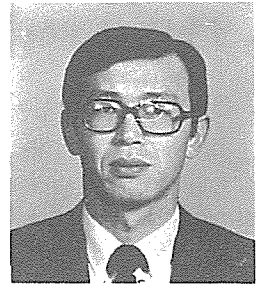


# 골조직에 대한 근육활동과 전기적 현상

서울대학교 치과대학 구강생리학교실 및 치학연구소

부교수 김 중 수



## I. 서 론

골조직은 여러 종류의 물질로 구성되어 있는 매우 복잡한 조직으로써 다양한 생리적 기능을 가지고 있다. 골조직의 주요 기능은 신체의 골격을 형성하고 근육이 부착할 자리를 제공하여줌으로써 관절과 함께 운동에 관계하며 중요 신체장기를 보호하여 준다. 그리고 골속에 함유된 여러 무기질 이온을 전해질대사와 항상성 유지에 절대적으로 필요하며 골수에서는 혈액등을 생산하고 있다.

골조직을 통해서 이루어지는 무기질의 항상성은 골조직과 혈액사이의 전해질과 수소이온의 교환에 의해 이루어진다. 골과 혈액 사이의 물질교환은 빠른 경우에는 20분이내에 일어나지만 느린 경우에는 수 주 또는 수 년에 걸쳐 일어난다. 급속하게 일어나는 물질교환은 골조직 표면에서 나타나지만, 골조직내에 형성되어 있는 미세한 통로를 체액이 흘러갈 때 일어나는 물질교환은 느리게 이루어진다.

태아시기에서부터 형성되는 골조직은 성장발육이 끝난 다음에도 계속적으로 교체가 일어나서 성인에서는 총 골격의 약 3.5%가 지속적으로 교체되며 이러한 골조직의 변화를 remodelling이라 하는데, 각종 호르몬, 골조직에 가해지는 기계적 스트레스 및 압력, 전기적 현상(piezoelectricity)등에 의해 영향을 받는다. 그리고 remodelling에 영향을 주는 여러 인자들을 임상적으로 응용하려는 노력도 계속 연구되고 있어 이 기회에 골조직의 성장, 발육 및 대사에 영향을 주는 근육의 활동과 혈류, 그리고 골조직의 전기적 현상에 대해 고찰하고 이의 치과 임상학적 응용에 관해 정리하고자 한다.

## I. 골조직의 혈류량과 그 영향

골조직의 혈류량은 물질교환과 remodelling에 매우 중요한데 혈액공급은 영양동맥, 골막동맥과 골중간부와 골단의 동맥을 통해 이루어 진다. 영양혈관은 골간의 작은 구멍을 통해 골내로 들어가서 골수에 혈액을 공급하고, 골막동맥은 치밀골의 표층 1/3~1/4부위에 국소적으로 혈액을 공급한다. 사람에서 안정시 심장박출량의 약 1/4이 골격을 순환하며 분당 유통량은 약 19ml/100gm정도 된다. 그리고 골조직의 혈압은 골내면에서는 약 60mmHg이고, 골막부위에서는 약 15mmHg를 나타낸다.

골조직의 혈액유통은 골내의 압력변화에 의해 크게 영향을 받으며 골격근 수축이 압력변화에 가장 큰 효과를 가진다. 근육수축시 골내압력은 처음에는 증가하지만 말기에는 급격히 감소하여 거의 0 mmHg에 도달한다. 근육수축에 따른 골내압력변화는 흡인효과(suction effect)를 가지게 되어 근육이완이 일어나면 동맥을 통해 새로운 혈액이 골내로 흘러들어 간다. 그러나 골절된 부위를 고정하고 움직이지 못하게 하면 골절치유후 골조직의 다공증(osteoporosis)이 관찰되는데 이것은 골격근을 사용하지 못함으로써 일어난 골조직 혈류의 장애때문에 나타난 현상이다. 골조직의 혈류량변화는 bone remodelling에 영향을 준다. 혈류의 감소로 골조직내에 탄산가스가 축적되고 pH가 감소하면 증가된 탄산가스에의해 파골세포가 활성화되고 분화가 증가한다. 그러나 적절히 혈액공급을 회복시켜 충분한 양의 산소를 공급하여 주면 조골기능이 강화되어 새로운 골형성이 증가한다.

또한 골혈류량은 약물에 의해서도 영향을 받는데 아세틸콜린은 혈관확장을 일으켜 혈류량을 증가시키고, 에피네프린은 감소시킨다.

## II. 근육의 작용

정상적인 골조직의 성장과 발육은 섬유성 골막, 인대와 건, 근육, 신경 및 혈액공급에 의해 영향을 받으며 그 중에서 근육은 골조직의 혈액공급에 변화를 줄 뿐만 아니라 근육축시 발생하는 장력이 골조직에 작용함으로써 골형성에 영향을 준다. 이러한 근육의 작용을 하악골의 성장과 관련시켜 고찰하면, 하악의 condylar process와 coronoid process는 저작근의 활동과 밀접한 관계를 가지고 있어 내익돌근이나 교근 또는 측두근이 선천적으로 결함이 있거나 혹은 손상등으로 기능장애를 가지면 coronoid process의 성장이 감소한다. Condylar process의 성장은 외익돌근의 기능과 밀접하여 이 근육의 절단이나 근절의 감소는 condyle성장을 감소시킨다. 그리고 부정교합의 치료목적으로 사용하는 chin cup은 외익돌근과 악관절의 기능을 감소시킴으로써 condylar process의 조연골세포에 영향을 주어 연골성장을 감소시키는데, condyle연골의 성장은 전적으로 외익돌근에 영향을 받는다. 저작활동이 하악골에 미치는 효과로 단단한 음식물을 섭취시키면 하악골의 용적, 무게 및 두께등이 증가하는데 이것은 단단한 음식물의 저작시 증가한 저작근의 활동 때문이며, 강력한 근육활동은 현저한 조골기능의 증가를 초래하고, 골격근의 사용이 불량한 경우에는 disuse osteoporosis가 나타난다. 만일 한쪽의 저작근을 제거하거나 운동신경을 절단하면 하악의 좌우 성장이 다른 것을 관찰할 수 있어 하악골의 형태, 크기 및 성장이 저작력에 의해 결정됨을 알 수 있다.

근육축시 발생하는 장력에 의해 골조직의 변형이 생기면 bone modeling의 과정을 통해 적응하게 된다. 그림 1에서와 같이 골격이 근육축, 하중등에 의해 B와 같이 변형이 되면 C, D, E의 과정을 통해 F와 같이 된다. 이때 변형으로 인해 압박을 받는 쪽(concave)은 골형성이 일어나고 그 반대쪽(convex)은 골흡수가 일어나기 때문이며, 이러한 골조직의 반응에는 변형시 발생하는 전기적 현상도

관련된다.

## III. 골조직의 전기적 현상(Bioelectric potential and piezoelectricity of bone)

살아 있는 세포가 세포막을 경계로 내외의 막전압차를 나타내듯이 조직에서도 부위별 전압차를 기록할 수 있다. 정상적인 골조직의 표면에서 떨어진 두점사이에 전압차가 기록되며 그 값은 최고 약 15 mV정도된다. 골단(epiphysis)과 metaphysis는 골간(diaphysis)에 비해 전기적으로 음성을 띄고 있으며 이러한 골조직의 전기적 현상은 골조직을 생체에서 분리하면 2~3 시간후에 소실된다. 그리고 골조직의 파절이 있으면 전체적으로 전기적 음성도가 증가하며 골절된 부위가 최대를 나타낸다. 이러한 골조직의 생물학적 전기적 현상은 세포의 대사활동에 의해 결정된다.

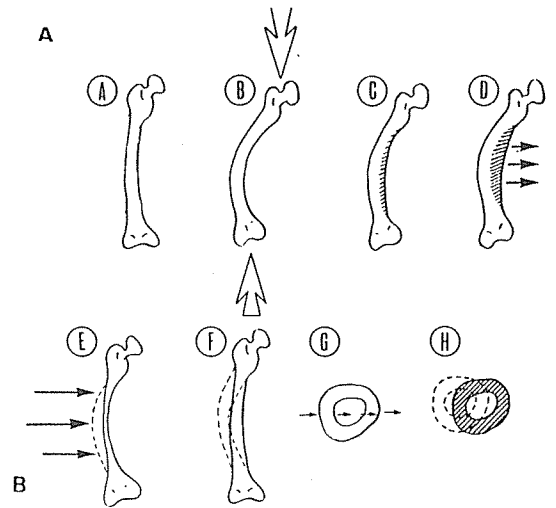


그림 1. 외력에 의해 변형된 골조직의 modeling 과정

Piezoelectricity(strain-generated potential)은 물체에 stress를 가하여 변형시킬 때 일어나는 현상으로, stress에 의해 물질의 분자에 변위가 일어나 날 때 발생하며 strain에 비례하여 전위의 크기가 변화한다. 이러한 현상은 무기결정체, 나무등에서 관찰되며 압박받는 쪽이 전기적 음성을, 신장되는 부위는 양성을 나타낸다. 골조직에서 관찰되는 piezoelectricity는 Fukada와 Yasuda(1957), Bassett와 Becker(1962)에 의해 처음 연구되었으며 변형

된 골조직의 전위는 변형의 크기와 변화율에 따라 결정되고 극성은 휘어지는 방향에 따라 달라지는데, 만일 골조직을 그림 2에서와 같이 휘어지게 하면 압박을 받는 오목한(concave)부위는 전기적 음성을, 길이가 늘어난 볼록한(convex)곳은 양성을 보인다.

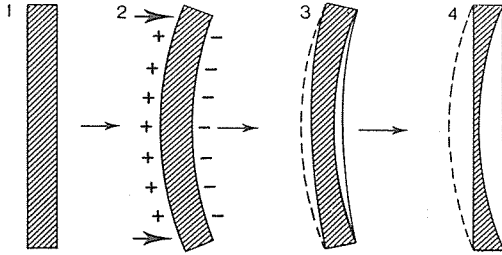


그림 2. 골조직 변형에 의한 전류의 형성현상 (piezoelectricity).

이러한 전기적 현상은 탈회된 골조직에서도 관찰되고, 정상조직과 거의 차이가 없는 것으로 보아 골조직에서의 piezoelectricity는 무기질보다는 콜라겐 섬유에 의해 대부분 일어난 현상임을 알 수 있다. 이러한 piezoelectricity는 교정력에 의해 치아를 이동시킬 때 치조골에서 볼 수 있고, 또 근육 수축에 의한 골격의 변형시, 교합력이 치조골에 작용할 때에 관찰된다.

그림 1의 C, D, 그림 2의 B, C, D에서 볼 수 있듯이 변형에 의해 전기적 음성을 띄는 부위는 조골작용이 증가되고, 양성을 가진 부위에서는 bone remodeling이 촉진되어 골의 형태가 변화된다는 사실이 언급되었고 Bassett 등은 외과적으로 골조직에 매식한 음극부위에서 골형성이 유의하게 증가된다고 하여 이러한 결과의 임상적 응용이 시도되었다. 골절된 부위에 음극을, 다른 부위에 양극을 설치하고 적절한 크기의 직류(5~10 $\mu$ A)를 작용시키면(그림 3) 골절의 치유시기가 단축되며 여러 원인에 의해 유합이 되지 않는 골절도 치유가 가능하게 된다. 이러한 직류의 임상적 이용은 유합이 않되는 골절의 치유율을 증가시켜 tibia에서는 86%, fibula는 100%, radius에서는 93% 성공율을 보였는데 최근에는 코일을 통해 박동성 전류를 흘려보내어 골절부위에 2 Gauss 정도의 전자장(electromagnetic field)를 형성하여 주는데 이때 가장 효과적인 파형은 15Hz 빈도에 5 msec 기간을 가진 것이다. 박동성 파형에 의해 유도되는 전자장도 골절치료에 이용되

나 비유합 골절에서 60~80%치유효과를 보였고 직류를 이용한 장치와는 달리 전자장 장치는 골조직에 감염이 있을 때 사용될 수 있다.

골조직에서의 전기적 현상과 전류의 적용은 치과 영역에서도 많은 시도가 있었다. 많은 연구자들이 치아에 힘을 가하면 치조골에 전위의 변화가 생김을 보고하였고 또 직류전류를 악골절부위에 가하여 치유되는 과정을 관찰하였고, 무치악에서 치조골의 감소를 억제시키는 효과도 연구되었으며, 치주질환으로 흡수된 치조골의 재생에도 시도되었다. 치아에 교정력을 가하면서 전류를 흘려보내면 처음 2 주 동안 양극부위에서 치아이동속도가 증가됨이 실험동물에서 관찰되어 치과교정전문 의들은 이의 임상적 응용에 대해 관심을 가지고 있다.

골조직의 생물학적 전기현상의 변화에 의해 일어나는 조직의 반응에 대해 아직 충분히 이해되지는 못하였지만 많은 가설들이 제시되고 있다. 조직의 전위변화가 골의 변형이나 외부에서 가해진 전류에 의해 일어나면 세포막을 구성하는 단백질과 지방질의 하전을 띤 분자들의 집락이 세포막 수용체를 형성하며, 이러한 하전량의 변화에 의해 수용체부위가 활성화되면 정상적으로 순환하는 낮은 농도의 호르몬등에 의해 세포의 효소계가 활성화되어 세포가 분화하게 된다. 그리고 이때 작용하는 화학물질로는 cyclic nucleotides가 중요한데 치아 주위조직에

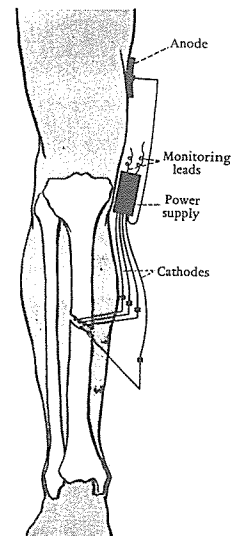


그림 3. 직류를 유합이 잘 안되는 골절치료에 이용한 예.

직류전류를 가하면 음극부위에서는 골막에 있는 조골세포의 cAMP와 cGMP가 증가하며 양극부위에서는 cGMP의 증가가 관찰되어 국소적으로 가해지는 물리적 또는 전기적 자극에 대한 골조직의 반응에 이들이 관련됨을 알 수 있다.

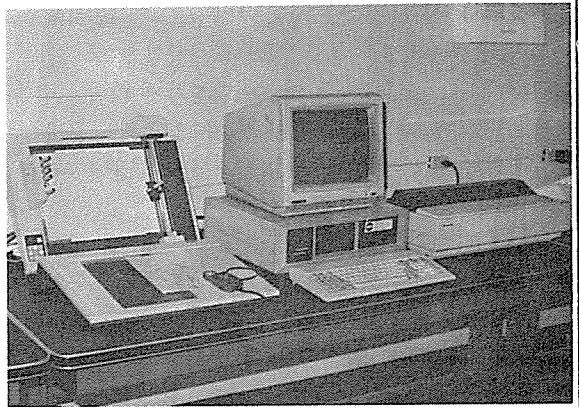
#### IV. 요 약

신체의 골격을 형성하고 내부장치를 보호하는 골조직은 무기질대사에도 중요한 역할을 한다. 이러한 골조직의 기능은 골조직의 혈류량에 의해 영향을 받는데 이때 골격근의 작용이 혈류량 조절에 관계있으며, 근육활동의 저하로 혈류량이 감소하면 골다공

증이 초래된다. 골격근 수축은 골격의 성장에도 영향을 주어 저작근의 기능장애는 악골성장을 감소시키며, 저작활동의 증가는 조골기능을 강화시킨다. 골조직도 전기적 현상을 가지고 있어 부위별로 전위차를 보이며 외력이나 근육수축력 등에 의해 변형이 일어나면 piezoelectricity를 나타내어 음성을 띤 부위에서는 골형성이, 양성을 띤 곳은 골흡수를 일으켜 bone remodelling에 영향을 준다. 이러한 성질을 이용하여 치유가 잘 안되는 골절치료에 이용하는데 이때 주로 직류 또는 맥동성 전류를 사용하며, 이와같은 방법이 치과임상에 이용되는 정도는 아직 미약하지만 실험적으로 많은 시도가 이루어지고 있다.

### ❁ 연세치대 교정학교실 최신 컴퓨터 시스템 도입 ❁

연세대학교 치과대학 교정학교실에서는 최신 컴퓨터 시스템을 도입함으로써 교정환자의 진단 및 치료계획수립에 획기적인 발전을 가져오게 되었습니다. 16Bit 본체, Color Monitor, Digitizer, X-Y Plotter 및 Printer로 구성된 컴퓨터 시스템은 교정환자의 진단 및 치료계획의 수립은 물론 치료전후의 비교와 함께, 치료결과와 평가를 단시간내에 정확히 할 수 있도록 Software Program을 개발하였고 특히, Digitizer를 이용하여 X-선 두개계측사진의 정보를 해상도를 최대로 증진시킨 Color Monitor와 X-Y Plotter를 통하여 출력(Out Put) 시킴으로써 한눈에 환자의 상태 및 문제점을 파악할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 또한 치료전·후의 상태도 Plotter에서 중첩시켜 그려줌으로써 일목요연한 치료전·후의 비교도 용이하게 되었다. 아울러 환자의 인적사항, 임상적소견 및 구강내 소견과 석고모형 분석상태 및 X-ray 촬영일 등이 입력되며 이 기록들은 필요한 Group별로 선택하여 Data List를 작성할 수 있어 자료기록 및 통계자료로도 널리 활용될 수 있는 장점이 있다. 일천 오백만원에 달하는 고가인 본 컴퓨터 시스템은 연세치대 교정학교실 출신들의 모임인 새정회(회장 김남일)에서 모든 재정적 지원을 하였으며, Software Program은 연세치대 교정학교실과 원 컴퓨터(대표 임동원)사가 공



〈연세치대 교정과에서 도입, 운용하고 있는 최신 컴퓨터 시스템〉

동으로 개발 하였다.

진단분석 및 환자기록업무의 전산화로 시간소요 및 번거로움이 해소되고 환자치료에 많은 발전을 가져다 줌과 동시에 과내 업무에 많은 편리함이 제공되리라 본다.

앞으로는 환자의 성장예측과 악교정 수술환자의 수술계획수립에도 응용할 수 있는 Program을 개발하여 활용범위를 넓힐 예정이며 외부병원과 개업가에도 공개하여 누구든지 원하면 본교실의 컴퓨터 시스템을 이용할 수 있도록 개방할 예정이다.