

발치 후 교정력 적용 시기에 따른 치아 이동 양상

한 성 호¹⁾ · 황 현 식²⁾

본 연구는 발치 후 인접치 이동을 위한 교정력 적용 시 적용 시기에 따른 치아이동 양상을 비교·분석하기 위하여 시행되었다.

성견을 실험대상으로 상악 좌우 제 3절치를 3주 간격으로 각각 발거하고, 양 견치를 고정원으로 제 2절치의 치체이동을 위한 장치를 장착하였다. 100 gm의 지속적인 힘을 내는 견인 스프링을 사용하여 발치 후 4주와 1주부터 좌우 제 2절치를 각각 12주간 동시에 견인하였다. 2주 간격으로 디지털 캘리퍼스를 이용하여 이동거리를 측정·비교하고 실험에 사용된 좌우 제 2절치의 조직소견을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교정력 적용 후 처음 2주간에는 발치 후 4주에 견인한 치아가, 그 다음 2주간에는 발치 후 1주에 견인한 치아가 빠르게 이동하는 양상을 보였다.
2. 12주간의 실험기간 동안 견인 4주와 6주 사이에 가장 빠르게 이동하는 경향을, 이 후에는 이동 속도가 감소하는 양상을 보였다.
3. 실험기간 동안 이동한 전체 거리는 발치 후 4주에 비해 1주에 견인한 경우에서 크게 나타나는 경향을 보였다.
4. 발치 후 4주에 견인한 경우에 비하여 1주에 견인한 경우에서 유해한 조직소견이 나타나지 않았다.

이상의 결과는 발치 후 교정력 부여 시 조기 적용이 유리함을 시사하였다.

주요단어: 발치, 교정력 적용시기, 치아이동, 성견

서 론

치아에 교정력이 적용되면 압박측에는 골흡수가, 신장측에는 골침착이 나타나면서 치아의 이동이 발생한다.¹⁻⁵⁾ 교정치료 목적으로 발치를 시행하는 경우 인접치가 발치와로 이동하게 되는데 발치와의 치유 정도, 즉 발치와 부위의 골조직 상태에 따라 치아이동 속도가 영향을 받을 수 있다.

치아나 주위조직에 손상을 주지 않으며 가장 빠르게 치아를 이동시키는 것을 최적의 교정치료라 한다면 교정적 발치 시행 후 교정력 적용시기 결정은 중요한 임상교정의 현안이라 할 수 있다. 그러나 발치

후 교정력 적용시기에 대한 비교연구는 미미한 실정이다. 일찍이 Murphey⁶⁾는 신선한 발치와로 치아이동 시 치근흡수가 나타나는 반면 치유된 발치와에서 더욱 활발한 파골세포와 조골세포의 작용을 보고하며 교정력 적용을 발치와가 완전히 치유된 시기로 늦추는 것이 생물학적으로 유리하다고 주장한 바 있다. 그러나 최근 Häsler 등⁷⁾은 임상연구에서 발치 후 약 8주가 지난 치유된 발치와에 비하여 발치 직후 또는 3주 이내에 교정력을 적용한 경우에서 치아이동이 빠름을 보고하였으며, Diedrich와 Wehrbein⁸⁾도 성견을 대상으로 발치 직후와 12주 후 교정력을 적용하여 비교한 연구에서 교정력 적용시기를 조기에 할 것을 주장한 바 있어 교정력 적용시기에 대한 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 더욱이 임상에서는 발치 후 발치

¹⁾ 전남대학교 치과대학 교정학교실, 대학원생

²⁾ 전남대학교 치과대학 교정학교실, 부교수

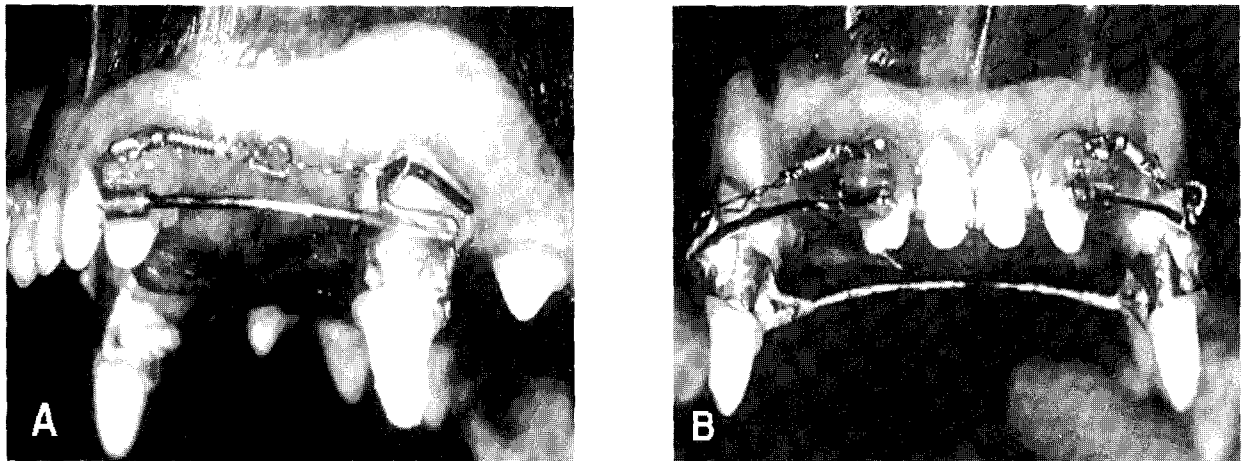


Fig. 1. The design of appliance used in this study. A. lateral view, B. frontal view

와가 완전히 치유되는 것을 기대하지 않고, 4주 이내에 인접치 이동을 위한 교정력을 적용하는 반면 발치 후 4주 정도에 교정력을 적용한 연구는 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 성견에서 발치 후 1주와 4주에 각각 교정력을 적용한 후 교정력 적용시기에 따른 치아 이동 거리 및 조직학적 상태를 비교·분석하므로써 교정치료 계획 수립에 도움이 되고자 시행되었다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구의 실험 재료로 전신 상태가 양호하고 치주 조직의 염증이 없는 생후 2년된 체중 20 kg 내외의 잠중 성견 4마리를 암수 구별없이 사용하였다.

2. 연구 방법

실험동물에 치아이동장치를 장착하기 위해 먼저 xylazine (롬폰, 바이엘, 한국) 2.5 cc와 kg당 10 mg의 ketamine (케타라, 유한양행, 한국) 을 대퇴근에 주사하여 마취를 유도하고 기관내 튜브를 삽입한 후 halothane-O₂ 로 전신마취를 유지하였다. 단근치인 상악 좌우 제 3절치를 3주 간격의 시간차를 두고 발거하고 제 2절치를 견인할 치아로, 치근이 크고 견고한 견치를 고정된 치아로 각각 선택하였다. 견치에 밴드를 제작하고 고정을 위해 1.2 mm 직경의 스테인레스 스틸 와이어로 좌우 견치를 납착연결하였으며 순측에는 0.7 mm 스테인레스 스틸 와이어를 납착하여

스프링을 걸 수 있는 고리를 형성하였다. 제 2절치에는 고리를 장착한 등근 튜브를 직접 접촉하여 와이어가 통과하도록 하였고 광중합 레진 접착제 (Transbond, 3M Unitek Co., U.S.A.) 를 사용하여 견치에 밴드, 제 2절치에 등근 튜브를 접착하였다. 제 2절치와 견치의 고리에 100 gm의 지속적인 힘을 낼 수 있도록 견인 스프링 (Sentalloy closed coil spring, Tomy Co., Japan) 을 걸어 계속 힘을 유지시키면서 우측의 경우 발치 4주, 좌측의 경우 발치 1주 후부터 시작하여 12주간 동시에 견인하였다. 치아이동 장치 및 실험 방법은 이와 황⁹⁾의 방법을 약간 변형하여 사용하였다 (Fig. 1).

두 치아간 거리 측정을 용이하게 하고 치아의 경사 여부를 검사하기 위해 제 2절치와 견치의 순면에 작은 홈을 형성하여, 치아이동 전 성견의 구강내에서 직접 두 치아간 거리를 digital calipers (Absolute Digimatic, Mitutoyo Co., Japan) 로 0.1 mm 단위로 측정하여 기록하였다. 실험기간 동안 유동식의 먹이를 공급하고 5% chlorhexidine을 사용하여 1주일에 2회 씩 칫솔질을 시행하였으며 장치 탈락 여부를 관찰하였다. 발치 후 1주에 교정력을 적용한 경우와 발치 4주 후에 교정력을 적용한 경우를 각각 1주군, 4주군으로 하여 2주마다 두 치아간 간격을 측정하여 치아이동 거리를 각각 기록하였다. 12주에 치아이동을 위해 장착하였던 교정장치를 제거하고 실험동물을 희생시켰다.

3. 조직 검사

조직 표본 제작을 위해 희생시킨 실험동물의 상악

Table 1. Amount of tooth movement according to the period in each experimental animal (mm)

Period(weeks)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12
animal 1						
one-week	0.1	1.8	2.0	0.6	1.4	1.0
four-week	0.6	0.8	2.1	0.3	1.0	0.5
animal 2						
one-week	0.2	1.2	1.9	-	-	-
four-week	1.1	0.6	2.0	1.4	0.3	-
animal 3						
one-week	0.6	1.3	2.0	1.6	0.3	0.9
four-week	1.2	0.2	-0.1 [§]	0.1	0.5	1.8
animal 4						
one-week	0.2	1.5	2.2	2.3	0.5	0.6
four-week	0.6	0.6	1.3	0.8	0.1	0.2

- : The experiment discontinued due to bonding failure.

§ A certain amount of relapse occurred due to unexpected loosening of the appliance.

팔을 적출하여 제 2절치를 포함하는 절편을 제작한 후, 10 % 중성 포르말린 용액에서 3일간 고정시키고 5 % 질산 용액을 2일에 한 번씩 교환하며 탈회하였다. 탐침을 이용하여 탈회의 정도를 확인한 후 흐르는 물에 12시간 세척하고 파라핀에 포매하였으며 치아 장축과 평행하게 근원심 방향으로 5 μm 두께의 박편을 제작하였다. hematoxylin-eosin 염색과 Masson's trichrome 염색을 시행하여 1주와 4주측 각각에서 치근흡수 여부, 치조골의 성숙 정도와 피질골에서의 침착과 흡수 양상, 압박측과 신장측 치주인대에서 골재 형성 과정 등을 광학현미경으로 비교 분석하였다.

연구결과

1. 구강내 소견

실험동물의 상악 좌우 제 3절치를 3주 간격으로 발거하고, 견치를 고정원으로 제 2절치에 100 gm의 교정력을 12주간 동시에 적용한 결과 좌우 절치 모두에서 육안 소견상 치아이동이 일어난 것으로 관찰되었다.

각 실험동물의 2주 간격별 이동거리를 살펴보면 1주측 치아의 경우, 첫 2주는 0.1~0.6 mm, 2주에서 4주

사이에는 1.2~1.8 mm, 4주에서 6주 사이는 1.9~2.2 mm 이었다. 6주에서 8주 사이는 0.6~2.3 mm이었는데, 실험동물 2에서 튜브가 탈락하여 중단하였다. 8주와 10주 사이는 0.3~1.4 mm, 10주와 12주 사이는 0.6~1.0 mm이었다.

4주측 치아의 이동거리는 첫 2주 사이에 0.6~1.2 mm이었고, 2주에서 4주 사이에는 0.2~0.8 mm이었다. 4주에서 6주 사이는 -0.1~2.1 mm이었는데 실험동물 3에서 실험장치의 탈락으로 인한 재발로 이동거리가 감소한 상태로 나타났다. 6주와 8주 사이의 치아 이동 거리는 0.1~0.8 mm, 8주와 10주 사이는 0.1~1.0 mm이었다. 10주와 12주 사이의 치아이동 거리는 0.2~0.5 mm이었는데 실험동물 2에서 튜브가 탈락하여 중단하였다. 실험동물 3의 경우 실질적인 치아이동 거리에서 다른 동물과 비교하기는 어려우나 재조정 후 계속 진행하여 치아이동 거리를 기록하고 이동양상을 관찰하였다 (Table 1).

2. 치아이동 비교

실험동물의 1주측과 4주측의 이동 거리를 2주 간격으로 비교한 결과 모든 실험동물에서 첫 2주간에는 1

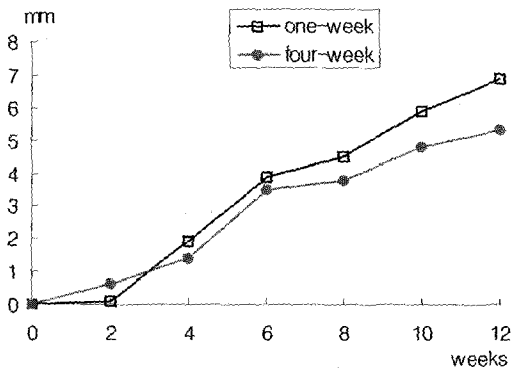


Fig. 2. Trend of the tooth movement between one-week and four-week sides in experimental animal 1.

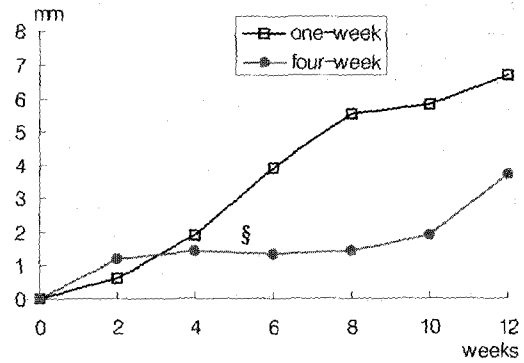


Fig. 4. Trend of the tooth movement between one-week and four-week sides in experimental animal 3.

§ : A certain amount of relapse occurred due to unexpected loosening of the appliance.

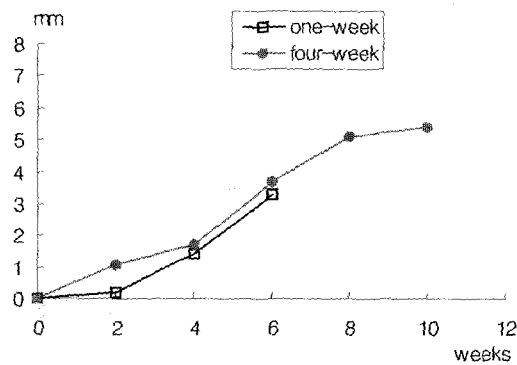


Fig. 3. Trend of the tooth movement between one-week and four-week sides in experimental animal 2.

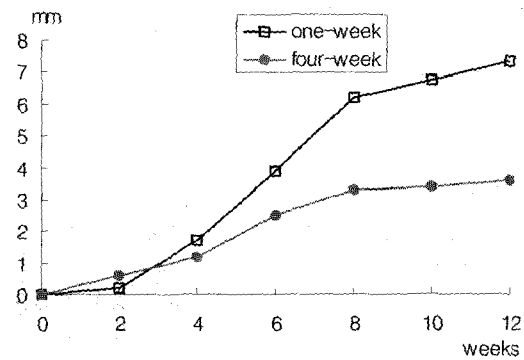


Fig. 5. Trend of the tooth movement between one-week and four-week sides in experimental animal 4.

주측보다 4주측의 치아이동 속도가 빠르게 나타났고, 2주와 4주 사이에는 1주측이 4주측보다 빠른 양상을 보였다. 전체 실험 기간 중 4주와 6주 사이에서, 장치가 탈락한 실험동물 3의 4주측을 제외한 모든 동물에서 1주측과 4주측 모두 치아이동 속도가 가장 빠른 이동 양상을 보였다. 이 후 6주와 8주 사이, 8주와 10주 사이, 10주와 12주 사이에는 1주측과 4주측 모두에서 이동 속도가 감소되는 양상을 보였다.

실험기간 12주 동안 1주측과 4주측 간의 총이동거리를 비교한 결과 실험도중 장치가 탈락한 실험동물 2를 제외한 모든 동물에서 1주측의 이동거리가 4주측보다 큰 것으로 나타났다 (Fig. 2~5).

3. 조직학적 소견

제 2절치의 원심이동 결과 치아의 원심면과 근심면에 각각 압박면과 신장면이 형성되었는데 1주측과 4주측 모두 전형적인 치아이동 소견을 보였다. 압박면의 치주인대 강이 감소하면서 치조골에 파골세포가 관찰되었다. 치조골은 불규칙한 역전선이 형성된 층판골로서 관찰되었고 치주인대와 인접한 면은 불규칙한 scalloping pattern을 보였다. 치주인대에는 혈관이 풍부하게 나타났고 인대의 주행은 압축된 양상이었다. 신장면의 치주인대 강은 압박측에 비해 넓게 나타났고 혈관도 풍부하지 않으며 파골세포도 관찰되

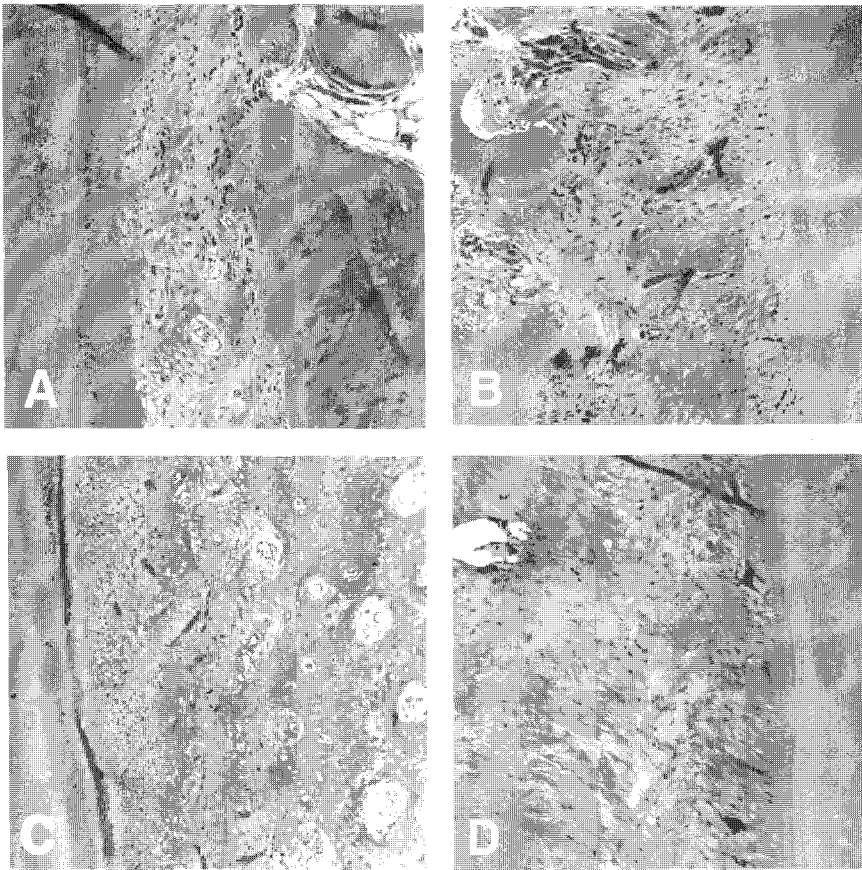


Fig. 6. While pressure and tension side each showed typical findings of tooth movement, any difference between one-week and four-week groups could not be seen (Hematoxylin-Eosin stain, $\times 100$). A: Pressure side of one-week group, B: Pressure side of four-week group, C: Tension side of one-week group, D: Tension side of four-week group



Fig. 7. The root resorption was found in one of four-week group while this finding was not present in one-week group.

지 않았다. 치주인대와 접한 치조골은 층판골이 아닌 미성숙골이 관찰되었다 (Fig. 6). 또한 1주측과 4주측 치아 모두 신장면인 근심을 향하여 백악질이 과다 형성되는 소견을 보였다.

한편 실험동물 4의 4주측 치아에서는 약간의 치근 흡수가 신장면에서 관찰되었는데, 치주인대강의 간격을 유지하면서 치근이 흡수된 부위로 치조골이 밀려 들어가고 이 부분의 치조골에서는 많은 조골세포와 소수의 파골세포를 관찰할 수 있었다 (Fig. 7).

총괄 및 고찰

치아에 교정력이 적용되면 치주인대의 반응에 이어 치조골의 재형성 과정이 나타난다.¹⁰⁻¹⁶⁾ 이상적인 치아 이동은 적절한 교정력에 의해 치아나 주위조직

에 부작용 없이 가장 빠르게 원하는 위치로 이동시키는 것이다.¹⁶⁾ 치아이동 양상에 영향을 주는 요소로 힘의 크기 등 생역학,¹⁷⁻²⁰⁾ 연령,²¹⁾ 영양²²⁾이나 약물²³⁾과 관련된 전신상태 등을 들 수 있는데 가장 중요한 것 중 하나가 치조골의 반응이다. 치조골의 석회화 정도나 골밀도가 치아이동에 영향을 미치는 바^{24,25)} 교정을 목적으로 발치를 시행한 경우 발치와에서 나타나는 골재형성에 대한 이해가 필요하다.

발치 후 발치와는 혈액이 응고된 다음 육아조직 및 결합조직화에 이어, 상피 형성과 미석회화된 골양조직 (osteoid tissue), 석회화되기 시작하는 무층골 (woven bone), 그리고 무기질 침착 과정인 층판골 (lamellated bone) 순서로 변화하는 것으로 알려져 있다.^{26,27)} 이러한 발치와의 성장에 따라 치아이동이 영향을 받을 수 있으므로 본 연구는 발치 후 인접치 이동을 위한 교정력 적용 시 적용시기에 따른 치아이동 양상을 비교하기 위하여 시행되었다.

일찍이 Murphey⁶⁾는 원숭이를 대상으로 하악 제 1대구치의 발거 후 발치와로 제 2소구치를 이동시킨 조직학적 비교 연구를 시행하였는데 치아이동 시기를 발치 후 즉시와 7주로 선택하였다. 성견을 이용하여 상악 제 2절치를 발거하고 인접치를 이동시킨 Diedrich와 Wehrbein⁸⁾의 연구에서도 발치 후 즉시와 12주를 교정력 적용시기로 선택하였으며, Häsler 등⁷⁾이 시행한 임상연구에서는 상악 제 1소구치 발거 직후부터 3주 사이, 발치 5주부터 21주 사이에 양 쪽 견치를 각각 원심 견인하고 어느 시기가 효율적인지 비교 연구하였다. 이와 같이 대부분의 연구는 발치와가 완전히 치유된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 그러나 실제로 치아 발거 후 특별한 이유가 존재하지 않는 한 약 4주 이내에 치아이동을 시작하게 되므로 본 연구에서는 치아 이개 후 밴드 제작과 브라켓 장착 등 교정력 적용을 위한 장치 장착에 소요되는 통상적인 기간인 4주와 빠른 장착 시 가능한 1주로 교정력 적용시기를 선택하여 어느 시기가 효율적 치아이동에 도움이 되는지 알아보려고 실험을 시행하였다.

치아이동 시 경사가 나타날 경우 작은 힘을 사용하였을지라도 일정 부위에 과도한 힘이 집중되어 치근 흡수 등의 문제가 발생할 수 있어,²⁸⁾ 본 연구에서는 굵은 와이어와 튜브를 사용하여 치체이동이 되도록 장치를 고안하였다. 한편 지속적인 교정력이 효율적인 것으로 알려지고 있는 바¹⁶⁾ 본 연구에서는 비교적 일정하게 교정력을 낼 수 있는 NiTi 견인 스프링을 사용하였으며²⁹⁾ 3일마다 100 gm의 교정력이 작용하

는지 검사한 후 필요시 재조정을 시행하였다. 치아이동 후 조직학적 소견을 통하여 치아와 주위 조직 손상 여부를 살펴보기 위하여 본 연구는 동물실험을 선택하였으며 해부학적으로 사람의 치주조직과 유사한 성견^{30,31)}을 실험대상으로 사용하였다.

실험동물의 1주측과 4주측 각각에서 치아이동 거리를 2주 간격으로 비교한 결과 교정력 적용 후 처음 2주간에는 4주측에 비하여 1주측의 치아 이동속도가 느린 것으로 나타났다. 그 이유는 이 시기의 1주측 발치와가 파골세포에 반응하지 않는 육아조직, 결합조직 또는 골양조직이기 때문으로 추정된다. 석회화 정도에 따른 치아이동 속도를 언급한 Reitan과 Rygh²⁵⁾도 골양조직에서는 파골세포에 의해 골흡수가 전혀 이루어지지 않고, 무층골에서 가장 골흡수가 빠르며 그 다음이 층판골이라고 보고한 바 있다. 반면 4주측 발치와는 이미 골양조직 시기를 지난 것으로 추정되는 바 1주측보다 빠른 이동을 보였다. 한편 견인 2주와 4주 사이에는 4주측 치아보다 1주측 치아의 이동속도가 빠른 것으로 나타났는데 이는 1주측 발치와에서는 골양조직이 무층골로 바뀌어 파골세포에 의한 골흡수에 빠르게 반응한 반면 4주측 발치와에서는 1주측에 비해 석회화가 더욱 진전되었기 때문으로 생각된다.

12주간의 실험기간 동안 견인 4주와 6주 사이에 가장 빠른 치아이동을, 이 후 이동 속도가 감소하는 양상을 보였다. 4주에서 6주 사이는 양측 모두 비슷한 속도로 가장 빨리 진행되었는데 둘 다 진행성 치아이동 시기로서 석회화가 덜 된 발치와 부위에 위치하고 있기 때문으로 추정된다. 4주에서 6주 사이 장치의 탈락이 일어난 실험동물 3의 이동거리는 감소하였고 재조정 후 다시 실험을 진행하였을 때 0.1 mm 정도로 적은 이동이 나타났다. 이는 장치의 탈락으로 인한 재발로 흡수된 골조직에 신생골이 형성되고 이로 인해 치아이동이 일정기간 지연된 결과로 생각된다.²⁵⁾

6주에서 12주 사이의 치아이동 속도는 다양하게 나왔으나 1주측과 4주측 치아 모두 속도가 감소되는 양상을 보였다. 1주측의 경우에는 치아가 이동한 거리가 발치와를 이미 지난 상태로 발치와 부위보다 단단한 층판골이 존재하기 때문으로 추정되며, 4주측의 경우에는 1주측에 비해 이동거리가 적어 발치와를 지났는지 여부는 확실하지 않지만 발치와에 치아가 있다 할지라도 Roberts³⁾에 의해 밝혀진 성견의 골재형성 시기인 12주에 근접한 바 상당량 석회화가 이루어졌기 때문으로 생각된다.

실험기간 12주 동안 총이동 거리는 1주측 치아가 4주측에 비해 크게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 Murphey⁶⁾의 실험은 조기에 교정력을 적용한 치아의 이동이 더 늦은 것으로 보고하여 본 연구와 상이한 결과를 보였는데 이러한 차이는 발치 후 즉시와 7주에 상부자를 장착하고 sectional appliance로 2주 또는 4주마다 재조정하는 방법을 사용하는 등 상이한 교정력 적용 시기와 서로 다른 교정력 적용 방법에 기인한 것으로 사료된다. 그러나 임상연구를 통하여 치아 이동을 비교한 Häsler 등⁷⁾은 조기에 교정력 적용 시 치아 이동이 더 빠른 양상을 보인다고 보고하여 본 연구와 동일한 결과를 나타내었다.

교정력 적용 시기에 따라 빠른 치아이동을 얻었다 할지라도 치아나 주위 조직에 부작용이 존재하면 이상적인 치아이동이 될 수 없는 바 이를 확인하기 위하여 제 2절치와 주위 조직의 절편을 만들어 1주측과 4주측의 조직 소견을 비교하였다. 본 연구의 조직소견 검사 결과 1주측과 4주측 모두 전형적인 치아이동 소견을 보였으며 두드러진 손상소견이 나타나지 않았다. Murphey⁶⁾는 교정력 조기 적용이 치근 흡수 등 치아에 해로운 영향을 끼친다고 보고한 반면 본 연구에서는 오히려 한 실험동물의 4주측 치아에서 흡수소와가 나타났으며 1주측에서는 어떠한 유해한 소견도 발견되지 않아 성견을 사용하여 발치 직후와 12주의 소견을 비교한 Diedrich와 Wehrbein⁸⁾의 연구와 유사한 결과를 보였다.

발치 후 교정력 적용시기를 1주와 4주로 구분하여 비교한 결과 1주에 적용한 경우에서 유해 소견없이 빠른 치아이동을 보여 임상적으로 발치 후 교정력 적용은 조기에 하는 것이 치료기간 단축면에서 유리한 것임을 알 수 있었다. 그러나 발치와의 창상 치유 과정을 연구한 여러 연구들^{26,27,32,34)}을 종합하여 보면, 성견에서 골양조직은 5일 정도에서 형성되기 시작하고 충관골은 약 3주에 형성되는 반면, 인체에서는 골양조직은 1주, 충관골은 6주에 형성된다고 하여 3주의 발치와 상태는 성견의 9-10일 상태와 같고 14주의 발치와 상태는 성견의 8주 상태와 같다고 하였다.²⁷⁾ 따라서 본 연구결과를 임상에 적용시에는 성견과 사람에서의 치유속도 차이를 고려하여야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 실험동물 수가 적어 통계처리를 시행하지 않았으나 차후 보다 많은 동물을 대상으로 실험을 시행하여 통계적으로 검증하는 것도 필요하리라 생각한다.

결론

성견을 실험대상으로 상악 좌우 제 3절치를 3주 간격으로 각각 발치하고, 양 견치를 고정원으로 제 2절치의 치체이동을 위한 장치를 장착한 후 100 gm의 지속적인 힘을 내는 견인 스프링을 사용하여 발치 후 4주와 1주부터 좌우 제 2절치를 각각 12주간 동시에 견인하였다. 2주 간격으로 디지털 캘리퍼스를 이용하여 이동거리를 측정, 비교하고 실험에 사용된 좌우 제 2절치 주위의 조직소견을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 교정력 적용 후 처음 2주간에는 발치 후 4주에 견인한 치아가, 그 다음 2주간에는 발치 후 1주에 견인한 치아가 빠르게 이동하는 양상을 보였다.
2. 12주간의 실험기간 동안 견인 4주와 6주 사이에 가장 빠르게 이동하는 경향을, 이후에는 이동 속도가 감소하는 양상을 보였다.
3. 실험기간 동안 이동한 전체 거리는 발치 후 4주에 비해 1주에 견인한 경우에서 크게 나타나는 경향을 보였다.
4. 발치 후 4주에 견인한 경우에 비하여 1주에 견인한 경우에서 유해한 조직소견이 나타나지 않았다.

이상의 결과는 발치 후 교정력 부여 시 조기 적용이 유리함을 시사하였다.

참고문헌

1. Baumrind S. A reconsideration of the pressure-tension hypothesis. *Am J Orthod* 1966 ; 55 : 12-22.
2. Davidovitch Z, Finkelson MD, Steigman S, et al. Electric currents, bone remodeling, and orthodontic tooth movement I. *Am J Orthod* 1980 ; 77 : 14-32.
3. Roberts WE et al. Bone physiology: evaluation of bone metabolism. *J Am Dent Assoc* 1991 ; 122 : 59-61.
4. Mostafa YA, Weeks-Dybvig M, Obdoby P. Orchestration of tooth. *Am J Orthod* 1983 ; 83 : 245-50.
5. Utley RK. The activity of alveolar bone incident to orthodontic tooth movement as studied by oxytetracycline-induced fluorescence. *Am J Orthod* 1968 ; 54 : 167-201.
6. Murphey WH. Oxytetracycline microfluorescent comparison of orthodontic retraction into recent and healed extraction sites. *Am J Orthod* 1970 ; 58 :

- 215-39.
7. Häsler R, Schmid G, Ingervall B, Gebauer U. A clinical comparison of the rate of maxillary canine retraction into healed and recent extraction sites - a pilot study. *Eur J Orthod* 1997 ; 19 : 711-9.
 8. Diedrich P, Wehrbein H. Orthodontic retraction into recent and healed extraction sites. A histologic study. *Fortschr Keiferorthop* 1997 ; 58 : 90-9.
 9. 이기현, 황현식. 치아이동 후 고정방법이 성견 치주인대 섬유유의 재배열에 미치는 영향. *대치교정지* 1997 ; 27 : 825-37.
 10. Bumann A, Carvalho RS, Schwarzer CL, Yen EHK. Collagen synthesis from human PDL cells following orthodontic tooth movement. *Eur J Orthod* 1997 ; 19 : 29-37.
 11. Reitan K. Clinical and histologic observations on tooth movement during and after orthodontic treatment. *Am J Orthod* 1967 ; 53 : 721-45.
 12. Yagishita H, Iwatsubo S, Aoba T. Confocal laser scanning microscopic studies on alveolar bone remodeling with orthodontic tooth movement and retention. *Scanning Microsc* 1995 ; 9 : 781-8.
 13. Reitan K. Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1960 ; 46 : 881-900.
 14. Rygh P, Bowling K, Hovlandsdal L, Williams S. Activation of the vascular system: a main mediator of peridontal fiber remodeling in orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1986 ; 89 : 453-68.
 15. Tanne K, Sakuda M, Burstone CJ. Three-dimensional finite element analysis for stress in the periodontal tissue by orthodontic force. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1987 ; 92 : 499-505.
 16. Burstone CJ. The biophysics of bone remodeling during orthodontics - optimal force considerations. In: Norton LA, Burstone CJ. editors. *The biology of tooth movement*. Boca Raton: CRC Press; 1989. p. 321-33.
 17. Quinn RS, Yoshikawa DK. A reassessment of force magnitude in orthodontics. *Am J Orthod* 1985 ; 88 : 252-60.
 18. Reitan K. Effects on force magnitude and direction of tooth movement on different alveolar bone types. *Angle Orthod* 1964 ; 34 : 244-55.
 19. Pilon JJGM, Kuijpers-Jagtman AM, Maltha JC. Magnitude of orthodontic forces and rate of bodily tooth movement. An experimental study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1996 ; 110 : 16-23.
 20. Smith RJ, Burstone CJ. Mechanics of tooth movement. *Am J Orthod* 1984 ; 85 : 294-307.
 21. Dyer GS, Harris EF, Vaden JL. Age effects on orthodontic tooth movement: adolescents contrasted with adults. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1991 ; 100 : 523-30.
 22. Midgett RJ, Shaye R, Fruge JF. The effect of altered bone mechanism on orthodontic tooth movement. *Am J Orthod* 1981 ; 80 : 256-62.
 23. Cillin MK, Sinclair PM. The local use of Vitamin D to increase the rate of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1988 ; 94 : 278-84.
 24. Roberts WE. Bone physiology, metabolism, and biomechanics in orthodontic practice. In: Graber TM, Vanarsdall RL Jr, editors. *Orthodontics; current principles and techniques*. second edition, St Louis: Mosby; 1994. p. 193-234.
 25. Reitan K, Rygh P. Biomechanical principles and reactions. In: Graber TM, Vanarsdall RL Jr, editors. *Orthodontics; current principles and techniques*. second edition, St Louis: Mosby; 1994. p. 96-192.
 26. Amler MH. The time sequence of tissue regeneration in human extraction wounds. *J Oral Surg* 1969 ; 27 : 309-18.
 27. 김정균, 이춘근. 발치창의 치유에 관한 실험적 연구. *대한치과의사협회지* 1992 ; 10 : 289-96, 389-99.
 28. Follin ME, Ericsson I, Thilander B. Occurrence and distribution of root resorption in orthodontically moved premolars in dogs. *Angle Orthod* 1986 ; 56 : 164-75.
 29. Miura F, Mogi M, Ohura Y, Karibe M. The superelastic Japanese NiTi alloy coil springs. *Am J Orthod* 1986 ; 86 : 89-96.
 30. Reitan K. Tissue rearrangement during retention of orthodontically rotated teeth. *Angle Orthod* 1959 ; 29 : 105-13.
 31. Reitan K, Kvam E. Comparative behavior of human and animal tissue during experimental tooth movement. *Angle Orthod* 1971 ; 41 : 1-14.
 32. Amler MH, Johnson PL, Salman I. Histological and histochemical investigation of human alveolar socket healing in undisturbed extraction wounds. *J Am Dent Assoc* 1960 ; 61 : 32-44.
 33. Simpson HE. The healing of extraction wounds. *Br Dent J* 1969 ; 126 : 550-7.
 34. Claflin RS. Healing of disturbed and undisturbed extraction wounds. *J Am Dent Assoc* 1936 ; 23 : 945-59.

- ABSTRACT -

Mode of tooth movement according to the timing of orthodontic force application after extraction

Sung-Ho Han, Hyeon-Shik Hwang

Department of Orthodontics, College of Dentistry, Chonnam National University

This study was performed to compare and analyze the mode of tooth movement according to the timing of orthodontic force application after extraction.

The upper right and left third incisors were carefully extracted at three-week interval in four adult dogs. Both canines were used as an anchorage for the bodily movement of the upper second incisors. Orthodontic force of 100 gm was simultaneously applied at one week after extraction on one side and four weeks after extraction on the other side using NiTi closed coil spring. While orthodontic force was applied for twelve weeks, the amount of tooth movement was measured at every second week with digital calipers. The animals were sacrificed at twelve weeks and histologic examination was executed to reveal any difference between both sides.

The results were obtained as follows :

1. The tooth movement was likely to be faster in four-week side than one-week side for the first two weeks while faster in one-week side during next two weeks
2. The rate of tooth movement was fastest during four to six weeks period, then decreased gradually.
3. The total amount of tooth movement was likely to be larger in one-week side compared to four-week side.
4. Any damage to tooth and periodontal tissue could not be seen in the histologic section of one-week side.

These results suggest that earlier application of orthodontic force is better than later after extraction in terms of the rate of tooth movement.

KOREA. J. ORTHOD. 2000 ; 30 : 9-17

※ **Key words** : Extraction, Timing of force application, Tooth movement, Adult dog