임상적인 면에서의 장점에 대한 주장들은 많으나 실험적 연구에 의한 과학적인 자료는 빈약한 상태이다. 이에 앞으로 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

## 2. 생물학적 안전성

한때 자석은 생물학적으로 위해 할 수 있음이 보고된 바 있으나<sup>65-70)</sup>, 최근에는 생물학적으로 안전하다는 연구들이 보고되고 있다. Blechman은 자석의 자기장에 전신 혹은 신체 일부가 노출되었을 때 생물학적으로 안전성이 있음을 보고하였고<sup>5,71)</sup>, Tsutsui등은 세포 성장에 미치는 영향으로

자석의 독성에 대한 연구를 시행하여 자석이 조직에 무해함을 보고하였다<sup>10)</sup>. Cerny는 쥐를 대상으로 한 실험에서 자석의 자기장이 혈구세포, 피부세포, 뇌세포, 골세포, 선세포, 근육세포등에 무해함을 보고하였다<sup>72,73)</sup>. 또한 개의 상아질에 samarium-cobalt 자석을 삽입한 후 레진으로 덮고 6개월 후에 조직학적 소견을 관찰한 결과 치수, 협점막, 치주조직, 치조골, 치은조직 등에 손상이나 자극이 없음을 보고하였다<sup>74)</sup>. Dellinger의 AVC는 생물학적 안정성을 바탕으로 FDA에서 장치의 고안, 제조방법, 효과 등이 공인되었으며<sup>31)</sup>, 1987년에는 두 가지 희토류 자석인 SmCo<sub>5</sub>와 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 자석의 구강내 사용이 FDA에서 허가되었다<sup>75)</sup>. 또한 Sandler등은 조골아세포의 일종인 UMR-106 세포에 대해 자석에 의한 자기장의 위해 작용이 없음을 보고하였으며<sup>19)</sup>, Altay등은 개의 골 조직에 이식된 자석의 자기장에 의한 생물학적인 효과에 대한 보고에서 6개월 후의 현미경 소견 상 병소가 없음을 보고하기도 하였다<sup>76)</sup>.

## V. 임상적 고려사항

### 1. 구강 내에서 부식에 대한 민감성

구강환경에서 희토류 자석은 쉽게 부식된다고 보고되었다. Tsutsui등은 samarium-cobalt 자석의 weight loss가 1% lactic acid와 0.05% HCl에서 크게 나타남을 보고하였고<sup>10)</sup>, Vardimon등은 전기 화학적 실험으로부터 희토류 자석이 산화되기 쉽다는 것을 발견하였다<sup>18)</sup>. Kitsugi등은 neodymium iron boron과 samarium-cobalt 자석 사이의 부식 및 부식과 자석의 견인력 사이의 관계를 연구한 결과 영구자석은 구강내 타액에 대한 부식 저항성이 낮고 또한 일단 부식이 되면 demagnetization에 의해 자력이 급격히 감소하는 것으로 나타났다<sup>11)</sup>. 이러한 부식을 방지하기 위해 산에 저항성 있는 재료로 표면을 coating하는 것이 필요한데 stainless steel encapsulation, resin coating, 니켈 또는 크롬 도금 등을 이용한 방법들이 소개되었다.

## 2. 파절의 용이

두께가 얇은 자석은 쉽게 부러지므로 취급 시 주의가 필요하다. 그렇지만 이러한 성질을 적절히 이용하면 손쉽게 자석을 적당한 크기로 쪼개서 사용하는 장점이 될 수도 있다.

## 3. 자석간 거리에 따른 힘의 변화

자석간에 작용하는 힘은 쿨롱의 법칙(Coulomb's law)에 따른다. 쿨롱은 실험을 통해 '두 전하 사이에 작용하는 전기 힘은 두 전하량의 곱에 비례하고, 이들 사이의 거리의 제곱에 반비례한다'고 쿨롱의 법칙을 발표하였다. 자기 힘에 대해 영국의 포크스비와 테일러 등이 1700년대의 논문에서 자기 힘이 거리의 1.5배로 작용한다고 주장하였으나 자기힘 법칙도 쿨롱의 실험에 의해서 확실하게 밝혀졌다. 즉 정전기 힘이나 중력의 법칙과 비슷하게 자극 사이의 힘이 거리의 제곱에 반비례한다는 것을 발견하였다.

Cerny, Fraunhofer등, Bondemark등이 거리에 따른 자석의 힘의 변화에 대한 보고를 하였다. Cerny는 samarium-cobalt 자석이 교정영역에서 임상적으로 사용할 수 있을 정도로 충분한 힘을 갖는가를 알아보기 위해 두 영구자석 사이의 거리 및 각도의 변화에 따른 힘을 측정하였고<sup>53)</sup>, Fraunhofer등은 거리에 따른 두 samarium-cobalt 자석사이의 힘을 측정한 결과 전통적인 쿨롱의 법칙은 자석사이의 거리가 2mm 이상일 때만 성립함을 보고하였다<sup>77)</sup>. Bondemark등은 상악 구치의 후방이동에 사용되고 있는 상업용 자석의 거리에 따른 자력과 5개월간의 maximal loading 이후의 자력의 변화에 대한 연구에서 자력이 시간의 경과 및 loading에 무관함을 보고하였다<sup>78)</sup>.

결국 자석사이의 거리를 적절히 유지시키는 것이 중요하며 이를 위하여 내원시마다 주의깊은 검사가 필요함을 알 수 있다.

## 4. 자석배열 및 체적변화에 따른 힘의 변화

영구자석의 체적 변화 및 자석 배열이 자력에

미치는 영향에 대한 연구<sup>79)</sup>에서 두께를 증가시킨 경우에는 자력이 증가하였으나 넓이를 증가시킨 경우 자력이 감소한다고 하였으며, 두께 증가로 체적을 변화시킨 경우, 같은 두께라도 처음부터 크게 제작한 자석이 작은 자석을 여러 개 합한 것보다 큰 자력을 갖는다고 보고하였다. 즉 구강내에서 자력을 증가시키기 위해서는, 마주보는 자석면은 같게 유지하면서 넓이 증가보다는 두께를 증가시키는 방법이 효과적이며 처음부터 두꺼운 자석을 사용하는 것이 보다 효율적이다.

## VI. 요약

보다 나은 교정력을 얻기 위한 일방으로 자석 사용이 고안된 바 최근 일부 교정의들에 의해 활발한 적용이 시도되고 있다. 치료효율면에서 종래의 방법을 대치해야 할 정도의 두드러진 장점은 아직 보이고 있지 않으나 기존의 방법으로 발생할 수 있는 문제점이나 제약을 극복하는 방법으로는 효과적으로 사용되고 있음을 알 수 있다. 앞으로 계속적인 연구와 더불어 보다 활발한 자석 사용이 전망된다.

## 참고 문헌

1. Graber, T.M. and Vanarsdall, R.L. : Orthodontics : current principles and techniques. St Louis : CV Mosby, 1994 : 245-246.
2. 김광윤 외 : CULLITY 자성재료학, 반도출판사, 1992 : 797-802.
3. Behrman S.J. Egan G. : Implantation of magnets in the jaw and denture retention. New York State Dental Journal, 19 : 353-371, 1953.
4. Hayes R.J. von Gonten A.S. : Clinical application of rare-earth magnets. General Dentistry, 38 : 357-360, 1990.
5. Blechman A.M. Smiley H. : Magnetic force in orthodontics. Am. J. Orthod., 84 : 435-443, 1978.
6. Becker J.J. : Permanent magnets. Scientific American, 233 : 92-100, 1970.
7. Kawata T. Matsuga M. Kitano N. Kishigami H. : Further Study of New Orthodontic Treatment with a Magnetic Appliance. J Dent Res., 57 : 175(Abstr No 402), 1978.

8. Kawata T. Matsuga M. : A Study of New Orthodontic treatment by means of Magnet. *J Dent Res.*, 58-2 : 1292(Abstr No 46), 1979.
9. Robinson L. : Powerful New Magnet Material Found. *Science*, 223 : 920-922, 1984.
10. Tsutsui, H., Kinouchi, Y., Sasaki, H., Shiota, M. and Ushita, T. : Studies on the Sm-Co magnet as a dental material, *J. Dent. Res.*, 58 : 1597-1606, 1979.
11. Kitsugi A. Okuno O. Nakano T. Hamanaka H. Kuroda T. : The corrosion behavior of Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B and SmCo<sub>5</sub> magnets. *Dent. Mat. J.*, 11 : 119-29, 1992.
12. McCORD JF. Harvie H. : An alternative treatment of anterior teeth fractured beneath the gingival margin. *Br. Dent. J.*, 157 : 320-322, 1984.
13. Wisth PJ. Norderval K. Boe OE. : Periodontal status of orthodontically treated impacted canines. *Angle Orthod.*, 46 : 69-76, 1976.
14. Heaney TG, Atherton JD. : Peridontal problems associated with surgical exposure of unerupted teeth. *Br. J. Orthod.*, 2 : 79-85, 1976.
15. Vanarsdall RL. Corn H. : Soft-tissue management of labially positioned unerupted teeth. *Am. J. Orthod.*, 72 : 53-64, 1977.
16. Kohavi D. Becker A. Zilberman Y. : Surgical exposure, orthodontic movement, and final tooth position as factors in periodontal breakdown of treated palatally impacted canines. *Am. J. Orthod.*, 85 : 72-77, 1984.
17. Boyd RL. : Clinical assessment of injuries in orthodontic movement of impacted teeth. II. Surgical recommendations. *Am. J. Orthod.*, 86 : 407-418, 1984.
18. Vardimon AD. Graber TM. Drescher D. Bourauel C. : Rare earth magnets and impaction. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100 : 494-512, 1991.
19. Sandler PJ. Meghji S. Murray AM. Springate SD. Sandy JR. Crow V. Reed RT. : Magnets and orthodontics. [Review] ; *Br. J. Orthod.*, 16 : 243-9, 1989.
20. Sandler PJ. : An attractive solution to unerupted teeth. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100 : 489-493, 1991.
21. Sandler PJ. Springate SD. : Unerupted Premolars - An Alternative Approach. *Br. J. Orthod.*, 18 : 315-321, 1991.
22. Gianelly AA. Vaitas AS. Thomas WM. Berger DG. : Distalization of molars with repelling magnets. *J. Clin. Orthod.*, 22 : 40-4, 1988.
23. Gianelly AA. Vaitas AS. Thomas WM. : The use of magnets to move molars distally. ; *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 92 : 161-7, 1989.
24. Itoh T. Tokuda T. Kiyosue S. Hirose T. Matsumoto M. Chaconas SJ. : Molar distalization with repelling magnets. *J. Clin. Orthod.*, 25 : 611-7, 1991.
25. Bondemark L. Kuroil J. : Distalization of maxillary first and second molars simultaneously with repelling magnets. *Eur. J. Orthod.*, 14 : 264-72, 1992.
26. Hunt NP. : Hypodontia - Problems of permanent space closure, *Br. J. Orthod.*, 12 : 149-152, 1985.
27. Reid J. Stirrups DR. : A new solution to a difficult problem of orthodontic retention, *Br. J. Orthod.*, 14 : 281-283, 1987.
28. Zachrisson BU. : Clinical experience with direct- bonded orthodontic retainers, *Am. J. Orthod.*, 71 : 440-448, 1977.
29. Zachrisson BU. : The bonded lingual retainer and multiple spacing of teeth, *J. Clin. Orthod.*, 17 : 838-844, 1983.
30. Springate SD. Sandler PJ. : Micro-magnetic retainers : an attractive solution to fixed retention. *Br. J. Orthod.*, 18 : 139-41, 1991.
31. Dellinger EL. : A clinical assessment of the Active Vertical Corrector - A nonsurgical alternative of skeletal open bite treatment. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 89 : 428-436, 1986.
32. Woods MG. Nanda RS. : Intrusion of posterior teeth with magnets. An experiment in growing baboons. *Angle Orthod.*, 58 : 136-50, 1988.
33. Woods MG. Nanda RS. : Intrusion of posterior teeth with magnets. An experiment in nongrowing baboons. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 100 : 393-400, 1991.
34. Kalra V. Burstone CJ. Nanda R. : Effects of a fixed magnetic appliance on the dentofacial complex. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 95 : 467-478, 1989.
35. Barbre RE. Sinclair PM. : A cephalometric evaluation of anterior openbite correction with the magnetic active vertical corrector. *Angle Orthod.*, 61 : 93-102, 1991.
36. Kiliaridis S. Egermark I. Thilander B. : Anterior open bite treatment with magnets. *Eur. J. Orthod.*, 12 : 447-57, 1990.
37. Kuster R. Ingervall B. : The effect of treatment of skeletal open bite with two types of bite-blocks. *Eur. J. Orthod.*, 14 : 489-99, 1992.
38. Vardimon AD. Bourauel C. Drescher D. Schmutz GPF. : 3-D Force and Moment Analysis of Repulsive Magnetic Appliances to Correct Dentofacial Vertical Excess. *J Dent Res.*, 73 : 67-74, 1994.
39. 김승철·유영구 : 영구자석을 이용한 교양이 구치부

- intrusion에 관한 초기 조직학적 연구 : 대한치과교정학회지 : Vol.20, No.1, 1990.
40. Vardimon AD. Stutzmann JJ. Graber TM. Voss LR. Petrovic AG. : Functional Orthopedic magnetic appliance(FOMA) II--modus operandi. Am. J. Orthod. Dentofac Orthop., 95 : 371-87, 1989.
  41. Vardimon AD. Graber TM. Voss LR. Verrusio E. : Functional Orthopedic magnetic appliance(FOMA) III--modus operandi. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 97 : 135-48, 1990.
  42. Darendeliler MA. Joho JP. : CASE REPORT ; Class II Bimaxillary protrusion treated with magnetic forces. J. Clin. Orthod. 26 : 361-368, 1992.
  43. Darendeliler MA. Joho JP. : Magnetic activator device II(MAD II) for correction of Class II, division 1 malocclusion. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 103 : 223-39, 1993.
  44. Darendeliler MA. Chiarini M. Joho J.P. : CASE REPORT ; Early Class III Treatment with Magnetic Appliances. J. Clin. Orthod. 27 : 563-569, 1993.
  45. Vardimon AD. Graber TM. Voss LR. Verrusio E. : Magnetic versus mechanical expansion with different force thresholds and points of force application. : Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 92 : 455-66, 1987.
  46. Vardimon AD. Graber TM. Voss LR. : Stability of magnetic versus mechanical palatal expansion. Eur. J. Orthod., 11 : 107-115, 1989.
  47. 이원유 · 장지철 · 김형돈 · 한부석 : 자석의 견인력을 이용한 상악골 확대 장치의 효과 : 대한치과교정학회지 : Vol.21, No.3, 1991.
  48. Köle H. : Surgical operations on the alveolar ridge to correct occlusal abnormalities. Oral Surg., 12 : 515-529, 1959.
  49. Mostata YA. Tawfik KM. EI-Mangoury NH. : Surgical-orthodontic treatment for overerupted maxillary molars. J Clin Orthod., 19 : 350-351, 1985.
  50. Suya H. : Corticotomy in Orthodontics. In : Hösl E. Baldauf A. eds. Mechanical and biological basics in orthodontic therapy. Heidelberg : Hüthig, 207-226, 1991.
  51. Anholm JM. Crites DA. Hoff R. Rathbun WE. : Corticotomy-facilitated orthodontics. CDA Journal, 14 : 7-11, 1986.
  52. Hwang HS, Vanarsdall RL. : Intrusion of Overerupted Molar with corticotomy and magnets, Int. J. Adult Orthod. Orthognathic Surg.(in press)
  53. Cerny R. : MAGNETO-ORTHODONTICS : The Application Of Magnetic Forces To Orthodontics, Austr. Orthod. J., 5 : 105-113, 1978.
  54. Storey E. : The nature of tooth movement. Am. J. Orthod., 63 : 292-314, 1973.
  55. Kawata T. Hirota K. Sumitani K. Umehara K. Yano K. Tzeng HJ. Tabuchi T. : A new orthodontic force system of magnetic brackets. Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop., 92 : 241-8, 1987.
  56. Davidovitch, Z., Shanfeld, J.L., Montgomery, P.C., Lally, E., Laster, L., Furst, L. and Korostoff, E. : Biochemical mediators of the effects of mechanical forces and electric currents on mineralized tissues, Calcif. Tissue Int., 36 : S86-S97, 1984.
  57. Bassett, C.A.L., Pilla, A.A. and Pawluk, R.J. : A non-operative salvage of surgically-resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields, Clin. Orthop. Related Res., 124 : 128-143, 1977.
  58. Colacicco, G. and Pilla, A.A. : Electromagnetic modulation of biological processes : Influence of culture media and significance of methodology in the Ca-uptake by embryonal chick tibia in vitro, Calcif. Tissue Int., 36 : 167-184, 1984.
  59. Gerling, J.A., Sinclair, P.M. and Roa, R.L. : The effect of pulsating electromagnetic fields on condylar growth in guinea pigs, Am. J. Orthod., 87 : 211-223, 1985.
  60. Bassett, C.A.L., Mitchell, S.N. and Gaston, S.R. : Pulsing electromagnetic field treatment in ununited fractures and failed arthrodeses, J. A. M. A., 247 : 623-628, 1982.
  61. De Haas WG., Watson J. and Morrison D.M. : Non-invasive treatment of ununited fractures of the tibia using electrical stimulation, J. Bone Joint Surg., 62B : 465-470, 1980.
  62. Marcer, M., Musatti, G. and Bassett, C.A.L. : Results of pulsed electromagnetic fields(PEMFs) in ununited fractures after external skeletal fixation, Clin. Orthop. Related Res., 190 : 260-265, 1984.
  63. Borsalino, G., Bagnacani, M., Bettati, E., Fornaciari, F., Rocchi, R., Uluhogian, S., Ceccherelli, G., Cadossi, R. and Traina, G.C. : Electrical stimulation of human femoral intertrochanteric osteotomies, Clin. Orthop. Related Res., 237 : 256-263, 1988.
  64. McDonald, F. : Effect of static magnetic fields on osteoblasts and fibroblasts in vitro, Bioelectromagnetics,



- 14 : 187-196, 1993.
65. Camilleri S. McDonald F. : Static magnetic field effects on the sagittal suture in *Rattus norvegicus*. *Am. J. Orthod. Dentofac. Orthop.*, 103 : 240-6, 1993.
66. Barnothy MF. : Biological effects of magnetic fields. I. New York. Plenum Press. 1964.
67. Barnothy MF. : Biological effects of magnetic fields. II. New York. Plenum Press. 1969.
68. Mulay IL, Mulay LN. : Effect of a magnetic field on Sarcoma 37 ascites tumor cells. *Nature*, 190 : 1019, 1961.
69. Reno VR. Nutini LG. : Effect of magnetic fields on tissue respiration. *Nature*, 198 : 204-205, 1963.
70. Malinin GI. Gregory WD. Morelli L. Sharma VK. Hench JC. : Evidence of morphological and physiological transformation of mammalian cells by strong magnetic fields. *Science*, 194 : 844-846, 1976.
71. Blechman AM. : Magnetic force systems in orthodontics. Clinical results of a pilot study. ; *Am. J. Orthod.*, 87 : 201-10, 1985.
72. Cerny R. : The biological effects of implanted magnetic fields, Part I. Mammalian blood cells. *Aust. Orthod. J.*, 6 : 64-70, 1979.
73. Cerny R. : The biological effects of implanted magnetic fields, Part II. Mammalian tissues. *Aust. Orthod. J.*, 6 : 114-117, 1980.
74. Cerny R. : The reaction of dental tissues to magnetic fields. ; *Austr. Dent. J.*, 25 : 264-8, 1980.
75. Jackson TR. Healey KW. : Rare earth magnetic attachments : The state of the art in removable prosthodontics. *Quintessence Int.*, 18 : 41-51, 1987.
76. Altay OT. Kutkam T. Koseoglu O. Tanyeri S. : The Biological Effects of Implanted Magnetic Fields on the Bone Tissue of Dogs. *Int. J. Oral. Maxillofac. Implants.*, 6 : 345-349, 1991.
77. Von Fraunhofer JA. Bonds PW. Johnson BE. : Force generation by orthodontic samarium-cobalt magnets. *Angle Orthod.*, 62 : 191-4 ; discussion 195-6, 1992.
78. Bondemark L. Kurol J. : Force-distance relation and properties of repelling Sm-Co<sub>5</sub> magnets in orthodontic clinical use : an experimental model. *Scand. J. Dent. Res.*, 100 : 228-31, 1992.
79. 장항익 · 황현식 : 영구자석의 체적변화가 자력에 미치는 영향 : 대한치과교정학회지(in press)

- ABSTRACT -

## REVIEW OF THE USE OF MAGNETS IN ORTHODONTIC TREATMENT

Hang-Ik Jang · Hyeon-Shik Hwang · Jong-Chul Kim

*Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chonnam National University*

For more effective orthodontic treatment, it is essential to establish the treatment objectives accurately and control the orthodontic force safely and efficiently. That recommend an optimal force that produces a rapid rate of tooth movement without discomfort to the patient or ensuing tissue damage such as alveolar bone loss and root resorption.

Wires, elastics, and muscular forces have been the main source of force in orthodontic therapy. Recently magnetic forces are considered as a method for more efficient tooth movement.

The aim of this paper is to review the history of the magnetic uses, the types of magnets, and the biologic and clinical consideration of magnets that would help further clinical applications and studies.