

# BRACKET과 호선의 금속유리

부산대학교 치과대학 교정학교실

박수병 · 이병태

## I . 서 론

금속성 교정장치는 전해질이 있는 곳에서 부식을 일으켜 금속성분이 유리되며 그 결과로 장치의 기계적 성질과 형태에 변화가 일어난다고 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 특히 은 납착 연결부위에서 부식이 잘 발생하여 금속이 유리되고 표면형태가 변화되며 강도가 감소된다고 하였다.<sup>2)</sup> Metal base가 있는 bracket은 금속유리에 의하여 범랑질의 영구적인 변색을 일으킬 수도 있고 신체의 과민반응을 일으키기도 한다는 보고가 있다.<sup>1-3)</sup> 그리고 호선의 열처리와 bracket의 재생과정 등에 의하여 금속성분의 유리가 증가된다고 알려져 있다.<sup>2)</sup>

정형외과에서 사용하는 강철 매식물과 악안면 구강외과에서 수술시 사용하는 선재에서 유리된 금속성분때문에 과민반응이 유발되기도 하며<sup>4,5)</sup> 구강내 교정장치와 headgear를 사용하는 환자에서 접촉성 피부염이 발생하였다는 보고가 있다.<sup>6,7)</sup> 만성염증이 있는 부위의 강철 매식물에서 부식이 잘 일어나는데 이는 염증부위에서 생성된 유산이 산성환경을 형성하기 때문이라고 한다. 염화물의 농도가 상당히 높고 산소농도가 인접 부위와 서로 다르며 산도가 낮은 환경에서는 부동태를 유지하기 위하여 필요한 스테인레스 강의 산화막이 불안정해지고 crevice corrosion이 잘 발생한다고 하였다.<sup>8)</sup> 이와 같은 상황은 산도가 낮은 치태와 염화물이 풍부한 타액이 존재하는 구강내의 환경과 유사하다고 할 수 있다.

치과계에서는 구강내 환경의 특성 때문에 금속 부식에 대한 관심이 일찍부터 인지되었고 귀금속 합금을 사용하여 부식문제를 해결하고자 하였다. Greener 등<sup>9)</sup>은 교정장치의 부식저항은 구강내에서 사용되는 금속성 교정장치를 선택할 때 고려하여야 할 중요한 요소라고 주장하였다. 또 이것이 교정장치를 제작하는데 사용되는 합금의 종류에 한계를 두는 이유중의 하나이다. 부식저항이란 측면에서는 전통적인 금 합금이 가장 우수하지만 강도가 약하고 가격이 비싸기 때문에 현재는 많이 사용되지 않고 크롬, 티타늄, 몰리브덴등을 포함시켜 부식저항도를 높인 합금을 사용하고 있다. 그러나 이러한 합금들도 구강내에서 부식을 일으켜 금속이 유리되는 문제를 초래하고 있다. 교정장치의 부식은 일련의 좋지 못한 임상적인 결과를 초래할 수 있다. Toms<sup>10)</sup>는 부식이 교정장치의 부피를 감소시키거나에 적용되는 힘을 감소시키며 응력이 집중되는 부위에 부식이 발생하면 장치가 파절될 수 있다고 하였다. 그리고 장치의 부식에 의하여 생성된 부식산물의 독성이 주위의 조직이나 체내로 흡수되는 것은 바람직 하지 못하다. 이와 같이 교정장치의 금속유리가 교정치료의 결과 및 전신적 건강상태에 영향을 미칠것으로 알려져 있음에도 불구하고 이에 대한 관심이 비교적 부족하고 특히 유리되는 금속성분을 실험을 통하여 정량 분석한 보고는 거의 없었다. 이에 저자는 각 선재별로 제작한 모조 교정장치를 사용하여 bracket과 호선으로부터 유리되는 금속성분을 정량 분석하고 각 선재별로 비교 분석하였다.

## II. 실험재료 및 방법

Buccal tube와 제1대구치, 제1, 2소구치, 겸치, 하악 측절치와 중절치 bracket을 사용하여 하악궁의 편측에 해당하는 모조 교정장치를 각 선재별로 제작하였다(그림1). Bracket은 미국 강철 협회가 제정한 type 304로 제작된 Tomy사 제품이 있으며 선재는 Permachrome (standard), Elgiloy(semi-resilient), Australian wire, T.M.A.와 Nitinol을 사용하였다(표1).

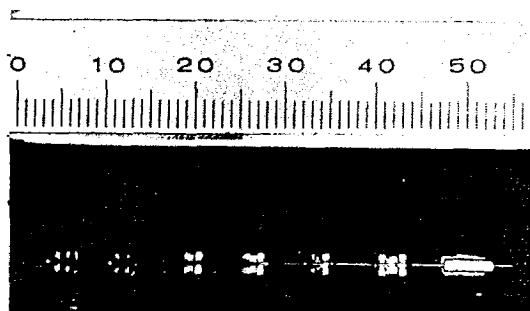


Fig. 1. Simulated mandibular half-arch used to measure nickel and chromium in artificial saliva.

Bracket과 선재들은 열처리나 다른 가공을 하지 않고 사용하였다. 먼저 bracket과 선재를 아세톤으로 씻은 후 중류수로 2-3회 세척하고 말린 다음 교정용 접착 레진을 사용하여 bracket의 mesh를 외부와 차단시켰다. 지름이 0.016"인 각 선재를 55mm의 길이로 절단한 다음 elastomeric unit로 bracket에 결찰하였다. 뚜껑이 있는 200ml 용량의 polyethylene용기 60개를 절산으로 세척하고 중류수로 다시 세척하여 말린 다음 각각의 용기에 인공타액(표2)100ml 씩을 담고 다섯 종류의 선재별로 10개씩 제작된 모조 교정장치를 각각의 용기에 하나씩 넣어 실험군으로 하였다. 나머지 10개의 용기에는 동량의 접착용 레진과 elastomeric unit만 넣어 대조군으로 삼았다. 이들을 37°C에서 천천히 진동시켰다. 3, 6, 9, 12일에 각 용기에서 4ml의 인공타액을 채취하여 유리된 니켈과 크롬의 양을 측정하였으며 각 용기에 동량의 새로운 인공타액을 다시 추가하였다. 실험이 끝나는 15일째는 4ml의 인공타액을 채취하여 니켈과 크롬의 유리량을 측정하고 나머지는 13,000r.p.m.으로 원심분리시켜 침전물을 수집하였다. 이들을 인공타액으로 세척한 뒤 85°C에서 하룻밤동안 건조시킨 다음 질산( $\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 5$ )에 녹여 불용성인 니켈과 크롬의 양을 측정하였다. 채취한 4

Table 1. The study materials

Product	Type	Manufacturer	Approx. composition, %
Permachrome Standard	Fe-Cr wire	Unitek Corp., Monrovia, Calif., USA	Fe 70, Cr 19, Ni 9 Mn 2, Si 1, C 0.08
Elgiloy Semi-resilient	Co-Cr wire	Rocky Mountain/Orthodontics, Denver, Col., USA	Co 40, Cr 20, Ni 15, Fe 15 Mn 2, Ni 7, C 0.15
T.M.A.	Beta-titanium	Ormco Corp., Glendora, Calif., USA	Mo 11.3, Zr 6.6, Sn 4.3 Ti 77.8
Nitinol	Ni-Ti wire	Unitek Corp., Monrovia, Calif., USA	Ni 55, Ti 45
Australian	Fe-Cr wire	Tp Laboratories, Inc., La Porte, Indiana USA	Cr 18, Ni 8

ml의 인공타액은 질산( $\text{HNO}_3$  :  $\text{H}_2\text{O}=1:5$ ) 36 ml와 섞어 약 10ml가 남을 때까지 hot plate(약 180°C)에서 30분 정도 농축한 후 이 용액을 정확히 10ml가 되도록 하여 가용성 니켈과 크롬의 양을 측정하였다. 인공타액 내로 유리된 니켈과 크롬의 양은 원자흡광 분광광도법(atomic absorption spectrophotometry)으로 측정하였다. 니켈은 flame 법(Shimadzu, AA-670, Japan)으로 측정하고 크롬은 flameless 법

**Table 2.** The composition of artificial saliva\*

KCL	0.4g
NaCl	0.4g
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.795g
$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.78g
$\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	0.005g
Urea	1g
Distilled water	1000ml

\*pH 5.1 \*the method used at Indiana University

**Table 3.** Flame conditions of Shimadzu Atomic Absorption/Flame Emission Spectrophotometer AA-670

	Fuel Gas	Support Gas
Gas	$\text{C}_2\text{H}_2$	Air (oxidant)
Flow rate	1.7 l/min	8 l/min
Pressure	0.5 kg/cm	2.5 kg/cm

(Perkin-Elmer 2380, U.S.A)으로 측정하였다. 연료는 공기와 아세틸렌이 혼합된 가스(Air- $\text{C}_2\text{H}_2$ )를 사용하였다. Graphite furnace의 변수 및 불꽃과 기계의 상태는 표 3, 4, 5와 같았다.<sup>12-14)</sup>

### III. 실험 성적

Nitinol을 제외한 선재에서는 니켈의 누계가 6일 후에 정체되는 현상을 보였으나 Nitinol에서 유리된 니켈의 누계는 지속적으로 증가하였다(그림2). Permachrome, Australian wire, Elgiloy에서 유리된 크롬의 누계는 6일 후에 정체되는 현상을 보였으나 Nitinol과 T.M.A.는 서서히 증가하는 현상을 보였다(그림3). 15일 후 유리되어 용해된 니켈의 총량은 Permachrome이  $113.63\mu\text{g}$ , Elgiloy가  $151.43\mu\text{g}$ , Australian wire는  $148.80\mu\text{g}$ , T.M.A.는  $93.28\mu\text{g}$ , Nitinol은  $131.35\mu\text{g}$ 이었다(표6). 크롬의 총량은 Permachrome이  $97.55\mu\text{g}$ , Elgiloy

**Table 5.** The Condition of Atomic Absorption Spectrophotometer

	Ni	Cr
Wave length	232.0nm	357.9nm
Slit width	0.15nm	0.7nm
HC lamp current	4mA	25mA
Sample volume		20 $\mu\text{l}$

**Table 4.** Graphite furnace parameters for chromium determination

Step	Temperature (°C)	Ramp time (sec.)	Hold time (sec.)
Dry	120	30	30
Ash	1200	20	20
Atomize <sup>a</sup>	2500	1	5
Clean	2700	1	5

a; Internal argon flow; 50ml/min

가  $79.98\mu\text{g}$ , Australian wire는  $81.48\mu\text{g}$ , T.M.A.는  $12.15\mu\text{g}$ , Nitinol은  $14.55\mu\text{g}$ 이었다(표7). 실험군에서 3일째부터 흰색 침전물이 육안으로 관찰되기 시작하였다.

15일간 축적된 침전물을 수집하여 측정한 결과 니켈은 Permachrome에서  $1.14\mu\text{g}$ , Elgiloy에서  $0.73\mu\text{g}$ , Australian wire에서  $1.47\mu\text{g}$ , T.M.A.에서  $0.36\mu\text{g}$ , Nitinol에서  $3.49\mu\text{g}$ 이었다(표6). 크롬은 Permachroem에서  $4.91\mu\text{g}$ , Elgiloy에서  $1.63\mu\text{g}$ , Australian wire에서  $2.17\mu\text{g}$ , T.M.A.에서  $0.27\mu\text{g}$ , Nitinol에서  $0.35\mu\text{g}$ 이었다(표7). 15일 후에 용액속으로 유리된 니켈과 침전물속에 존재하는 니켈의 총량은 Permachrome에서  $114.77\mu\text{g}$ , Elgiloy에서  $152.16\mu\text{g}$ , Australian wire에서  $150.27\mu\text{g}$ , T.M.A.에서  $93.64\mu\text{g}$ , Nitinol에서  $134.74\mu\text{g}$ 이었으며(표6) 용액속으로 유리된 크롬과 침전물 속에 존재하는 크롬의 총량은 Permachrome에

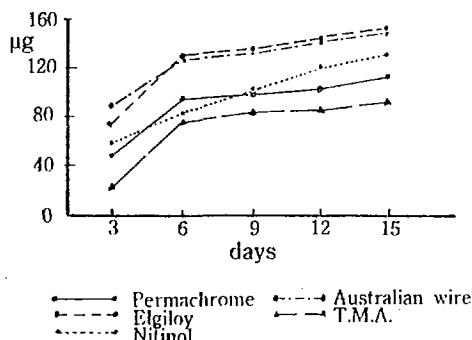


Fig. 2. Ni released/sample

서  $102.46\mu\text{g}$ , Elgiloy에서  $81.61\mu\text{g}$ , Australian wire에서  $83.65\mu\text{g}$ , T.M.A.에서  $12.42\mu\text{g}$ , Nitinol에서  $14.9\mu\text{g}$ 이었다(표7).

유리된 니켈의 총량은 Elgiloy에서 가장 많았으며 두번째는 Australian wire인데 이들은 Permachrome( $P<0.05$ ), T.M.A. ( $P<0.01$ )와 유의한 차이가 있었다. 그 다음은 Nitinol, Permachrome, T.M.A. 순으로 적었으며 Nitinol은 T.M.A.와 유의한 차이가 있었다( $P<0.01$ ). 유리된 크롬의 총량은 Permachrome에서 가장 많았으며 그 다음은 Australian wire, Elgiloy순이었으며 이들 상호 간에는 유의한 차이가 없었으나 Nitinol, T.M.A.와 유의한 차이가 있었다( $P<0.01$ ). 대조군에서는 니켈과 크롬이 검출되지 않았다. 실험이 종료된 후 시편을 육안으로 관찰하였을 때 광택이 소실된 것외 다른 변화는 없었다.

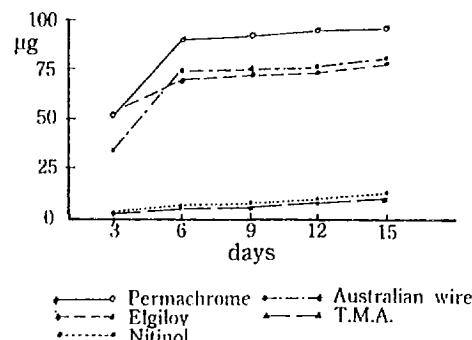


Fig. 3. Cr released/sample

Table 6. Cumulative amounts of nickel released from mandibular half-arch orthodontic appliances after 15 days in artificial saliva. (n=10)

Form of nickel	Permachrome (μg)	Elgiloy (μg)	Australian (μg)	T.M.A. (μg)	Nitionol (μg)
Soluble	$113.63 \pm 34.48$	$151.43 \pm 28.00$	$448.80 \pm 20.08$	$93.28 \pm 26.16$	$131.25 \pm 29.66$
Precipitated	$1.14 \pm 0.47$	$0.73 \pm 0.45$	$1.47 \pm 0.53$	$0.36 \pm 3.02$	$3.49 \pm 1.12$
Total	$114.67 \pm 34.48$	$152.15 \pm 28.00$	$150.27 \pm 19.77$	$93.39 \pm 26.05$	$134.74 \pm 29.73$

No measurable quantities of nickel were released from control appliances.

주석 mean  $\pm$  S.D.

**Table 7.** Cumulative amounts of nickel released from mandibular half-arch orthodontic appliances after 15 days in artificial saliva. (n=10)

Form of chromium	Permachrome ( $\mu\text{g}$ )	Elgiloy ( $\mu\text{g}$ )	Australian ( $\mu\text{g}$ )	T.M.A. ( $\mu\text{g}$ )	Nitionol ( $\mu\text{g}$ )
Soluble	97.55 $\pm$ 21.49	79.98 $\pm$ 25.15	81.48 $\pm$ 21.70	12.15 $\pm$ 4.03	14.55 $\pm$ 2.99
Precipitated	3.28 $\pm$ 1.61	1.63 $\pm$ 1.40	2.17 $\pm$ 1.24	0.28 $\pm$ 2.46	0.35 $\pm$ 2.89
Total	100.83 $\pm$ 20.89	81.61 $\pm$ 24.87	83.64 $\pm$ 22.06	12.43 $\pm$ 4.05	14.90 $\pm$ 2.84

No measurable quantities of chromium were released from control appliances.

주석 mean  $\pm$  S.D.

#### IV. 고 안

교정용 bracket에 사용되는 스테인레스강은 철, 크롬, 니켈이 탄화물과 같은 고용체내에 존재하는 austenite합금이라고 하였다. 미국 철강 협회(American Iron & Steel Institute) 제정의 강철 규격에는 type 303, 304, 304L, 316L이 있는데 번호가 증가할수록 탄소의 양이 감소하며 이에 따라 austenite합금에서 부동태의 성질이 증가한다고 하였다. 그리고 type 316합금에 몰리브덴이 첨가되면 부식저항이 더욱 증가된다고 하며 망간, 규소, 인산, 황과 같은 다른 요소들을 포함시켜 특수한 성질을 증가시킨다고 하였다.<sup>15)</sup> Type 302, 304는 스테인레스 강으로 만들어지며 구성성분은 크롬(18~20%), 니켈(8~10%) 그리고 소량의 망간과 규석, 탄소(0.1% 미만)인 것으로 알려져 있다.<sup>16~17)</sup> 교정영역에서 사용되는 호선의 종류는 크게 네 가지로 분류할 수 있는데 스테인레스 강인 Permachrome(Fe-Cr)는 stiffness가 높고 조작성이 좋으며 가격도 저렴하다. Elgiloy(Co-Cr)의 탄성은 강철 호선과 유사하지만 조작성이 좋고 열처리를 하여 강도를 증가시킬 수 있다는 점이 강철 호선과 다르다.<sup>2,18)</sup> T.M.A. (beta-titanium)는 티타늄이고 농도로 함유되어 있기 때문에 부식에 대한 저항성이 높은 것으로 알려져 있다.<sup>19)</sup> Nitinol(Ni-Ti)은 Stiffness가 낮고 작용범위가 넓으며 탄성이 좋은 것으로 알려져 있다.<sup>20)</sup>

부식은 금속화합물을 형성하기 위해 금속과 주위환경과의 상호작용으로 일어나는 일종의 화학반응이라고 알려져 있다. 대부분의 금속은 안정된 상태로 존재하던 광석에 많은 에너지가 가해진 불안정한 상태라고 한다. 그러므로 금속은 부식에 의해서 안정된 상태로 되돌아가려 한다.<sup>20,21)</sup> 이것의 일반적인 기전은 산소와 접촉되는 강철표면에서 형성된 산화크롬과 수산화크롬으로 이루어져 있는 부동층(passivated layer)이 소실되기 때문인 것으로 알려져 있다. 수용성 부식(aqueous corrosion) 즉 습식은 구강내에서 일어날 수 있으며 전기화학적 반응에 의해 발생된다. 여기에 포함되는 것으로 galvanic corrosion이 가장 흔히 볼 수 있는 형태이다. Galvanic corrosion은 응력이 서로 다른 부위에서도 발생하는데 기계적인 비틀림과 과도한 냉간작업으로 응력의 차이가 생기면 호선과 band 또는 bracket의 뒤틀린 부위가 더욱 양극성으로 되어 부식이 촉진된다고 한다. 그리고 재료의 구성성분이 다를 때 합금은 마치 두 종류의 금속이 존재하는 것처럼 전기화학적으로 작용하여 부식을 일으키기도 하며 전해질의 구성성분이 다를 때 동질의 금속이나 합금에서도 전해질의 농도가 서로 다른 부위에서 부식이 일어난다.

<sup>20)</sup> 금속 입자사이에 탄소가 침전되어 발생하는 결정입자 부식(intergranular corrosion)이 있는데 이것의 기전은 호선을 400~900°C (800~1200°F)로 가열하면 탄소가 크롬과 반응하여 탄화 크롬(CCr<sub>4</sub>)이 형성되어 석출되므로 크롬의

부동효과가 감소되어 금속입자 사이에서 부식이 일어나는 것이다. 그리고 이런 상태를 예민화(sensitization)되었다고 한다.<sup>2,22~24)</sup> 금속표면의 양극부위에 전해질이 작용하여 아주 미세한 균열을 형성하는데 이 부위에서 발생하는 부식을 crevice corrosion이라고 한다. 스테인레스 강인 교정용 bracket에서 특히 이런 형태의 부식이 잘 일어난다. 염화물과 같은 할로겐 이온에 의해 금속표면의 금속이온들이 전해질 속으로 유리됨으로써 형성되는 공식(pitting corrosion)이 있다.<sup>20,21)</sup> 인공타액이 전해질 역할을 하고 서로 다른 금속성분 및 합금이 공존하므로 본 실험의 모조 교정장치에서 발생한 부식은 galvanic corrosion, 결정입계 부식, crevice corrosion 및 공식이 혼합된 수용성 부식으로 생각된다.

전해질 역할을 하는 타액은 부식을 초래하는 주 원인이며 서로 다른 금속사이에서 화학반응을 일으키는 매개물이다. 미생물이 만들어 낸 유기산과 효소가 원인이 될 수 있으며 구강내 상주하는 군주가 부식을 증가시키기도 한다. 산소 및 이산화탄소와 같은 기체의 선택적인 반응으로 부식이 증가되며 산소농도가 인접 부위와 서로 다를 때 부식이 일어나기 쉽다. 낮은 산도, 급격한 온도 변화, 치태, 단백질, 타액의 양과 질 등이 부식을 일으키는 요소로 작용한다. 여러 가지 면에서 볼 때 구강은 금속과 합금의 수용성 부식이 일어나기 좋은 이상적인 환경이다. 이러한 구강상태와 유사한 조건에서 실험을 하기 위해 인공타액을 전해질로 사용하였으며 시편을 37°C에 저장하였다.

부식으로 인하여 교정장치의 기계적 성질과 형태가 변화한다. 교정장치에 부식이 일어나면 금속이 유리되어 표면의 변화가 초래되고 강도와 연성이 감소하며 선재의 부피가 감소되어 치아에 작용하는 힘이 감소된다고 하였다. 그리고 응력이 집중되는 부위에서 금속이 파절되기도 한다.

Ceen과 Gwinnet<sup>3)</sup> 및 Maijer<sup>17,25~27)</sup>는 bracket 제거 후에도 지워지지 않는 검푸른색의 치아변색에 대해 보고하면서 이는 bracket의 부식과 관계가 있다고 주장하였다. Bracket은 타액과 접촉되는 부위에서 전해질 용해가 일어나는 것은

물론 bracket과 base가 납작된 부위에서도 산소 농도의 차이와 서로 다른 성질의 재료 때문에 galvanic corrosion이 일어날 수 있다. 그리고 slot의 내면 부위는 호선과 접촉되면서 거칠어져 부식이 일어나며 base의 변연부위에 부착된 치태가 산소농도를 저하시켜 이 부위에 부식을 일으킨다. Buchaman 등<sup>25,28,29)</sup>은 재생된 bracket에서 금속유리가 더 많이 일어난다고 하였다.

니켈이 금속에 의해 유발되는 알러지성 접촉성 피부염의 가장 흔한 원인으로 알려져 있으며 두 번째로 흔한 원인이 크롬이라고 한다. 크롬은 세포독성이 없는 반면 니켈을 중등도의 세포독성을 나타낸다.<sup>30,31)</sup> Marcussen<sup>32)</sup>은 니켈과 크롬에 대한 예민성은 남자에서 더 높다고 하였다. Fisher<sup>33)</sup> 및 Brandrup과 Larsen<sup>35)</sup>는 니켈이 여성에서 알러지성 접촉성 피부염의 가장 흔한 원인 중의 하나라고 하였으며 Calnan 등<sup>36)</sup>도 니켈이 알러지성 접촉성 피부염을 일으키는 주된 항원이라고 주장하였다. 우 등<sup>37)</sup>은 우리나라의 니켈에 대한 피부염의 양성을 6.1%로 뉴욕 대학에서 발표한 미국인 양성을 11.2%에 비해 낮다고 하였다. Schriver 등<sup>5)</sup>은 비록 니켈이 흔한 항원이며 일상생활에서 자주 접촉하게 되지만 스테인레스 강에 대한 알러지 반응은 드물게 나타난다고 보고하였다.

Gell과 Coombs<sup>38)</sup> 및 Roitt 등<sup>39)</sup>에 의하면 과민성의 형태는 T-세포 매개성 면역반응이라고 하였다. 금속에 의한 접촉성 구내염은 경미한 홍반에서부터 부종과 발적의 형태로 나타난다고 하였다. 그리고 미각소실, 혼몽, 작열감, 채양통등이 나타나며 가끔 구각염이 수반되기도 한다. 교정치료와 연관된 중증의 치은염은 불결한 구강위생이나 접착물질 뿐만 아니라 강철이 부식되는 동안 유리된 니켈과 크롬에 대한 반응으로 나타날 수 있는 것으로 알려져 있다.

금속성 교정장치에서 유리되는 금속의 종류는 니켈, 크롬, 염소, 인, 황, 칼슘등인데 이들 중에서도 니켈과 크롬이 주종을 이루는 것으로 알려져 있다. 이상에서와 같이 니켈과 크롬은 알러지성 접촉성 피부염을 일으키는 주된 요인이며 금속성 교정장치에서 유리되는 금속들 중에서도 주종을 이루므로 본 실험에서는 니켈과 크

름을 측정하였다.

니켈은 대부분 가용성 화합물로 유리되어 용액속에 존재하고 크롬은 불용성 화합물로 유리되어 침전물 형태로 존재한다. Park과 Shearer<sup>1)</sup>에 의하면 이 납착부위에서 제일 먼저 적갈색의 부식이 발생하였다고 하며 적갈색의 침전물은 아마 이 부위에서 부분적으로 분리된 작은 입자와 얇은 조각으로 구성된 불용성 크롬화합물인 것 같다고 보고하였다. 본 실험에서 제작한 보조 교정장치는 납착한 부위가 없었으므로 적갈색의 침전물을 관찰되지 않았고 흰색의 침전물이 미량 관찰되었다. 이는 접착용 레진으로부터 미세하게 파열된 미립자로 추정되었다. 실험이 끝난 후 침전물을 수거하여 분석한 결과 Permachrome, Elgiloy와 Australian wire에서는 크롬이 더 많았으나 T.M.A.와 Nitinol에서는 니켈이 더 많이 검출되었다.

스테인레스 강과 코발트-크롬 합금과 같은 크롬 함유 합금들은 전기화학적으로 형성된 부동태 때문에 부식이 잘 일어나지 않는다. 특히 크롬이 금속표면에 산화크롬을 형성하여 변색과 부식으로부터 금속을 보호한다고 한다. 그러나 인공타액 내에서는 부식이 일어나 상당량의 금속이 유리되었다. 유리된 니켈의 양을 각 선재 별로 비교해 보면 Elgiloy, Australian wire, Nitinol, Permachrome, T.M.A.순이다. Elgiloy는 Australian wire를 제외하고 나머지 선재와는 유의한 차이가 있었다. Elgiloy가 Permachrome보다 유리된 니켈의 양이 더 많은 것은 Gjerdet와 Hero<sup>2)</sup>가 가공하지 않은 상태에서 철-크롬 선재와 코발트-크롬 선재에서 유리되는 금속의 양을 측정한 결과 코발트-크롬 선재에서 니켈의 유리가 더 많았다는 것과 일치한다. T.M.A.는 고농도로 함유되어 있는 티타늄의 광범위한 전기화학적 부동태 때문에 부식 저항도가 높으며 선재에는 니켈이 포함되어 있지 않고 bracket내에만 포함되어 있으므로 유리된 니켈의 양도 제일 작았다. 15일째 Nitinol에서 유리된 니켈의 양이 Elgiloy와 Australian wire보다 작았지만 다른 선재들은 6일째부터 금속의 유리가 정체되는 양상을 보였으며 Nitinol은 지속적으로 증가하는 양상을 보였다.

Sarcar과 Schwaninger<sup>4)</sup>는 Permachrome, Elgiloy, T.M.A., Nitinol을 potentiodynamic cyclic polarization을 하여보니 다른 선재보다 Nitinol에서 부식경향이 가장 크게 나타났다고 하였다. 그러나 전기화학적 검사와 액침 검사의 결과를 비교하기는 어렵다. 왜냐하면 전기화학적 검사는 구강내 상태와 비교하여 비현실적으로 너무 높은 전위를 적용하기 때문이다. Edie 등<sup>24)</sup>은 임상에 적용되었던 Nitinol과 스테인레스 강의 표면부식정도를 비교한 결과 별 차이가 없었다고 하였다. 15일 동안 유리된 크롬의 양은 Permachrome에서 제일 많았으며 그 다음 Australian wire, Elgiloy순으로 적어졌으며 상호간에 유의한 차이는 없었다.

Nitinol과 T.M.A.에서 유리된 크롬의 양이 제일 적었는데 이는 호선 구성성분에는 크롬이 포함되어 있지 않고 bracket내에만 크롬이 포함되어 있기 때문인 것으로 사료된다. Nitinol군에서 크롬이 좀 더 많이 유리되었으나 T.M.A.와 유의한 차이는 없었다. bracket과 호선에서 유리되는 금속의 양은 구성성분의 조성비에 반드시 비례되지 않고 제작과정과 열처리의 차이 및 구성성분 간의 상호작용에 의해 상당한 차이가 있었다. 전대환 교정장치를 장착한 환자의 구강내에서 하루동안 유리되는 니켈과 크롬의 양을 실험군에서 얻은 자료를 토대로 추정해보면 니켈의 평균 유리량은 Elgiloy로 제작한 장치에서 40.58 $\mu$ g, Australian wire가 포함된 장치에서 40.04 $\mu$ g, Nitinol이 포함된 장치에서 35.93 $\mu$ g, Permachrome이 포함된 장치에서는 30.61 $\mu$ g, T.M.A.이 포함된 장치에서 24.95 $\mu$ g이었으며 크롬의 하루 평균 유리량은 Permachrome이 포함된 장치에서 27.32 $\mu$ g, Elgiloy가 포함된 장치에서 21.67 $\mu$ g, Nitinol이 포함된 장치에서 3.97 $\mu$ g, T.M.A.가 포함된 장치에서 3.31 $\mu$ g이었다. 미국인 기준으로 매일 음식물로 섭취하는 니켈은 300-500 $\mu$ g이며 크롬은 5-100 $\mu$ g이다. 그러므로 교정장치에서 유리되는 니켈과 크롬의 양은 매일 음식물로 섭취하는 양보다 적으며 대부분의 환자에게서 임상적인 중요성은 없는 것 같다. 그러나 임상의는 금속이온의 유리가 구강내 연조직에서 국소적인 과민반응을 유발시킬

수 있다는 것을 알고 있어야 한다. 그러므로 사전에 금속에 대한 과민반응의 병력이 있었는지 확인하고 과거 병력이 있다면 첨포시험을 통한 과민성의 정도를 확인해 보아야 할 것으로 사료된다.

## V. 결 론

저자는 인공타액내에서 bracket과 호선으로 구성된 교정장치로 부터 유리되는 금속이온 중 니켈과 크롬의 양을 측정하기 위하여 Permachrome, Elgiloy, Australian wire, T.M.A., Nitinol과 미국 강철협회 type 304로 각각 10개씩 만든 교정장치를 이용하여 니켈과 크롬의 양을 측정하고 각 선재별로 비교하였다. 3, 6, 9, 12, 15일이 경과한 뒤 각 실험군에서 유리된 금속이온의 누적량과 침전물에 포함된 금속이온의 양을 측정하여 유리된 총량을 구하고 전대환 장치에서 매일 유리되는 평균량을 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 인공타액 속으로 유리된 니켈의 총량은 Elgiloy 가  $152.16\mu\text{g}$  으로 가장 많았고 Australian wire가  $150.27\mu\text{g}$ , Nitinol이  $134.74\mu\text{g}$ , Permachrome이  $114.77\mu\text{g}$  이었으며 T.M.A. 가  $94.64\mu\text{g}$  으로 가장 적었다.

2. 인공타액 속으로 유리된 크롬의 총량은 Permachrome이  $102.46\mu\text{g}$  으로 가장 많았고 Australian wire가  $83.65\mu\text{g}$ , Elgiloy가  $81.61\mu\text{g}$ , Nitinol이  $14.90\mu\text{g}$  이었으며 T.M.A. 가  $12.42\mu\text{g}$  으로 가장 적었다.

3. 미국 철강 협회가 제정한 type 304의 bracket과 Australian wire로 제작한 전대환 장치에서는 하루에 평균 니켈  $40.04\mu\text{g}$  과 크롬  $22.30\mu\text{g}$  이 유리되며 Elgiloy로 만든 장치에서는 하루 평균 니켈  $40.59\mu\text{g}$  과 크롬  $21.76\mu\text{g}$  이 유리되고 Permachrome으로 만든 장치에서는 하루 평균 니켈  $30.61\mu\text{g}$ , 크롬  $27.32\mu\text{g}$  이 유리되며 Nitinol로 만든 장치에서는 하루 평균 니켈  $35.93\mu\text{g}$  과 크롬  $3.97\mu\text{g}$  이 유리되고 T.M.A.로 만든 장치에서는 하루 평균 니켈  $24.91\mu\text{g}$  과 크롬  $3.31\mu\text{g}$  이 유리되었다.

## REFERENCES

1. Park, H.Y. and Shearer, T.R., In vitro release of nickel and chromium from simulated orthodontic appliance, Am. J. Orthod., 84, 156, 1983.
2. Gjerdet, N.R. and Herø, H., Metal release from heat-treated orthodontic archwire, Acta. Odontol. Scand., 45, 409, 1987.
3. Ceem R.F. and Gwinnett A.J., Indelible iatrogenic staining of enamel following debonding, J. Clin. Orthod., 15, 713, 1980.
4. 노 주영, 오 칠환, 김 수남, 금속판을 이용한 골절치료후 발생한 알러지성 접촉피부염 1예, 대한피부과학회지, 26, 23, 1988.
5. Schriver, W.R., Shereff, R.H., Domnitz, J.M., Swintak, E.F. and Civjan S., Allergic response to stainless steel wire, Oral Surg., 42, 578, 1976.
6. Levy, A., Hanau, D. and Foussereau, J., Contact dermatitis in children, Contact Dermatitis, 6, 260, 1980.
7. Greig, D.G.M., Contact dermatitis reaction to a metal buckle on a cervical headgear, Br. Dent. J., 155, 61, 1983.
8. Weisman, S., Metals for implantation in the human body, Ann. N.Y. Acad. Sci., 146, 80 1968. (Cited from reference 15).
9. Greener, E.H., Harcourt, J.K. and Lautenschlager, E.P., Materials science in Dentistry, (Baltimore: The Williams and Wilkins Co., 1972), p. 352.
10. Toms, A.P., The corrosion of orthodontic wire, European J. Orthod., 10, 87, 1988.
11. 이 수일, 부산의 일부 지역 중 대기 중 부유 분진의 성분에 관한 조사(1), 부산의 사회지, 제24권, 68, 1988.
12. Introduction manual of Shimadzu atomic

- absorption/flame emission spectrophotometer AA-670, (Kyoto: Shimadzu Corp., 1986) p. 1.
13. Techniques in graphite furnace atomic absorption spectrophotometry (Norwalk: Perkin-Elmer Corp., 1985).
  14. McAughay, J.J. and Smith, N.J., Automated direct determination of chromium in blood and in urine by electrothermal atomic absorption spectrometry, *Analytica Chimica Acta*, 193, 137, 1987.
  15. Gwinnett, A.J., Corrosion of resin-bonded orthodontic brackets, *Am. J. Orthod.*, 81, 441, 1982.
  16. Phillips, R.W., Skinner's science of dental materials, 8th ed. (Philadelphia: Saunders W.B. Co., 1982), p. 602.
  17. Maijer, R. and Smith, D.C., Corrosion of orthodontic brackets, *Am. J. Orthod.*, 81, 43, 1982.
  18. Fillmore, G.M. and Tomlinson, J.L., Heat treatment of cobalt-chromium alloy wire, *Angle Orthod.*, 46, 187, 1976.
  19. Goldberg, J. and Burston, C.J., An evaluation of beta-titanium alloys for use in orthodontic appliances, *J. Dent. Res.*, 58, 593 (1979).
  20. Combe, E.C., Notes on Dental Materials, 4th ed. (Edinburgh: Churchill Livingstone, 1981), p. 72.
  21. Fusayama, T., Katayori, T., and Nomoto, S., Corrosion of gold and amalgam placed in contact with each other, *J. Dent. Res.*, 42, 1183, 1963.
  22. Thurow, R.C., edgewise orthodontics, 4th ed. (ST. LOUIS: The Mosby C.V. Co., 1982), p. 51.
  23. 박 창지, 열처리한 재생 금속 bracket의 인장강도와 물리적 변화에 대한 연구, *대한치과교정학회지*, 15, 261. 1985.
  24. Edie, J.W., Andreasen, G.F., and Eaytoun, M.P., Surface corrosion of nitinol and stainless steel under clinical conditions, *Angle Orthod.*, 51, 319, 1981.
  25. Maijer, R. and Smith, D.C., Biodegradation of the orthodontic bracket system, *Am. J. Orthod.*, 90, 195, 1986.
  26. Maijer, R. and Gwinnett, A.J., Unpublished data (Cited from reference 15).
  27. Berge, M. and Gjerdet, N.R., Corrosion of silver soldered orthodontic wires, *Acta Odontol. Scand.*, 40, 75 1982.
  28. Buchman, D.J.L., Effects of recycling on metallic direct-bond orthodontic brackets, *Am. J. Orthod.* 77, 654, 1980.
  29. Hixson, M.E., Brantley, W.M., Pincsak, J.J. and Conover, J.P., Changes in bracket slot tolerance following recycling of direct-bond metallic orthodontic appliance, *Am. J. Orthod.*, 81, 447, 1982.
  30. Kawata, Y., Shiota, M., Tsutsui, H., Yoshida, Y., Sakaki, H. and Kinouchi, Y., Cytotoxicity of Pol-Co dental casting ferromagnetic alloy, *J. Dent. Res.*, 60, 1403, 1981.
  31. 유 회준, 은 회철, 김 원석, Nickel dermatitis2 예 대한피부과학회지 16, 1331. 1978.
  32. Marcussen P.V., Ecological considerations on nickel dermatitis, *Brit. J. Industr. Med.*, 17, 65, 1960. (Cited from reference 7).
  33. Fisher, A.A., Contact dermatitis, 3rd ed. (Philadelphia: Lea and Febiger Publishers, 1986), p. 745.
  34. 황 영희, 국 흥일, Nickel sulfate에 의한 주부습진 1예, 대한피부과학회지, 18, 625. 1980.
  35. Brandrup, F. and Larsen, F.S., Nickel dermatitis provoked by buttons in blue jeans, *Cont. Derm.*, 5, 148, 1979.
  36. Calan, C.D., Boudmann, H.J. and Cronin, E., Hand Dermatitis in housewives, *Brit.*

- J. Dermatol., 82, 543, 1970.
37. 우 태하, 국 흥일, 조 길연, 박 윤기, 한국인의 알러지성 접촉성 피부염 환자에 대한 임상적 고찰, 대한피부과학회지, 10, 77, 1972.
38. Gell, P.G. and Coombs, R.R.A., Clinical aspects of immunology, 2nd ed. (Philadelphia: David F.A. Corp., 1969) (Cited from reference 15).
39. Roitt, I.M., Brostoff, J. and Mall, D.K., Immunology, 1st ed. (ST. LOUIS: The Mosby C.V. Co., 1985), p. 19. 1.
40. Sarkar, N.K. and Schwaninger B., The in vivo corrosion of nitinol wire, J. Dent. Res., 59A, 373 (1981).

**- ABSTRACT -**

**METAL RELEASE FROM BRACKETS AND ARCHWIRES**

Rhee Byung Tae, D.D.S., M.S.D., Ph. D., Park Soo Byung, D.D.S.

*Dept. of Orthodontics, College of Dentistry, Pusan National University*

The purpose of this experiment was to measure the amounts of nickel and chromium released from a simulated orthodontic appliance in artificial saliva. Simulated mandibular half-arch orthodontic appliances were composed of American Iron and Steel Institute type 304 brackets, Permachrome, Elgiloy, Australian wire, T.M.A. and Nitinol.

The amounts of nickel and chromium released from sample were measured with atomic absorption spectrophotometer after 3, 6, 9, 12, 15 days. The cumulative amounts of nickel released from Permachrome, Elgiloy, Australian wire and T.M.A. reached a plateau after 6 days. But the cumulative amounts of nickel released from Nitinol increased continuously.

Significant amounts of both nickel and chromium were solubilized from the simulated orthodontic appliances into artificial saliva. After 15 days, total cumulative amounts of nickel were  $152.15\mu\text{g}$ ,  $150.27\mu\text{g}$ ,  $134.74\mu\text{g}$ ,  $114.67\mu\text{g}$  and  $93.39\mu\text{g}$  from the Elgiloy, Australian wire, Nitinol, Permachrome and T.M.A., respectively. Total cumulative amounts of chromium from Permachrome, Australian wire, Elgiloy, Nitinol and T.M.A. were  $100.83\mu\text{g}$ ,  $83.64\mu\text{g}$ ,  $81.61\mu\text{g}$ ,  $14.90\mu\text{g}$  and  $12.43\mu\text{g}$ , respectively. The result showed that nickel released from Elgiloy and chromium released from Permachrome were more than any others.