

연마방법에 따른 금속의 활택도에 관한 연구 - Atomic Force Microscope를 이용한 -

경희대학교 치과대학 치과보철학 교실

박원규 · 우이형 · 최부병 · 이성복

I. 서 론

수복 치과학의 목적은 자연치열의 기능, 건강, 외형을 수복하고 유지하는 것이다. 이러한 목적을 위해 치과영역에서 금속은 수복재료로 널리 사용되고 있다. 금속의 표면 활택도는 연마방법에 크게 영향을 받으며 금속의 거친면은 치태축적과 유지를 조장하여 금속부식, 치아우식, 치은염증을 초래¹⁻⁷⁾할 수 있으며 대합치의 교합면 교모 가능성⁸⁾, 비심미성 그리고 환자에게 불편감을 증가¹¹⁾시킬 수 있다. 따라서 치과 수복물을 구강내에 장착하기 전에 활택한 표면을 얻기위해 일련의 마무리, 연마과정이 반드시 필요하며⁹⁻¹²⁾ 수복물의 변연이 치은과 근접한 경우에 특히 중요하다.¹¹⁾

1959년 Troxell⁹⁾은 금합금의 연마술식 방법과 연마시에 거친 연마재에서 시작한 후 점차 더 미세한 연마재로 바로 전 단계의 흠집이 남지 않을 때까지 일련의 연마순서로 진행해야 한다고 보고 하였고 현재에도 이러한 연마술식과 원칙을 일반적으로 따르고 있다. Keenan⁶⁾은 금합금의 연마방법에 따라 표면이 거칠수록 치태가 잘 축적되고 rouge로 최종 연마한 경우에 치태축적이 가장 적었지만 연마방법에 상관없이 모든 연마된 표면은 구강위생 관리가 안되면 시간이 경과될수록 치태가 축적된다고 하였다. 그리고 금속, 도재, 레진의 표면 거칠기를 상호비교한다수의 보고가 있었다.

그러나 대부분이 표면 거칠기와 치주질환과의 상관관계¹⁻⁷⁾에 중점을 두었고 연마술식 방법에 따른 주

조체의 표면 거칠기와 귀금속과 비귀금속의 표면 활택도에 대한 비교, 평가는 거의 없었다.

이에 본 연구는 원자단위까지 표면구조를 3차원으로 형상화할 수 있고 동시에 정량적인 분석이 가능한 Atomic Force Microscope(AFM)¹³⁻²⁰⁾을 이용하여 치과 수복재료로 널리 사용되고 있는 귀금속 합금계열의 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금과 비귀금속 합금계열의 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금을 일련의 연마순서로 연마한 각 금속의 표면과 치아 법랑질, 도재 그리고 레진 표면의 연마 정도를 비교, 관찰하였다. 그리고 본 연구를 통해 AFM이 다른 기구가 갖지 못한 많은 장점을 가져 치의학 분야 연구에서 유용하다는 것과 금속의 활택한 표면을 얻기위해 일련의 마무리, 연마과정의 중요성을 보여주고자 했다.

II. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 귀금속 계열의 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금과 비귀금속 계열의 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금을(Table I) 사용하였고 치아는 상악 우측 중절치의 편평한 순면 법랑질을 사용하였다. 레진과 도재는 본 교실에서 이전에 AFM을 이용한 자료를 이용하였다. 도재는 VITA Ω상아질 분말을 소성한 후 자가 글레이징 했고, 레진은 전장관용 레진인 Cecead를 Al₂O₃ disc(Sof-

Table I . Metals used in this study

	Metal	Product name	Manufacturer
precious metals	Type III gold alloy	Baker-3	Heesung Engelhard, Korea
	Ceramic gold alloy	Degudent	Degussa, Germany
	Ag-Pd alloy	Pallig M	Degussa, Germany
non-precious metals	Co-Cr alloy	Wisil	Krupp, Germany
	Ni-Cr alloy	Ceradium	Matech Inc., U.S.A.
	Co-Cr-Ti alloy	Crutanium	Krupp, Germany

Table II . Finishing and polishing materials used in precious metals

	Material	Product name	Manufacturer
A	sandblaster	Hi-Blaster	Shofu, Japan
B	stone	carborundum point	Kodeco, Germany
C	brown rubber	brown silicone point HP	Shofu, Japan
D	green rubber	green silicone point HP	Shofu, Japan
E	rouge	vigor compounds PS-309	B. Jadow & Sons, U.S.A.

Table III . Finishing and polishing procedures tested in precious metals

Group	Procedures
1	A
2	A+B
3	A+B+C
4	A+B+C+D
5	A+B+C+D+E

Table IV . Finishing and polishing materials used in non-precious metals

	Material	Product name	Manufacturer
A	sandblaster	Dentastrahl	Krupp, Germany
B	hard stone	White stone	Sunil ceramic Ind., Korea
C	electrolytic polisher	Dentalux2	Krupp, Germany
D	brown hard rubber point	brown	Dentaurum, Germany
E	green hard rubber point	"green" clasp polishers	Dedeco, U.S.A.
F	rouge	rouge	Krupp, Germany

Lex Pop-On, 3M Dental Products, U.S.A.)로 연마했다.

귀금속에 사용한 연마재료는 sandblaster, stone, brown rubber, green rubber, rouge였고(Table II) 비

귀금속에 사용한 연마재료는 sandblaster, hard stone, electrolytic polisher, brown hard rubber point, green hard rubber point, rouge였다(Table IV).

Table V. Finishing and polishing procedures tested in non-precious metals

Group	Procedures
1	A
2	A+B
3	A+B+C
4	A+B+C+D
5	A+B+C+D+E
6	A+B+C+D+E+F

2. 연구방법

1) 시편제작

10×10×1mm의 baseplate wax를 유리판에 접촉시켜 가능한 편평하게 만들어 통범대로 주입선을 달고 제조회사의 지시대로 매몰, 소환하여 귀금속 계열인 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금은 각각 5개씩, 비귀금속 계열인 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금은 각각 6개씩 각각의 금속으로 구조하여 금속 시편을 제작했다(Fig. 1).

치아 시편은 발치한 상악 우측 중절치의 편평한 순면을 레진에 포매하여 10×10×1mm의 1개 시편을 만든 후 범랑질 표면을 pumice(fine, Moyco Inc., U.S.A.)로 연마한 후 증류수에 보관하였다(Fig. 1).

2) 연마

귀금속 각각의 5개 시편을 순차적으로 연마한 후 Table III와 같이 5개 군으로 나누었다. 비귀금속 역시 6개 시편을 Table V와 같이 순차적으로 연마한 후 6개 군으로 나누었다.

귀금속을 연마할 때 각 시편의 표면을 광택이 없어질 때까지 45초 동안 sandblaster를 사용하였고, stone, brown rubber, green rubber, rouge 각각 180초 동안 20,000rpm의 일정한 속도로 회전하는 micromotor(New strong surgical engine, Sae shin machinery Co., Korea)를 이용하여 동일한 치과 의사가 연마하였다. 그리고 연마 단계마다 새로운 연마재료를 사용하였고 증기세척기(steam cleaner, Shofu, Japan)를 사용하여 이전 연마재의 잔여물을 제거하였다. 그리고 비귀금속은 정도가 귀금속 보다

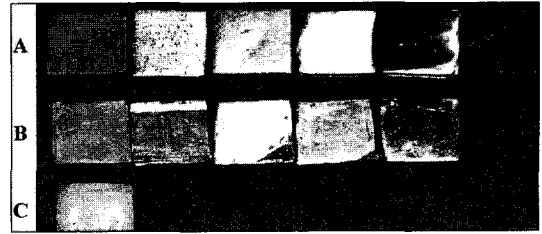


Fig. 1. An example of sample used in this study

- A. Co-Cr alloy
- B. Type III gold alloy
- C. Enamel

더 크기 때문에 더 강한 연마재료를 사용하여 29,000rpm의 일정한 속도로 회전하는 high-speed polishing motor(Whip-mix, U.S.A.)를 이용하여 귀금속을 연마한 방법과 같은 술식으로 연마하였다. 비귀금속 연마시에만 있는 electropolishing은 비귀금속으로 만든 가철성 부분의 치 구조물의 조직면을 활택하게 하여 더 이상의 다른 연마를 시행하지 않게 하여 구조체의 정확성에 손상을 주지 않는 연마술식으로서 산용액내에 5분 동안 담구었다.

3) Atomic Force Microscope 분석

AFM은 AutoProbe CP(Park Scientific Instruments, U.S.A.)를 사용하였다(Fig. 2). AutoProbe CP에서 scanning한 정보를 형상화하기 위한 workstation은 66MHz, 256KB cash memory, 16MB RAM의 486 processor를 사용하였으며, 작동 시스템은 Windows 3.1(Microsoft Cor., U.S.A.)였다. 모니터는 super VGA graphics이 내장된 17"Trinitron(Sony, Japan)를 사용하였다.

AFM 관찰을 위하여 5 μ m scanner와 cantilever에 0.5-0.01N/m의 폭넓은 force constants를 갖는 silicon nitride(Si₃N₄) 팁을 사용하였다. 접촉 모드(contact mode)와 일정 높이 모드(constant height mode)에서 관찰하였고, scan 크기는 가로, 세로 각각 3 μ m, scan rate는 평균 2.00Hz, scan시 가해지는 힘은 평균 31.27N였으며, data 크기는 256×256 pixels이었다.

AFM의 force sensor는 spring cantilever 끝에 길이가 100-200 μ m, 100Å 이하의 직경을 가진 팁(Si₃N₄)이 부착되어 있는 spring deflection system

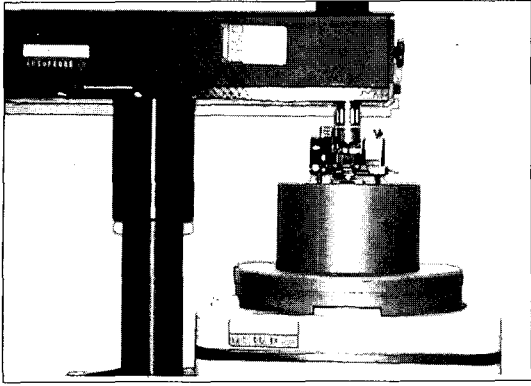


Fig. 2. Atomic Force Microscope used in this study

이고 이 팁이 시편을 주사할 때 팁과 표면 사이에 van der Waals 힘이 작용하여 cantilever를 굴곡시킨다. 이것은 cantilever 뒷면에서 입사되는 레이저의 굴곡으로 photodetector에서 감지되어 원자단위의 수준으로 물질의 표면구조를 3차원으로 형상화 할 수 있고 표면의 변화양상을 실시간으로 관찰할 수 있다 (Fig. 3).

먼저 각 시편을 AutoProbe CP에 달려있는 광학현미경으로 200배로 확대하여 모니터하에서 활택한 4부분을 임의로 정해 정밀 측정, 관찰하였다. 관찰된 상은 3차원으로 재구성하였고 프로그램상에 있는 region analysis를 이용하여 평균 표면 거칠기 수치를 구하였다. 평균 표면 거칠기의 수학적 의미는 아래와 같다.

$$R_{ave} = \sum_{n=1}^N \frac{Z_n - \bar{Z}}{N}, \quad \bar{Z} = \text{mean Z height}$$

4) 유의성 검증

ANOVA test와 Tukey's Studentized Range(HSD) test를 사용하여 연마술식에 따른 각 금속에 대한 표면 활택도를 비교하였고, 각 연마술식별로 귀금속 계열의 세 금속과 비귀금속 계열의 세 금속의 표면 활택도를 각각 비교하였다. 그리고 각 금속의 가장 활택한 표면과 치아 범랑질, 도재, 레진의 표면 활택도를 비교하였다.

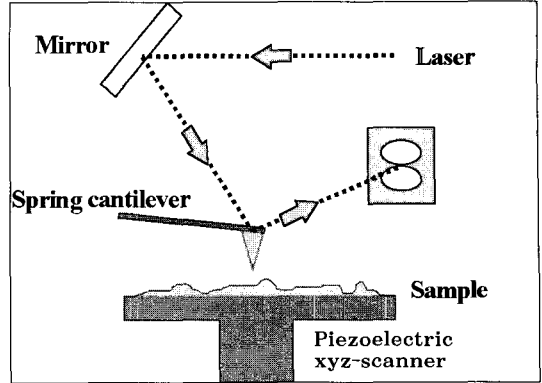


Fig. 3. Schematic of optical-deflection technique for detecting cantilever deflection

III. 연구성적

정성적, 정량적 분석이 동시에 가능한 AFM을 이용하여 치아 범랑질, 레진, 도재와 각 연마방법에 따른 귀금속, 비귀금속의 평균 표면 거칠기 (Table VI, VII)를 구하였고, 동시에 3차원 AFM 형상 (Fig. 4-10)을 얻었다.

1. 연마술식에 따른 각 금속에 대한 표면 활택도의 비교

- ① Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금 모두 1군에서 5군으로 갈수록 표면이 활택해지고 통계학적으로 유의차가 있었다 ($P < 0.01$). Tukey grouping 결과 1군은 2, 3, 4, 5군과 통계학적으로 유의차가 있었지만 1군을 제외한 다른 군들간에는 유의차가 없었다 (Table VIII, Fig. 4, 5, 6).
- ② Co-Cr 합금에서는 1군에서 6군으로 갈수록 표면이 활택해지고 통계학적으로 유의차가 있었다 ($P < 0.01$). Tukey grouping 결과 1, 2, 3군간에는 통계학적으로 유의차가 있었지만 4, 5, 6군간에는 유의차가 없었다 (Table IX, Fig. 7).
- ③ Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금에서는 1군에서 6군으로 갈수록 표면이 활택해지고 통계학적으로 유의차가 있었다 ($P < 0.01$). Tukey grouping 결과 1, 2군간에는 통계학적으로 유의차가 있었지

Table VI. Average roughness of the precious metals according to finishing and polishing procedures (unit: Å)

Group	Type III gold alloy		Ceramic gold alloy		Ag-Pd alloy	
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
1	2779.75	1175.36	3731.50	610.07	2452.75	1334.54
2	1318.75	451.24	768.75	232.52	555.75	103.45
3	343.00	95.76	533.25	110.13	254.50	62.15
4	295.50	95.61	362.75	30.61	179.75	32.35
5	243.00	66.24	222.00	53.87	116.00	18.20

Table VII. Average roughness of the non-precious metals according to finishing and polishing procedures (unit: Å)

Group	Co-Cr alloy		Ni-Cr alloy		Co-Cr-Ti alloy	
	mean	S.D.	mean	S.D.	mean	S.D.
1	1654.25	154.11	2280.81	737.71	2890.00	981.67
2	1035.50	145.45	897.00	32.01	1262.25	471.56
3	586.00	41.15	612.00	92.24	540.00	107.89
4	264.75	41.19	312.25	94.05	350.50	28.69
5	170.50	38.09	162.75	42.74	228.50	120.45
6	61.75	10.24	57.50	20.01	67.00	16.27

Table VIII. Comparison of average roughness of precious alloys according to finishing and polishing procedures

Group	Type III gold alloy		Ceramic gold alloy		Ag-Pd alloy	
	mean(Å)	Tukey grouping	mean(Å)	Tukey grouping	mean(Å)	Tukey grouping
1	2779.75	A	3731.50	A	2452.75	A
2	1318.75	B	768.75	B	555.75	B
3	343.00	B	533.25	B	254.50	B
4	295.50	B	362.75	B	179.75	B
5	243.00	B	222.00	B	116.00	B

Tukey's Studentized Range(HSD) test for variable Means with the same letter are not significantly different.

만 3, 4, 5, 6군간에는 유의차가 없었다(Table IX, Fig. 8, 9).

2. 각 연마술식별로 귀금속에 대한 표면 활택도의 비교(Table X)

① 1군에서는 도재용 금합금, Type III 금합금,

Ag-Pd 합금 순으로 표면이 활택하였지만 세 금속 간에는 통계학적으로 유의차가 없었다.

② 2군에서는 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금 순으로 표면이 활택하였고 통계학적으로 유의차가 있었다(P<0.05). Tukey grouping 결과 Type III 금합금과 도재용 금합금간에는 통계학적으로 유의차가 없었지만 Type III

Table IX. Comparison of average roughness of non-precious alloys according to finishing and polishing procedures

Group	Co-Cr alloy		Ni-Cr alloy		Co-Cr-Ti alloy	
	mean(Å)	Tukey grouping	mean(Å)	Tukey grouping	mean(Å)	Tukey grouping
1	1654.25	A	2280.81	A	2890.00	A
2	1035.50	B	897.00	B	1262.25	B
3	586.00	C	612.00	B C	540.00	B C
4	264.75	D	312.25	B C	350.50	B C
5	170.50	D	162.75	C	228.50	C
6	67.75	D	57.50	C	67.00	C

Tukey' s Studentized Range(HSD) test for variable Means with the same letter are not significantly different.

Table X. Comparison of average roughness of the precious metals according to each finishing and polishing procedure

Group		mean(Å)	Tukey grouping	
Group 1	Ceramic gold alloy	3731.50	A	
	Type III gold alloy	2779.75	A	
	Ag-Pd alloy	2452.75	A	
Group 2	Type III gold alloy	1318.75	A	
	Ceramic gold alloy	768.75	A	B
	Ag-Pd alloy	555.75	B	
Group 3	Ceramic gold alloy	533.25	A	
	Type III gold alloy	343.00	B	
	Ag-Pd alloy	254.50	B	
Group 4	Ceramic gold alloy	362.75	A	
	Type III gold alloy	295.50	A	B
	Ag-Pd alloy	179.75	B	
Group 5	Type III gold alloy	243.00	A	
	Ceramic gold alloy	222.00	A	
	Ag-Pd alloy	116.00	B	

Tukey' s Studentized Range(HSD) test for variable Means with the same letter are not significantly different.

Table XI . Comparison of average roughness of the non-precious metals according to each finishing and polishing procedure

		mean(Å)	Tukey grouping
Group 1	Co-Cr-Ti alloy	2890.00	A
	Ni-Cr alloy	2280.81	A
	Co-Cr alloy	1654.25	A
Group 2	Co-Cr-Ti alloy	1262.25	A
	Co-Cr alloy	1035.50	A
	Ni-Cr alloy	897.00	A
Group 3	Ni-Cr alloy	612.00	A
	Co-Cr alloy	586.00	A
	Co-Cr-Ti alloy	540.00	A
Group 4	Co-Cr-Ti alloy	350.50	A
	Ni-Cr alloy	312.25	A
	Co-Cr alloy	264.75	A
Group 5	Co-Cr-Ti alloy	228.50	A
	Co-Cr alloy	170.50	A
	Ni-Cr alloy	162.75	A
Group 6	Co-Cr-Ti alloy	67.00	A
	Co-Cr alloy	61.75	A
	Ni-Cr alloy	57.50	A

Tukey's Studentized Range(HSD) test for variable
Means with the same letter are not significantly different.

- 금합금과 Ag-Pd 합금간에는 유의차가 있었다.
- ③ 3군에서는 도재용 금합금, Type III 금합금, Ag-Pd 합금 순으로 표면이 활택하였고 통계학적으로 유의차가 있었다($P<0.01$). Tukey grouping 결과 도재용 금합금과 Type III 금합금, Ag-Pd 합금간에는 통계학적으로 유의차가 있었지만 Type III 금합금과 Ag-Pd 합금간에는 유의차가 없었다.
 - ④ 4군에서는 도재용 금합금, Type III 금합금, Ag-Pd 합금 순으로 표면이 활택하였고 통계학적으로 유의차가 있었다($P<0.01$). Tukey group-

- ing 결과 도재용 금합금과 Type III 금합금간에는 통계학적으로 유의차가 없었지만 도재용 금합금과 Ag-Pd 합금간에는 유의차가 있었다.
- ⑤ 5군에서는 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금 순으로 표면이 활택하였고 통계학적으로 유의차가 있었다($P<0.05$). Tukey grouping 결과 Type III 금합금과 도재용 금합금간에는 통계학적으로 유의차가 없었지만 Type III 금합금, 도재용 금합금과 Ag-Pd 합금간에는 유의차가 있었다.

Table XII. Comparison of average roughness in high polishing stage

Group	Procedures	
	mean(Å)	Tukey grouping
Tooth	343.50	A
Type III gold alloy	243.00	B
Ceramic gold alloy	222.00	B
Ag-Pd alloy	116.00	C
Resin	97.25	C
Co-Cr-Ti alloy	67.00	C D
Co-Cr alloy	61.75	C D
Ni-Cr alloy	57.50	C D
Porcelain	5.43	D

Tukey's Studentized Range(HSD) test for variable Means with the same letter are not significantly different.

3. 각 연마술식별로 비귀금속에 대한 표면활택도의 비교(Table XI)

1, 2, 3, 4, 5, 6군 모든 군에서 Co-Cr-Ti 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr 합금 순으로 표면이 활택하였지만 통계학적으로 유의차는 없었다.

4. 각 금속의 가장 활택한 표면과 치아, 도재, 레진의 표면 활택도의 비교(Table XII, Fig. 10)

도재가 표면이 가장 활택하였고 Ni-Cr 합금, Co-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금, 레진, Ag-Pd 합금, 도재용 금합금, Type III 금합금, 치아 범랑질 순으로 표면 활택도는 감소하였고 통계학적으로 유의차는 있었다($P < 0.01$). Tukey grouping 결과 치아와 Type III 금합금, 도재용 금합금간에는 통계학적으로 유의차가 있었지만 Type III 금합금과 도재용 금합금간에는 유의차가 없었다. 그리고 레진, Ag-Pd 합금간에는 통계학적으로 유의차가 없었지만 레진, Ag-Pd 합금과 도재간에는 유의차가 있었다.

IV. 총괄 및 고찰

지난 수 십년동안 주조체의 표면 활택도에 관해 선학들의 관심을 끌었지만 대부분이 표면 거칠기와 치

주질환과의 상관관계^{9-6,21,22)}에 중점을 두었고 연마술식 방법에 따른 주조체의 표면 거칠기⁹⁾와 귀금속과 비귀금속의 표면 활택도에 대한 비교, 평가는 거의 없었다. 주조체의 표면 활택도 연구는 일반적으로 stylus profilometer를 이용하여 표면 거칠기를 측정^{4,10,23,24)}하였고, 표면양상은 주사전자 현미경^{3,10,23,25)}으로 관찰하였다. 이와 같은 방법으로는 동일 표면에 대한 정성적, 정량적 분석을 동시에 하는 것은 불가능하였다.

1986년 Binnig, Quate, Gerber는 scanning force microscope로 알려져 있는 Atomic force microscope(AFM)를 개발했다. AFM이전에는 profilometer, topografiner, scanning tunneling microscope가 있었고 AFM¹³⁻²⁰⁾은 비전도체의 생물학적 시편을 관찰하는데 한계점을 보인 scanning tunneling microscope(STM)를 개선시킨 것이다.

AFM은 공기, 높은 진공상태 그리고 수용액 조건에서 원자단위 혹은 분자단위 수준으로 전도체, 비전도체 시편의 표면구조를 관찰할 수 있고, 전자현미경으로 얻을 수 있는 유사한 해상력으로 생화학, 생리적 과정을 실시간으로 관찰할 수 있으며, 분자단위의 수준으로 힘을 측정할 수 있어 생물학, 전기화학 분야까지 적용범위를 넓혔다. 치과분야에 AFM을 이용한 선학들의 보고로서 Cassinelli와 Morra¹⁷⁾는 상아질 접착제와 치아 경조직의 상호작용을 연구하는데 있어서 AFM을 이용하였고, Marshall 등^{18,19)}은 1993년 AFM을 이용하여 상아질에 산처리 한 후 변화의 초기단계를 연구하였고, 1995년 탈회제를 사용하여 상아질의 conditioning process의 초기단계를 연구하였다. 1997년 김등²⁰⁾은 AFM을 이용하여 연마방법에 따른 복합레진의 활택도에 관한 연구내용을 발표하여 치아 및 수복재료의 표면관찰에 AFM이 유용하다는 것을 보여 주었다.

동일한 치과의사가 연마정도에 영향을 미치는 요소, 즉, 연마제 입자의 크기, 연마제 입자의 속도, 연마시간을 동일하게 하여 각각 귀금속과 비귀금속을 연마하였다. 그리고 시편에 일정한 힘을 가해 연마를 시행한 후 연마정도를 비교한 소수의 연구^{23,24)}가 있었지만 임상적으로 금속을 어떤 연마재료로 연마할 때 각각 다르게 압력을 가하여 연마하기 때문에 본 연구에서는 연마시 가하는 압력을 일정하게 하지 않고 연마하는 치과의사의 경험에 의존하여 연마를

시행하였다.

본 연구에서 연마술식에 따라 비교했을 때 귀금속은 1, 2, 3, 4, 5군 순으로, 비귀금속은 1, 2, 3, 4, 5, 6군 순으로 표면 거칠기의 수치는 낮아지고 3차원 형상에서 표면이 활택해지는 것을 볼 수 있었다. 이와 같은 결과는 거친 연마재부터 더 미세한 연마재로 이전의 흠집이 완전히 제거될 때 까지 일련의 순서대로 연마해야 가장 활택한 표면을 얻는다는 선학들의 보고^{9,10,12,26)}를 입증했다. 그러나 rouge로 최종연마한 후에 가장 활택한 표면을 얻었지만 3차원 AFM 형상에서 미세한 흠집이 남아있는 것을 볼 수 있기 때문에 rouge보다 더 고운 입자를 지닌 연마재로 표면을 다시 연마하는 단계가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 고도로 활택한 표면을 얻기 위해 rouge보다 더 고운 연마재의 개발이 필요하리라 사료된다.

Chou와 Pameijer²⁷⁾는 일반적인 연마방법보다 현미경하에서 연마를 시행한 경우 변연의 연마정도 뿐만 아니라 구조체의 정확성에서 유의성있는 증가를 보여주었고, Shafagh³⁾ 역시 현미경하에서 연마한 금관에서 치태가 천천히 형성되고 치태축적이 적었다고 보고했다. 이와 같은 선학들의 연구결과로 육안으로는 고도로 활택된 것 처럼 표면이 보이지만 여전히 제거되어야 할 흠집이 남아 있어 현미경같은 미세한 흠집을 볼 수 있는 기구를 이용한 연마방법이 더 활택한 표면을 얻기 위해 필요하리라 사료된다.

연마술식에 따라 금속의 표면 활택도를 비교했을 때 귀금속의 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금 모두 2, 3, 4, 5군간에 서로 유의차가 없었다. 그리고 비귀금속의 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금에서는 4, 5, 6군간에 서로 유의차가 없었다. 그러나 도중에 어떤 단계를 생략하게 된다면 최종 표면에 물고기 꼬리와 같은 줄무늬를 만들어²⁶⁾ 활택한 표면을 만들기 위해서는 다시 일련의 순서로 연마를 해야만 한다.

연마술식별로 비귀금속의 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금의 표면 활택도를 비교했을 때 모든 군에서 세 금속간에는 유의차가 없었다. 귀금속의 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금을 비교했을 때 1군에서는 세 금속간에 유의차가 없었지만 2, 3, 4, 5군에서는 Type III 금합금과 도재용 금합금간에는 거의 유의차가 없었고, Ag-Pd 합금은

모든 군에서 Type III 금합금과 도재용 금합금보다 더 표면이 활택하였다. 금속 합금을 평가하는데 있어서 조작성 용이성, 구조성, 구조의 정확성, 연마와 마무리의 용이성, 기계적 특성, 부식 저항성, 그리고 생체 적합성을 고려해야 한다. 이러한 관점에서 Ag-Pd 합금²⁸⁻³⁰⁾은 본 연구를 통해 볼 때 금합금보다 더 표면이 활택하게 나타났을 뿐만 아니라, 기계적 특성면에서도 금합금보다 같거나 더 우수하며, 구조술의 발달로 인해 구조성 역시 상당히 개선되어졌고, 부식 저항성과 생체 적합성에서 금합금보다 상당히 뒤떨어지나 최근에는 표면에 금점착제를 도포하여 금합금과 비슷한 수준으로 끌어 올릴수 있어 금합금의 대용으로 사용하는데 큰 문제가 없을 것 같다.

비커스 경도면에서 비귀금속이 귀금속보다 2-3배 더 커서 더 강한 연마재료를 사용하여 비귀금속을 연마해야 했기 때문에 연마정도를 비교한다는 것은 객관성이 부족하지만 가장 활택한 표면을 비교해 보았다. 도재가 가장 활택하였고 그리고 비귀금속, 레진, 귀금속, 치아 법랑질 순으로 표면 활택도가 감소하였다.

연마과정은 연마되는 재료의 물리적, 기계적 특성에 영향을 받을 뿐만 아니라 경도, 강도, 연성, 열전도성 같은 특징도 중요하다. 그래서 표면 활택도는 금속마다 다르고 금합금 같은 연성이 큰 금속은 취성이 큰 금속보다 연마재에 의해 발생하는 표면 상실이 적고, 남겨진 흠집의 한쪽에 금속 융선이 만들어져 결과적으로 경도가 큰 합금은 연성이 큰 금속보다 연마의 저항성이 적다.²⁶⁾ 그리고 경도면에서 귀금속보다 강한 비귀금속을 연마하기는 어려우나 더 오랫동안 광택이 유지된다.^{10,31)} 그리고 Ag-Pd 합금이 금합금보다 더 표면이 활택한 이유 역시 경도와 관련이 있을 것 같다. Moffa등³²⁾은 생체 적합성과 임상 적용에 있어서 베릴륨을 함유하고 있는 비귀금속은 금합금과 유의차가 없고 이 두 금속과 베릴륨을 함유하고 있지 않은 비금속간에는 도재와의 결합력과 부식저항성에 있어서 차이가 있다고 하였다. 비귀금속에 비해 귀금속이 우수한 점을 여러 가지 가지고 있지만 비귀금속의 우수한 기계적 특성과 표면 활택도, 비용 그리고 Moffa등의 연구보고를 고려해 볼 때 귀금속 보다 비귀금속이 상당한 장점을 가지고 있다.

최근에 심미에 대한 환자의 욕구 증진에 따른 심미

수복이 상당히 각광을 받고 있다. 따라서 심미재료인 도재와 레진은 수복재료로 금합금을 대치하고 있는 실정이다. Clayton과 Green⁴⁾, Henry등²⁹⁾은 글레이징된 도재가 다른 금속과의 표면 거칠기와 치태축적을 비교할 때 크게 차이가 없다고 보고하였지만 일반적으로 사용하는 활택된 도재는 가장 생체 적합성이 우수하다고 고려되고 있고 비교적 청소하기가 용이하고 다른 재료보다 치태조절이 용이하다. 본 연구에서 자가 글레이징된 도재와 가장 활택하게 연마된 비귀금속간의 표면 활택도 사이에는 유의차가 없었지만 도재는 가장 활택한 표면을 나타냈다. 이러한 결과는 도재 분말의 개선과 소성술의 발달에 기인했을 것 같다. 레진 역시 우수한 표면 활택도를 얻었지만 시간경과에 따라 쉽게 마모되어 필러가 노출되어 표면이 거칠게 되기 쉽기 때문에 장기간의 표면 관찰이 요구된다.

치아의 법랑질은 기본적으로 법랑소주라는 수산화인회석 기둥으로 이루어져 있다.³⁹⁾ 그러나 이러한 법랑소주의 진행방향은 모든 표면에서 일정한 것이 아니라 비교적 규칙성이 없는 방식으로 주행하고 있다. 특히 치아의 평활면에서 이 법랑소주를 보면 어느 부위는 법랑소주의 정확한 단면이 보이는 것이 있는가 하면, 어느 부위에는 법랑소주의 가로 단면이 보이는 곳도 있다. 이외의 대부분 부위는 일정한 모양이 없는 경우가 많다. 치아의 법랑질이 불규칙하게 보이는 이유는 이러한 표면에서 일어나는 탈회와 재석회화 과정 때문이라 생각된다. 탈회는 여러 가지 음식물에 의해 일어날 수 있고 재석회화는 타액내에 있는 단백질에 의해서 일어날 수 있다. 법랑질의 법랑소주들이 불규칙한 표면을 형성하고 있기 때문에 탈회나 재석회화가 일어나는 양상도 불규칙하다. 이러한 치아 법랑질 표면의 특징 때문에 활택한 다른 금속표면보다 더 거친 표면양상을 나타낸 것으로 판단된다.

본 연구에 사용된 AFM은 시편에 손상을 주지않고 실시간으로 정성적, 정량적 분석을 동시에 할 수 있어 치의학 연구분야에 유용하게 이용할 수 있지만 25 μ m 이상의 크기는 AFM으로 관찰할 수 없어 주사전자 현미경을 이용하여야 하고, 본 연구에서 얻은 각 시편의 AFM 형상 크기는 3 μ m \times 3 μ m로 아주 미세한 부위를 보여주기 때문에 관찰할 시편의 표면을 잘못 선정하면 판이한 연구결과를 초래할 위험이 있

다. 따라서 본 연구에서는 각 시편당 광학현미경으로 200배로 확대하여 모니터하에서 활택한 4부분을 임의로 정한 후 표면 거칠기의 평균값을 구하였지만 더 많은 표면을 관찰하여 연구결과에 신뢰도를 높이는 것이 좋을 것으로 생각된다. 그리고 연마 후 표면 활택도의 변화와 동시에 다른 기계적 특성이 어떻게 변화되는지에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 여겨지고, 수복물의 표면에 영향을 미치는 연마 식품, 치약, 칫솔, 스켈링, 초음파 세척기 같은 기구에 의해 가장 활택한 표면이 얼마나 오랫동안 지속되고 어떻게 변형되는지, 그리고 치태축적에 관한 이런 연마재에 대한 장기간의 결과를 관찰하는 것은 가치 있을 것이라 사료된다.

V. 연구결과

본 연구는 귀금속 계열인 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금의 각각 5개 시편을 연마술식에 따라 1군(sandblaster), 2군(1군+stone), 3군(2군+brown rubber), 4군(3군+green rubber), 5군(4군+rouge)으로 나누었다. 비귀금속 계열인 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금의 각각 6개 시편을 연마술식에 따라 1군(sandblaster), 2군(1군+hard stone), 3군(2군+electrolytic polisher), 4군(3군+brown hard rubber point), 5군(4군+green hard rubber point), 6군(5군+rouge)으로 나누었다. 연마정도에 영향을 미치는 요소를 고려하여 같은 치과의사가 귀금속, 비귀금속의 시편을 각각 연마하였다. 게다가 법랑질, 레진, 도재의 표면 활택도를 비교, 평가하였다.

귀금속과 비귀금속을 일련의 연마순서로 연마한 각 금속의 표면과 치아 법랑질, 도재 그리고 레진 표면의 연마정도를 비교, 관찰하기위해 본 연구에서는 원자단위까지 표면구조를 3차원으로 형상화할 수 있고 동시에 정량적인 분석이 가능한 AFM을 이용한 결과 다음과 같은 연구결과를 얻었다.

1. 연마술식에 따른 귀금속 계열인 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금의 표면 활택도를 비교했을 때 세 금속 모두 1, 2, 3, 4, 5군 순으로 표면 활택도는 증가하였고 통계학적으로 유의차가 있었다(P<0.01).

Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금 모두

- 1군은 다른 군들과 통계학적으로 유의차가 있었지만 1군을 제외한 2, 3, 4, 5군간에는 유의차가 없었다.
2. 연마술식에 따른 비귀금속 계열인 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금의 표면 활택도를 비교했을 때 세 금속 모두 1, 2, 3, 4, 5, 6군 순으로 표면 활택도는 증가하였고 통계학적으로 유의차가 있었다($P < 0.01$).
- Co-Cr 합금에서는 1, 2, 3군간에는 통계학적으로 유의차가 있었지만 4, 5, 6군간에는 유의차가 없었다. Ni-Cr 합금과 Co-Cr-Ti 합금에서는 1, 2군간에는 통계학적으로 유의차가 있었지만 3, 4, 5, 6군간에는 유의차가 없었다.
3. 각 연마술식별로 귀금속 계열인 Type III 금합금, 도재용 금합금, Ag-Pd 합금의 표면 활택도를 비교했을 때 1군에서는 세 금속간에 통계학적으로 유의차가 없었고, 1군을 제외한 2, 3, 4, 5군에서는 Type III 금합금과 도재용 금합금간에는 거의 유의차가 없었고 Ag-Pd 합금이 다른 두 금속보다 더 표면이 활택하였다($P < 0.05$).
4. 각 연마술식별로 비귀금속 계열인 Co-Cr 합금, Ni-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금의 표면 활택도를 비교했을 때 세 금속간에는 모든 군에서 통계학적으로 유의차가 없었다.
5. 각 금속의 가장 표면이 활택한 표면과 치아, 도재, 레진의 표면 활택도를 비교했을 때 도재가 가장 표면이 활택하였고 Ni-Cr 합금, Co-Cr 합금, Co-Cr-Ti 합금, 레진, Ag-Pd 합금, 도재용금합금, Type III 금합금, 치아 순으로 표면 활택도는 감소하였고 통계학적으로 유의차는 있었다($P < 0.01$).
- 이상의 연구결과를 통해 거친 연마재에서 시작한 후 점차 더 미세한 연마재로 바로 전 단계의 흠집이 남지 않을 때 까지 일련의 연마순서로 금속표면을 연마할 때 가장 활택한 표면을 얻을 수 있었고 일반적으로 경도가 강한 비귀금속과 Ag-Pd 합금이 연성이 강한 Type III 금합금과 도재용 금합금보다 연마시 더 활택한 표면을 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Caputo, A. A. : Biological implications of dental materials. Dent. Clin. North. Am., 24:331-341, 1980.
2. Waerhaug, J. : Effect of rough surfaces upon gingival tissue. J. Dent. Res., 35:323-5, 1956.
3. Shafagh, I. : Plaque accumulation on cast gold complete crowns polished by a conventional and an experimental method. J. Prosthet. Dent., 55:339-342, 1986.
4. Clayton, J. A., and Green, E. : Roughness of pontic materials and dental plaque. J. Prosthet. Dent., 23:407-411, 1979.
5. Wise, M. D., and Dykema, R. W. : The plaque-retaining capacity of four dental materials. J. Prosthet. Dent., 33:178-190, 1975.
6. Keenan, M. P., Shillingburg, H. T., Duncanson, M. G., and Wade, C. K. : Effects of cast gold surface finishing on plaque retention. J. Prosthet. Dent., 43:168-173, 1980.
7. Gildenhuys, R. R., and Stallard, R. E. : Comparison of plaque accumulation on metal restorative surfaces. Dent. Surv., 51:56, 1975.
8. Leinfelder, K. F., and Yarnell, G. : Occlusion and restorative materials. Dent. Clin. North. Am., 39(2):355-361, 1995.
9. Troxell, R. R. : The polishing of gold castings. J. Prosthet. Dent., 9:668-675, 1959.
10. Aydin, A. K. : Evaluation of finishing and polishing techniques on surface roughness of chromium-cobalt castings. J. Prosthet. Dent., 65:763-7, 1991.
11. Shillingburg, H. T., Hobo, S., Whitsett, L. D., Jacobi, R., and Brackett, S. : Fundamentals of Fixed Prosthodontics, 3rd ed., Quintessence Publishing Co., 385-400, 1997.
12. Craig, R. G., O'Brien, W. J., and Powers, J. M. : DENTAL MATERIALS: Properties and Manipulation. 5th ed., The C. V.

- Mosby Co., 106-125, 1992.
13. Hansma, P. K., Elings, V. B., Marti, O., and Bracker, C. E. : Scanning tunneling microscopy and atomic force microscopy: application to biology and technology. *Science*, 242:209-216, 1988.
 14. Lal, R., and John, S. A. : Biological applications of atomic force microscopy. *Am. J. Physiol.*, 266:C1-C21, 1994.
 15. Radmacher, M., Tillmann, R. W., Fritz, M., and Gaub, H. E. : From molecules to cells: Imaging soft samples with the atomic force microscope. *Science*, 257:1900-5, 1992.
 16. Ohnesorge, F., and Binnig, G. : True atomic resolution by atomic force microscopy through repulsive and attractive force. *Science*, 260:1451-6, 1993.
 17. Cassinelli, C., and Morra, M. : Atomic force microscopy studies of the interaction of a dentin adhesive with tooth hard tissue. *J. Biomed. Mater. Res.*, 28:1427-1431, 1994.
 18. Marshall Jr, G. W., Balooch, M., Tench, R. J., Kinney, J. H., and Marshall, S. J. : Atomic force microscopy of acid effects on dentin. *Dent. Mater.*, 9:265-8, 1993.
 19. Marshall Jr, G. W., Balooch, M., Kinney, J. H., and Marshall, S. J. : Atomic force microscopy of conditioning agents on dentin. *J. Biomed. Mater. Res.*, 29:1381-7, 1995.
 20. Hyeong-Seob Kim : A study on surface roughness of composite resins after finishing and polishing—an Atomic Force Microscope study. *J. Korean Academy Prosthodontol.*, 35(4), 1997.
 21. Myers, D. R., Schuster, G. S., Bell, R. A., Barenie, J. T., and Mitchel, R. : The effect of polishing technics on surface smoothness and plaque accumulation on stainless steel crowns. *Pediatr. Dent.*, 2:275, 1980.
 22. Henry, P. J., Johnston, J. F., and Mitchell, D. F. : Tissue Changes beneath Fixed Partial Dentures. *J. Prosthet. Dent.*, 16:937-947, 1966.
 23. Roulet, J. F., and Roulet-Mehrens, T. K. : The surface roughness of restorative materials and dental tissues after polishing with prophylaxis and polishing pastes. *J. Periodontol.*, 53:257-266, 1982.
 24. Myoung-Hwa Kim : The amount of loss and the degree of surface smoothness of gold alloy by gold polishing rubber point materials. *J. Korean Academy Prosthodontol.*, 35: 277-295, 1997.
 25. Sarrett, D. C., Richeson, J. S., and Smith, G. E. : Scanning electron microscopy evaluation of four finishing techniques on margins of gold castings. *J. Prosthet. Dent.*, 50:784-792, 1983.
 26. Philips, R. W. : Skinner's science of dental materials. 8th ed., Philadelphia W. B. Saunders Co., 578-589, 1982.
 27. Chou, T. M., and Pameijer, C. H. : The application of microdentistry in fixed prosthodontics. *J. Prosthet. Dent.*, 54:36, 1985.
 28. Philips, R. W. : Skinner's science of dental materials. 9th ed., Philadelphia W. B. Saunders Co., 359-384, 1991.
 29. Bu-Byoung Choi, Yi-Hyung Woo : Contemporary Fixed Prosthodontics. 2nd ed., Jiseung Co., 408-424, 1995.
 30. Blanco-Dalmau, L., Carrasquillo-Alberty, H., and Silva-Parra, J. : A study of nickel allergy. *J. Prosthet. Dent.*, 52:116-9, 1984.
 31. Peyton, F. A. : Cast chromium-cobalt alloys. *Dent. Clin. North. Am.*, Nov:759-71, 1958.
 32. Moffa, J. P., Jenkins, W. A., Ellison, J. A., and Hamilton, J. C. : A clinical evaluation

of two base metal alloys and a gold alloy for use in fixed prosthodontics.: A five-year study. J. Prosthet. Dent., 52:491-500, 1984.

33. Seung-Myung Hwang : Oral Histology. 4th ed., Scientific book center Co., 239-256, 1996.

Reprint request to:

Won-Kyu Park, D.M.D.

Department of Prosthodontics, Division of Dentistry, Graduate School, Kyung Hee University
#1, Hoigi-Dong, Dongdaimun-Gu, Seoul, 130-701, Korea

Tel. 82-2-958-9342

hidentist@korea.com

사진부도 ①

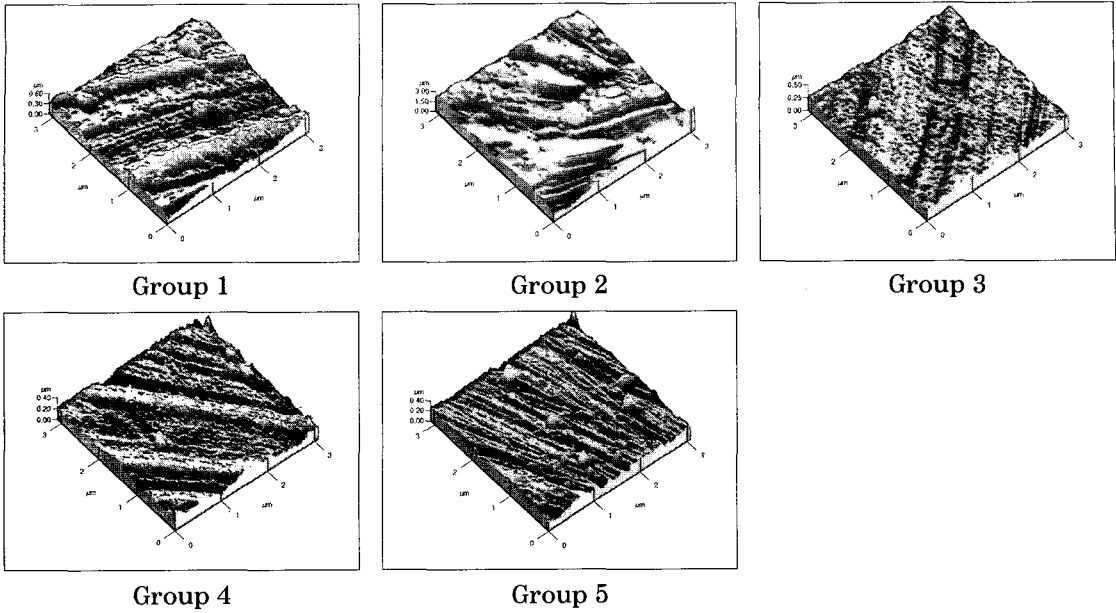


Fig. 4. Three dimensional AFM images of Type III gold alloy .

Group 1 : sandblaster

Group 2 : Group 1+stone

Group 3 : Group 2+brown rubber

Group 4 : Group 3+green rubber

Group 5 : Group 4+rouge

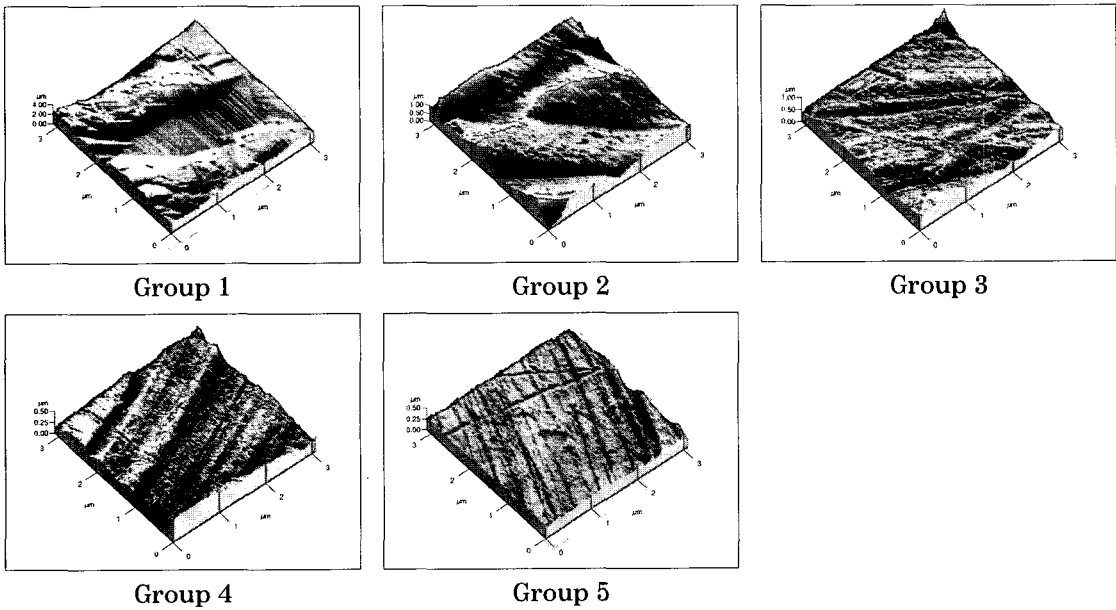


Fig. 5. Three dimensional AFM images of Ceramic gold alloy.

Group 1 : sandblaster

Group 2 : Group 1+stone

Group 3 : Group 2+brown rubber

Group 4 : Group 3+green rubber

Group 5 : Group 4+rouge

사진부도 ②

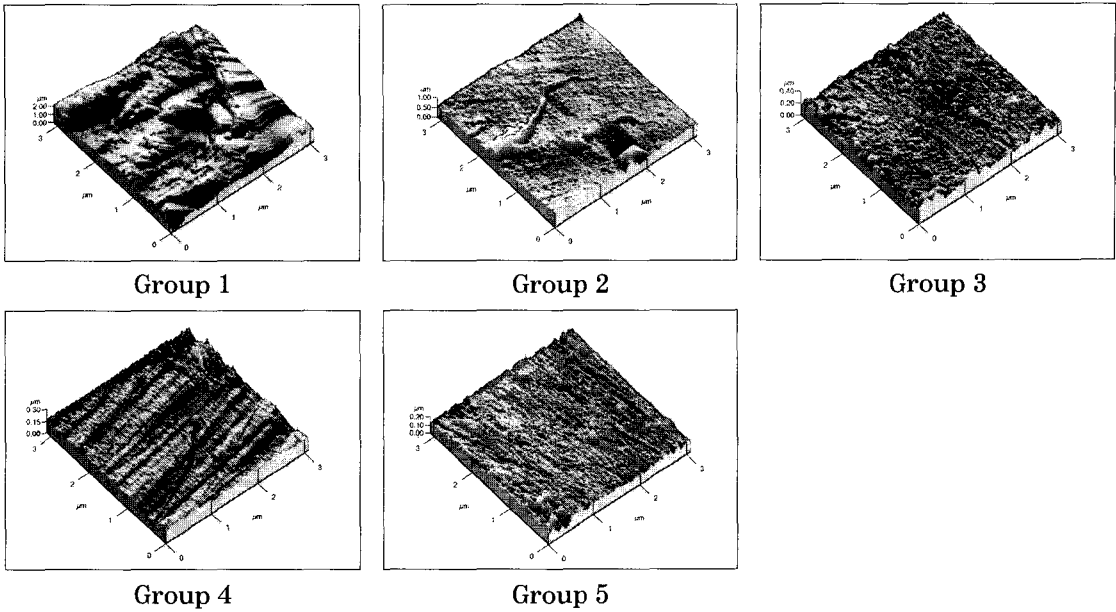


Fig. 6. Three dimensional AFM images of Ag-Pd alloy.

- | | |
|--------------------------------|--------------------------------|
| Group 1 : sandblaster | Group 2 : Group 1+stone |
| Group 3 : Group 2+brown rubber | Group 4 : Group 3+green rubber |
| Group 5 : Group 4+rouge | |

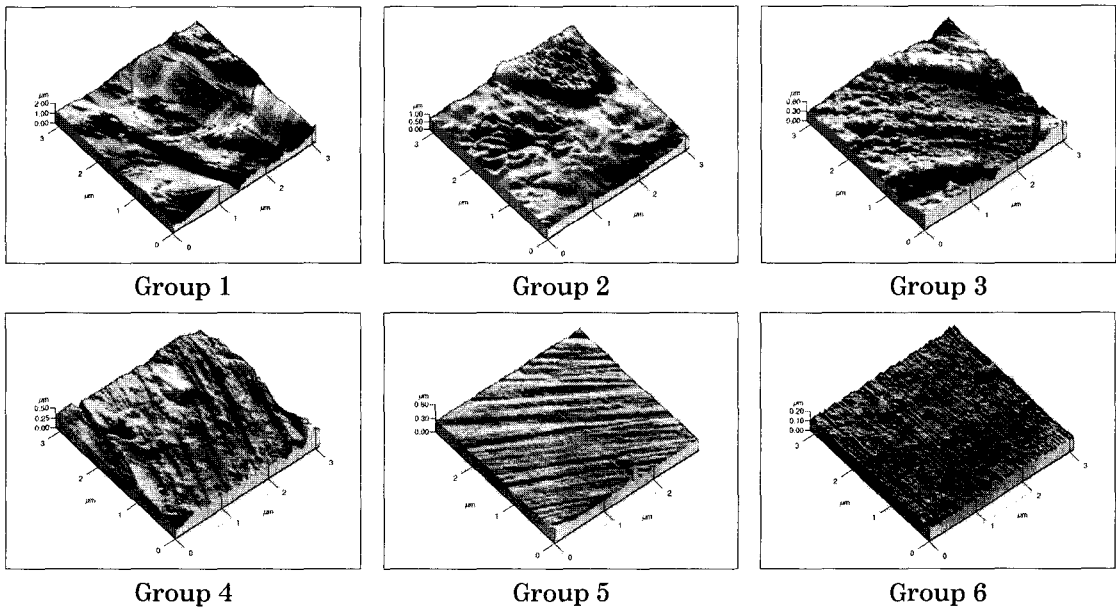


Fig. 7. Three dimensional AFM images of Co-Cr alloy.

- | | |
|---|---|
| Group 1 : sandblaster | Group 2 : Group 1+hard stone |
| Group 3 : Group 2+electrolytic polisher | Group 4 : Group 3+brown hard rubber point |
| Group 5 : Group 4+green hard rubber point | Group 6 : Group 5+rouge |

사진부도 ③

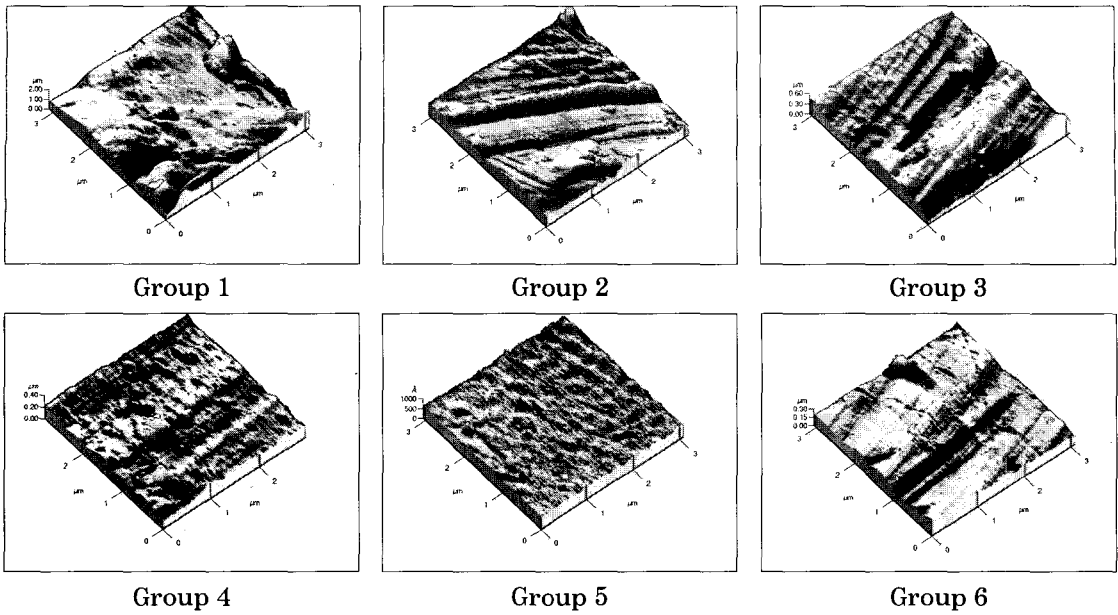


Fig. 8. Three dimensional AFM images of Ni-Cr alloy.

Group 1 : sandblaster

Group 2 : Group 1+hard stone

Group 3 : Group 2+electrolytic polisher

Group 4 : Group 3+brown hard rubber point

Group 5 : Group 4+green hard rubber point

Group 6 : Group 5+rouge

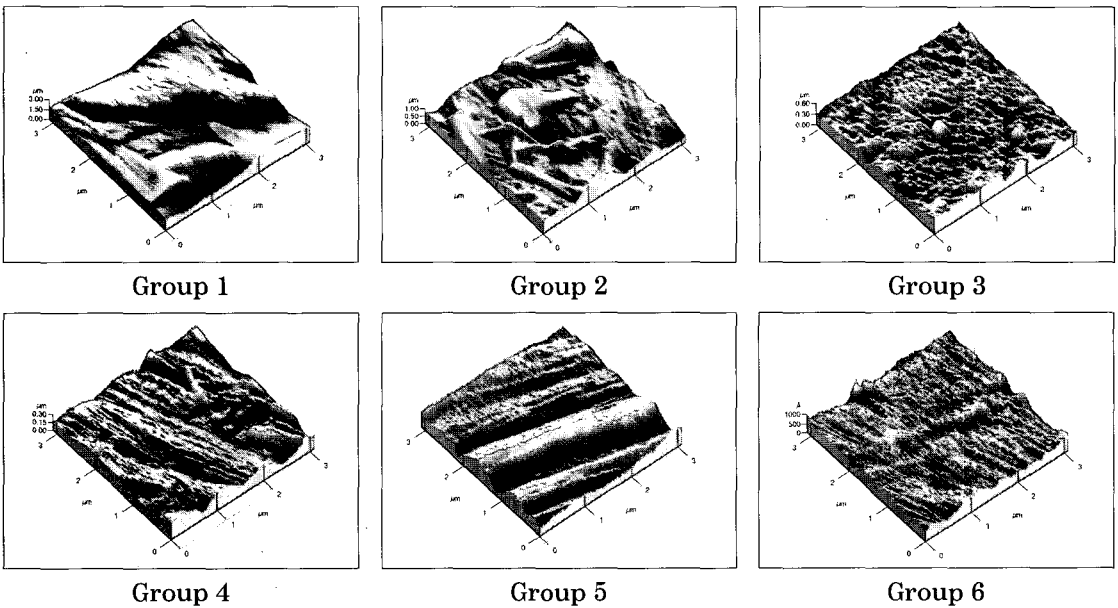


Fig. 9. Three dimensional AFM images of Co-Cr-Ti alloy.

Group 1 : sandblaster

Group 2 : Group 1+hard stone

Group 3 : Group 2+electrolytic polisher

Group 4 : Group 3+brown hard rubber point

Group 5 : Group 4+green hard rubber point

Group 6 : Group 5+rouge

사진부도 ④

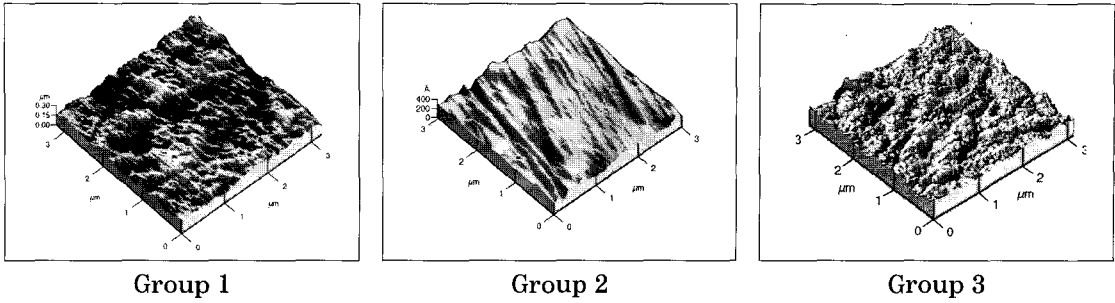


Fig. 10. Three dimensional AFM images.

ABSTRACT

**A STUDY ON SURFACE ROUGHNESS OF METALS
ACCORDING TO FINISHING AND POLISHING PROCEDURES
- AN ATOMIC FORCE MICROSCOPE ANALYSIS -**

Won-Kyu Park, D.M.D., Yi-Hyung Woo, D.M.D., M.S.D., Ph.D.,
Boo-Byung Choi, D.D.S., D.D.Sc., Sung-Bok Lee, D.M.D., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, Division of Dentistry, Graduate School, Kyung Hee University

The surface of metals should be as smooth as possible for optimum comfort, oral hygiene, low plaque retention, and resistance to corrosion.

In this study, five specimens of each precious metal (type III gold alloy, ceramic gold alloy, and Ag-Pd alloy) were divided into five groups according to finishing and polishing procedures: group 1 (sandblaster), group 2 (group 1 + stone), group 3 (group 2 + brown rubber), group 4 (group 3 + green rubber), and group 5 (group 4 + rouge). Six specimens of each non-precious metal (Co-Cr alloy, Ni-Cr alloy, and Co-Cr-Ti alloy) were divided into six groups: group 1 (sandblaster), group 2 (group 1 + hard stone), group 3 (group 2 + electrolytic polisher), group 4 (group 3 + brown hard rubber point), group 5 (group 4 + green hard rubber point), and group 6 (group 5 + rouge). Considering factors affecting the rate of abrasion, the same dentist applied each finishing and polishing procedure. In addition, the surface roughness of enamel, resin, and porcelain was evaluated.

The effect of finishing and polishing procedures on surface roughness of precious and non-precious metals, enamel, resin, and porcelain was evaluated by means of Atomic Force Microscope (AutoProbe CP, Park Scientific Instruments, U.S.A.) that can image the three dimensional surface profile and measure average surface roughness values of each sample at the same time.

The obtained results were as follows:

1. According to finishing and polishing procedures, the surface roughness of type III gold alloy, ceramic gold alloy, and Ag-Pd alloy was decreased in the order of group 1, 2, 3, 4, and 5 ($P < 0.01$).
2. According to finishing and polishing procedures, the surface roughness of Co-Cr alloy, Ni-Cr alloy, and Co-Cr-Ti alloy was decreased in the order of group 1, 2, 3, 4, 5, and 6 ($P < 0.01$).

3. There was not statistically significant difference in the surface roughness among three metals of precious metals in group 1 but was significant difference in group 2, 3, 4, and 5 ($P < 0.05$).
4. There was not statistically significant difference in the surface roughness among three metals of non-precious metals in all groups.
5. When the surface roughness of the smoothest surface of each metal, enamel, porcelain, and resin was compared, porcelain was the smoothest and the surface roughness was decreased in the order of Ni-Cr alloy, Co-Cr alloy, Co-Cr-Ti alloy, resin, Ag-Pd alloy, ceramic gold alloy, type III gold alloy, and enamel ($P < 0.01$).

The results of this study indicate that the finishing and polishing procedures should be carried out in a logical, systematic sequence of steps and the harder non-precious metals may be less resistance to abrasion than are the softer precious metals.

Key words : Surface roughness, Atomic force microscope, Finishing and polishing procedures