임플랜트 지대주 나사의 텅스텐 카바이드/탄소 코팅이 전하중에 미치는 영향에 관한 연구

부산대학교 치과대학 보철학교실, *오스템 임플랜트 연구소

최진욱 · 정창모 · 전영찬 · 임장섭 · 정희찬 · 엄태관*

Ⅰ. 서 론

치과용 임플랜트가 임상에서 사용된 후 대부분의 연구는 주로 생물학적 요소인 임플랜트 고정체와 골과의 생체적합성에 집중되어 왔다. 1952년 Branemark 등에 의해 골유착성 임플랜트가 소개된 이후 많은 발전을 이루어 현재 통계적으로 90% 이상의 높은 성공률을 보이고 있다.[1] 하지만 이러한 높은 성공률에도 불구하고 아직도 임플랜트 보철물 구성요소의 파절이나 나사 풀림 등 많은 기계적인 문제점들이 발생하고 있다.[2-5] 그 중 임플랜트 고정체와 지대주, 지대주와 보철물 사이의 나사 풀림이 가장 흔하게 보고 되고 있으며, 이러한 나사 풀림은 주로 단일 임플랜트 보철물 특히 구치부에서 흔히 발생된다.[6-9] 나사 풀림은 나사의 파절을 야기하고,[10] 만약 교합력을 조절하지 않고 나사의 조임에만 관심을 집중할 경우에는 골 소실이나 고정체 파절 같은 문제점들이 나타날 수 있다.[11] 따라서 성공적인 임플랜트 치료를 위해서는 생물학적 그리고 기계적 요소 사이의 동적 평형이 필요하다.[12]

나사 풀림을 방지하기 위해서는 나사 연결부에 가해지는 외부 하중을 최소로 하고, 임플랜트와 지대주 사이의 압축력을 최대로 하여야 한다. 외부 하중을 최소로 하기 위해서는 올바른 위치에 고정체를 식립하여 보철물 설계 시 지레 길이가 최소가 되도록 하고 또한 임플랜트의 장축을 따라 하중이 전달되도록 교합을 설계함으로써 모멘트에 의한 과도한 응력집중을 피해야 한다.[11,13] 압축력은 지대주 나사를 조일 때 가해지는 회전력이 나사를 신장시켜 야기되는 인장력의 결과이므로 이러한 나사의 전하중(preload)을 최대로 하기 위해서는 허용 한계 내에서 나사의 신장을 최대화하여야 한다.[11]

나사 체결 시 조임 회전력의 일부는 마찰력을 극복하기 위해 사용되기 때문에 모든 회전력이 전하중으로 전환되는 것은 아니다.[14,15] 조임 회전력에 의해 전달되는 에너지의 약 50%는 지대주 나사의 두부와 지대주 사이의 접촉면에서 발생하는 마찰력을 그리고 약 40%는 나사산 사이의 접촉면에서 발생하는 마찰력을 극복하는데 소모되며, 오로지 10%만이 나사 신장에 사용된다. 따라서 일정한 조임 회전력 하에서 전하중을 증가시키기 위해서는 마찰계수가 작은 나사를 사용하는 것이 바람직하다.[14]

일반적으로 나사의 마찰계수는 금속학적 성질, 기하학적 형태, 표면연마 등에 의해 영향을 받으며,[16] 임플랜트 제조사들은 나사 제작에 있어 이러한 요소들의 조절을 통해 마찰계수를 감소시키려 노력하고 있다. 제작된 나사가 갖고 있는 마찰계수는 구강에서 나사 체결 시 타액이나 혈액 같은 윤활제의 존재에 의해 감소될 수 있으나 임상적인 효과에 대한 예측은 불가능하다.[10]

근자에 몇몇 임플랜트 제조사들은 마찰계수를 보다 효과적으로 감소시키기 위하여 건조 윤활제로 코

팅한 나사를 개발하여 시판하고 있는데, 그 예가 3i(Implant Innovation, USA)의 순금코팅 나사인 Gold-Tite와 Steri-Oss(Nobel Biocare, USA)의 테프론 코팅 나사인 TorqTite이다. 이렇게 코팅된 나사들은 기존의 티타늄이나 금 나사에 비해 나사의 전하중이 증가하고 나사 풀림현상이 적다고 보고 되고 있으나,[17-20] 나사의 반복체결 시 코팅표면의 마모가 나타나 그 효과가 감소될 수 있다.[19] 따라서 이를 개선하기 위해서는 마찰저항을 최소화하며 동시에 내구성과 내마모성이 우수한 나사 표면의 코팅방법 개발이 필요하다.

텅스텐 카바이드/탄소 코팅은 텅스텐 카바이드를 탄소와 혼합하여 만든 무정형의 초경합금 코팅으로 텅스텐 카바이드 층과 탄소 층이 원자 두께로 교차하여 다층 구조를 이루고 있으며 내마모성, 내식성, 내열성이 우수하여 절삭공구 및 기계부품에 이용되고 있다.[21] 최근에는 이러한 텅스텐 카바이드/탄소 코팅을 이용한 나사가 소개되어 임상에 사용되고 있으나, 텅스텐 카바이드/탄소 코팅이 전하중에 미치는 영향이나 반복체결에 따른 코팅표면의 안정성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 external butt joint와 internal cone의 연결형태를 갖는 임플랜트 시스템에서 지대주 나사의 텅스텐 카바이드/탄소 코팅이 전하중에 미치는 영향을 알아보고, 지대주 나사의 반복체결에 따른 텅스텐 카바이드/탄소 코팅의 안정성과 표면변화를 함께 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구재료

본 연구에서는 AVANA(Osstem Implant, Korea)의 external butt joint 연결형태를 가지는 US II 시스템과 internal cone 연결형태의 SS II 및 GS II 시스템을 사용하였다(Table I). 지대주 나사는 시스템별로 AVANA의 티타늄 합금(Ta) 나사와 텅스텐 카바이드와 탄소로 표면 처리한(WC/CTa) 나사를 사용하였다(Fig. 1).

2. 연구방법

(1) 조임 회전각 측정

조임 회전각 실험장치에 임플랜트 고정체를 위치시키고, 디지털 토크게이지(DTDK-20EX, KANON, Japan)를 이용하여 5 Ncm로 지대주 나사를 조인 후 회전각 측정을 위한 디지털 측정기(CT6Y-1, Autonics, Korea)의 영점 조정을 하였다. 그 후 디지털 토크게이지로 계속적인 조임 회전력을 가하여 30 Ncm까지 나사를 천천히 조이고 그 때의 조임 회전각을 측정하였다(Fig. 2). 시스템마다 Ta 나사와 WC/CTa 나사 5개를 사용하였으며, 각 나사마다 5회 반복 측정하였다.

텅스텐 카바이드/탄소 코팅 유무에 따른 회전각의 차이와 임플랜트 시스템 간의 회전각 변화율의 차이

Table I. Features of implant abutment systems

Implant system	Implant ø mm	Implant/abutment interface	Abutment	Abutment screw
US II	4.1	External butt joint (external hexagon)	Cemented	Ta WC/CTa
SS II	4.8	8° Morse taper (internal octagon)	ComOcta	Ta WC/CTa
GS II	4.5	11° Morse taper (intenal hexagon)	Transfer	Ta WC/CTa

Ta=titanium alloy; WC/CTa=tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy.

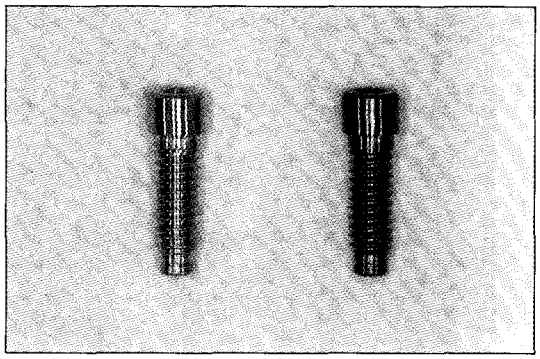

Fig. 1. Two AVANA abutment screws of different surface: left, titanium alloy screw; right, tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw.

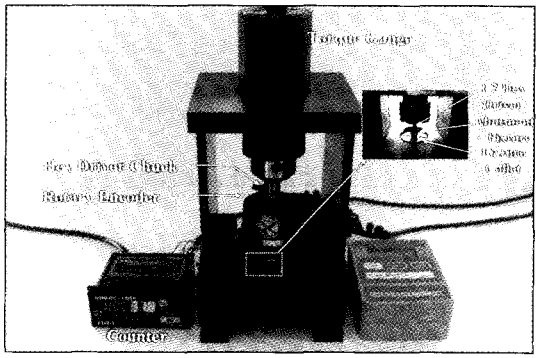

Fig. 2. Assembly of rotational angle measurement apparatus.

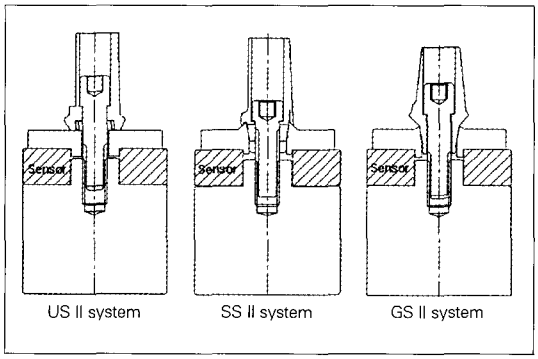

Fig. 3. Schematic diagram of implant component stack positioning in compressive force measurement apparatus.

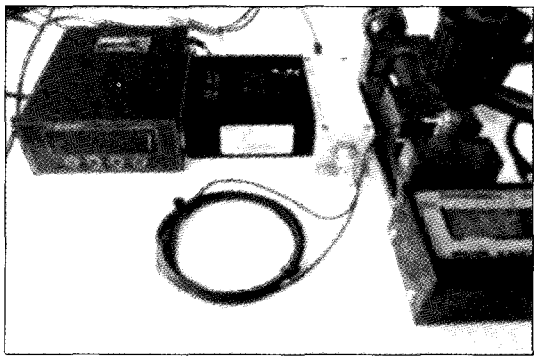

Fig. 4. Digital indicator for measuring compressive force.

를 일원배치 분산분석법(one-way ANOVA)과 다중범위 검정법(Duncan's test)을 이용하여 통계학적으로 검정하였다.

(2) 압축력 측정

지대주 나사에 조임 회전력을 가할 때 나사의 신장에 의해 발생되는 압축력을 측정하기 위하여, 압전소자 방식으로 되어있는 SlimLine Force Sensor (9132B21, KISTLER, Switzerland)를 이용한 압축력 측정 장치를 고안하였다. 실제 고정체에는 센서를 부착하기 어려우므로 고정체 대신 고정체와 동일한 내부 형태와 크기 그리고 금속재질을 갖고 센서가 중간에 위치되는 모형을 가공 제작하여 나사 조임에 따라 발생하는 수직적 압축력을 측정할 수 있도록 하였다(Fig. 3).

압축력 측정을 위해서 센서와 임플랜트 부품들을 차례대로 연결한 후, 디지털 토크게이지를 이용하여 지대주 나사를 30 Ncm까지 천천히 조이고, 디지털 표지기(MI-15W, SENSTECH, Korea)에 나타난 압축력을 측정하였다(Fig. 4). 임플랜트 시스템마다 Ta 나사와 WC/CTa 나사 5개를 사용하였으며, 각 나사마다 5회 반복측정 하였다.

텅스텐 카바이드/탄소 코팅 유무에 따른 압축력의 차이와 임플랜트 시스템 간의 압축력 변화율의 차이를 일원배치 분산분석법과 다중범위 검정법으로 검정하였다.

(3) 반복체결에 따른 압축력과 풀림 회전력의 측정

지대주 나사의 반복체결에 따른 압축력과 풀림 회전력의 변화를 측정하기 위하여, GS II 시스템의 고정체와 transfer abutment를 압축력 측정 장치에 고정시키고 30 Ncm의 회전력으로 지대주 나사를 천천히 조여 압축력을 측정한 후 디지털 토크게이지를 이용하여 풀림 회전력을 측정하였다. 위의 과정을 10회 반복측정 하였으며, 5개의 Ta 나사와 WC/CTa 나사를 사용하였다. 나사접촉면 마모로 인한 오차를 막기 위해 10회 반복측정 후 임플랜트 고정체를 새것으로 교환하여 다시 실험하였다.

Ta 나사와 WC/CTa 나사의 반복체결 횟수에 따른 압축력과 풀림 회전력 변화의 유의성을 일원배치 분산분석법과 다중범위 검정법을 이용하여 각각 검정하였으며, 두 나사 간의 전체적인 압축력과 풀림 회전력의 평균값 차이를 t-test로 검정하였다.

(4) 주사전자현미경 관찰 및 Energy Dispersive X-ray(EDX) 분석

10회 반복체결 전후의 표면변화를 주사전자현미경(HITACHI S-2400, Japan)으로 관찰하였고, 변화가 일어난 특정부위를 EDX를 이용하여 성분 분석하였다.

Ⅲ. 연구성적

각 임플랜트 시스템에서 Ta 나사와 WC/CTa 나사의 회전각 측정결과는 Table II와 같고, 이를 Fig. 5에 나타내었다. 모든 시스템에서 회전각은 WC/CTa 나사가 Ta 나사보다 약 10도 정도 크게 나타났다($P<.05$).

Internal cone 연결형태의 SS II 와 GS II 시스템은 external but joint 연결형태의 US II 시스템보다 Ta 나사와 WC/CTa 나사 모두에서 회전각이 크게 나타났으며($P<.05$), SS II 시스템과 GS II 시스템 사이에는 회전각의 유의한 차이를 보이지 않았다($P>.05$).

WC/CTa 나사를 사용함으로써 Ta 나사에 비해 US II 시스템에서는 37.9%, SS II 시스템에서는 36.7%, 그리고 GS II 시스템에서는 35.9%의 회전각이 증가되었으며, 임플랜트 시스템 간의 증가율에는 유의한 차이를 보이지 않았다($P>.05$).

각 임플랜트 시스템에서 Ta 나사와 WC/CTa 나사의 압축력 측정결과는 Table III과 같고, 이를 Fig. 6에 나타내었다. 모든 시스템에서 압축력은 WC/CTa 나사가 Ta 나사보다 유의성 있게 크게 측정되었다($P<.05$).

External but joint 연결형태의 US II 시스템은 internal cone 연결형태의 SS II 와 GS II 시스템보다 Ta 나사와 WC/CTa 나사 모두에서 압축력이 크게 나타났으며($P<.05$), GS II 시스템이 SS II 시스템 보다 Ta 나사와 WC/CTa 나사 모두에서 압축력이 크게 나타났다($P<.05$).

Table II. Mean values ± SDs of rotational value (°)

Implant system	Ta screw	WC/CTa screw	Percentage of increased rotation values*
US II	25.8 ± 0.7[a]	35.5 ± 0.5[c]	37.9
SS II	28.5 ± 0.6[b]	39.0 ± 0.5[d]	36.7
GS II	28.3 ± 0.7[b]	38.5 ± 0.7[d]	35.9

Ta=titanium alloy; WC/CTa=tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy.
Same letters indicate values that were not statistically different($P>.05$).
*Percentage of increased rotation values compared to Ta screw.
No significant differences were found in percentage of increased rotational values among the implant systems($P>.05$).

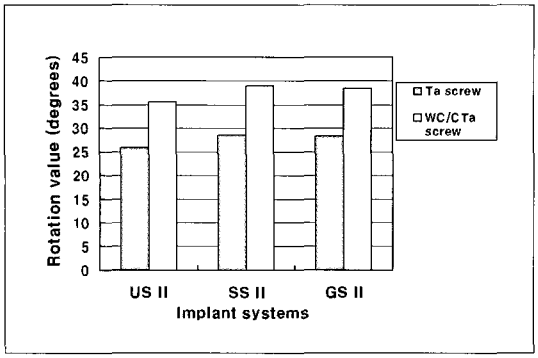

Fig. 5. Comparison of mean rotation values in each implant system.

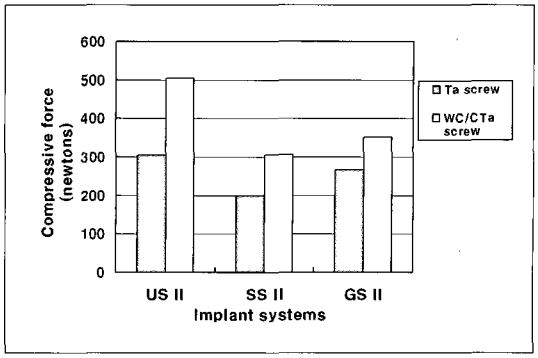

Fig. 6. Comparison of mean compressive forces in each implant system.

Table III. Mean values ± SDs of compressive force (N)

Implant system	Ta screw	WC/CTa screw	Percentage of increased compressive forces*
US II	303.8 ± 12.7^{c}	503.8 ± 13.9^{e}	65.8†
SS II	199.6 ± 7.8^{a}	306.4 ± 8.6^{c}	53.5†
GS II	266.6 ± 11.0^{b}	350.0 ± 15.0^{d}	31.3†

Ta=titanium alloy; WC/CTa=tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy.
Same letters indicate values that were not statistically different(P>.05).
*Percentage of increased compressive forces compared to Ta.
†Significant differences existed among the implant systems(P<.05).

Table IV. Mean values ± SDs of compressive force and removable torque during 10 consecutive closure/opening trials

Trials	Compressive force (N)		Removable torque (Ncm)	
	Ta screw	WC/CTa screw	Ta screw	WC/CTa screw
1	180.4 ± 10.1^{a}	367.8 ± 15.9	23.3 ± 1.8	21.2 ± 0.9^{a,b}
2	192.6 ± 11.3^{a,b}	372.0 ± 5.4	22.6 ± 1.7	21.6 ± 0.7^{b,c}
3	209.4 ± 23.6^{b,c}	372.0 ± 4.4	23.0 ± 1.7	22.1 ± 0.8^{c}
4	233.4 ± 25.6^{c}	370.8 ± 5.5	23.6 ± 1.1	21.4 ± 0.2^{b,c}
5	221.4 ± 13.6^{c}	378.2 ± 6.4	23.1 ± 0.7	21.2 ± 0.6^{a,b}
6	222.6 ± 15.7^{c}	378.8 ± 7.8	23.1 ± 0.7	20.9 ± 0.6^{a,b}
7	219.8 ± 19.9^{c}	375.8 ± 11.1	22.9 ± 0.8	21.1 ± 0.5^{a,b}
8	222.0 ± 22.4^{c}	378.2 ± 11.6	22.1 ± 0.9	20.8 ± 0.6^{a,b}
9	217.8 ± 17.3^{b,c}	374.8 ± 11.8	22.4 ± 0.7	20.8 ± 0.6^{a,b}
10	216.6 ± 16.8^{b,c}	379.8 ± 11.7	22.2 ± 0.7	20.5 ± 0.5^{a}
Mean	213.6 ± 15.7	374.8 ± 4.0	22.8 ± 0.5	21.2 ± 0.5

Ta=titanium alloy; WC/CTa=tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy.
Same letters in same column indicate no statistical differences(P>.05).
No significant differences were found in compressive force using WC/CTa screw and removable torque using Ta screw(P>.05).

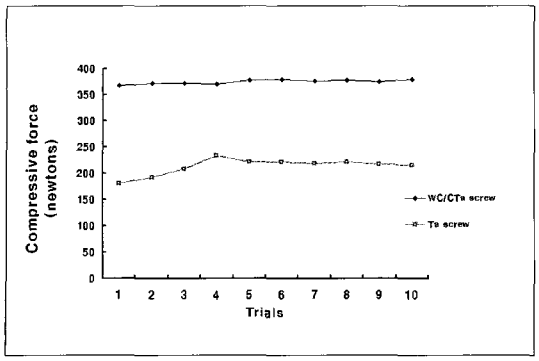

Fig. 7. Mean compressive forces during 10 consecutive closure/opening trials. Each point is the average of five experiments.

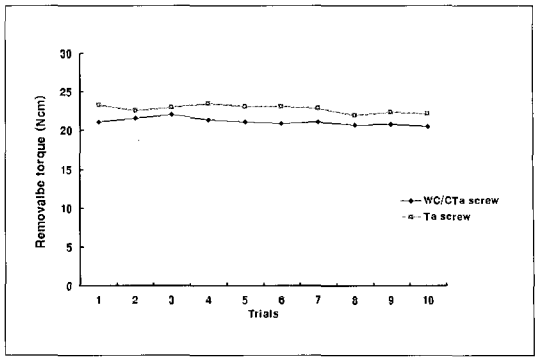

Fig. 8. Mean removable torques during 10 consecutive closure/opening trials. Each point is the average of five experiments.

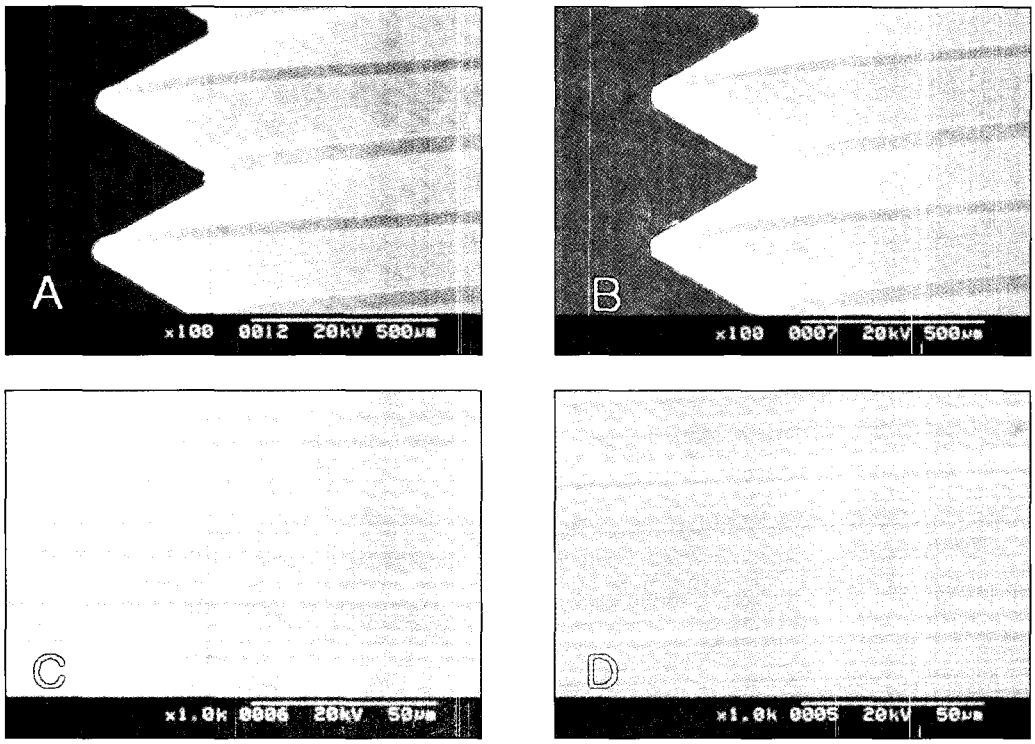

Fig. 9. SEM photomicrograph of distal threaded portion in pre-test screw.
A, Titanium alloy screw(Original magnification ×100). B, Tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw(Original magnification ×100). C, Titanium alloy screw(Original magnification ×1,000). D, Tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw(Original magnification ×1,000).

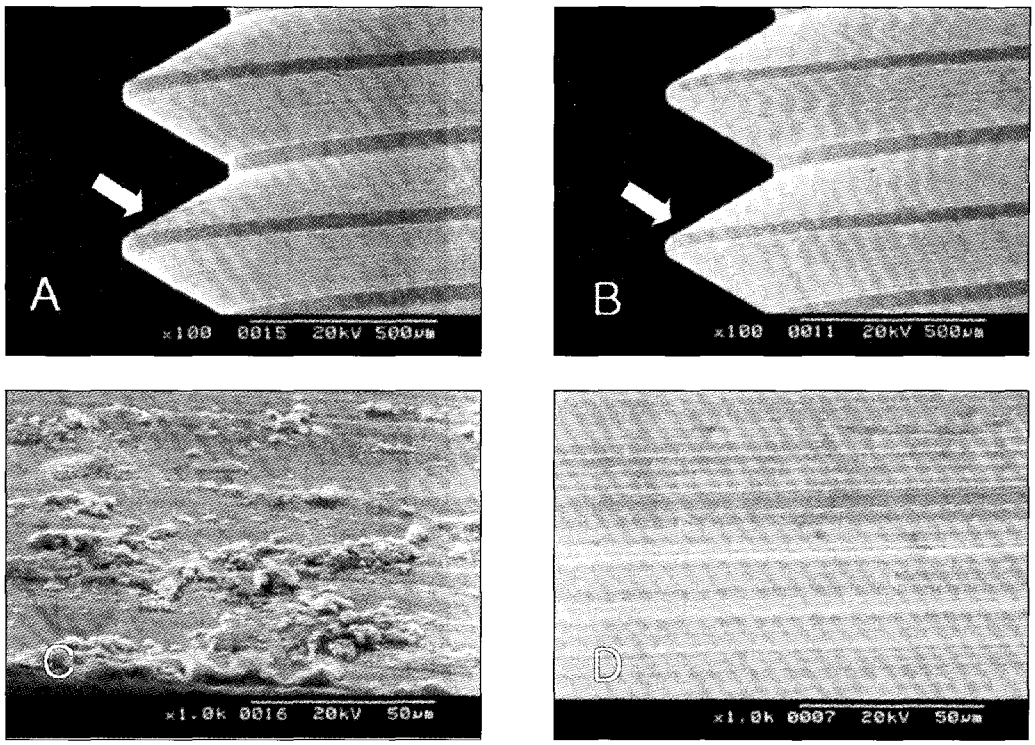

Fig. 10. SEM photomicrograph of distal threaded portion in worn screw after 10 repeated closures. A, Titanium alloy screw(Original magnification ×100). B, Tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw(Original magnification ×100). C, In the arrow area of worn titanium screw, rough surfaces and irregular fragments were observed(Original magnification ×1,000). D, In the arrow area of worn tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw, relatively smooth surfaces were maintained(Original magnification ×1,000).

WC/CTa 나사를 사용함으로써 Ta 나사에 비해 US II 시스템에서는 65.8%, SS II 시스템에서는 53.5%, 그리고 GS II 시스템에서는 31.3% 의 압축력 증가율을 보였으며, 이러한 증가율은 임플랜트 시스템 사이에 유의한 차이를 보였다($P<.05$).

반복체결에 따른 지대주 나사의 압축력 및 풀림 회전력을 측정한 결과는 Table IV와 같고, 이를 Fig. 7과 8에 나타내었다.

반복체결에 따른 압축력은 WC/CTa 나사의 경우 체결횟수에 따라서 유의한 차이를 보이지 않았으나($P>.05$), Ta 나사는 1회에 비해 3회부터 유의하게 큰 압축력을 나타내었다($P<.05$). 반복체결에 따른 풀림 회전력은 WC/CTa 나사의 경우 3회에서 가장 크게 측정되었으나 2회와 4회와는 유의한 차이를 보이지 않았으며($P>.05$), Ta 나사에서는 횟수에 따른 유의한 차이를 보이지 않았다($P>.05$).

10회에 걸쳐 측정된 압축력의 전체적인 평균값은 WC/CTa 나사를 사용한 경우가 Ta 나사를 사용한 경우보다 컸으나, 풀림 회전력의 전체적인 평균값은 WC/CTa 나사를 사용한 경우가 Ta 나사를 사용한 경우보다 작았다($P<.05$).

주사전자현미경으로 Ta 나사와 WC/CTa 나사의 초기 표면을 관찰한 결과, 나사표면은 모두 매끈한 표면을 보였다(Fig. 9). 하지만 10회 반복체결 후 Ta 나사의 접촉부위에서는 표면의 긁힘과 함께 불규칙한 형태와 크기의 금속조각들이 관찰되었으나(Fig.

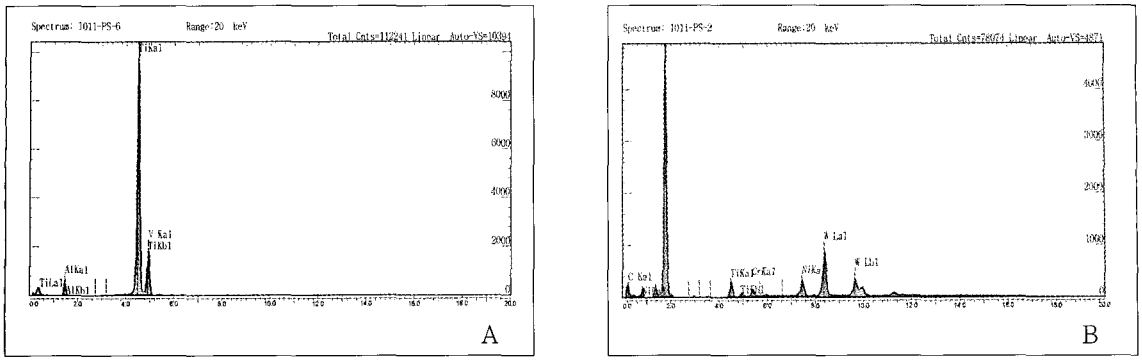

Fig. 11. EDX spectra for the surface of pre-test abutment screws.
A, Titanium alloy screw. B, Tungsten carbide/carbon-coated titanium alloy screw.

Table V. Concentration(wt%) of titanium, aluminum and vanadium on smooth surface and metal fragment in worn titanium alloy screw

	Smooth surface	Metal fragment
Ti	91.8	95.0
Al	2.8	1.4
V	5.4	3.6
Summation	100.0	100.0

Ti, titanium; Al, aluminum; V, vanadium.

10), WC/CTa 나사의 표면에서는 미세한 긁힘이 관찰되기는 하였으나 전체적으로 표면 손상 없이 코팅이 비교적 잘 유지되고 있었다.

EDX 분석 결과(Fig. 11), Ta 나사의 초기 표면에는 합금의 주성분인 티타늄과 알루미늄 그리고 바나듐이 주로 검출되었으며, WC/CTa 나사의 초기 표면에는 텅스텐과 카바이드가 주로 검출되었고 소량의 니켈과 크롬 성분도 관찰되었다. 10회 반복체결 후, Ta 나사표면에서 관찰되는 금속조각에는 티타늄 검출량이 높게 나타났다(Table V).

Ⅳ. 총괄 및 고찰

지대주 나사 풀림의 원인으로는 나사 신장의 부족, 임플랜트의 부적절한 식립 위치, 부적절한 교합관계나 치관형태, 그리고 부품간의 불량한 적합도 등이 있다.[22-24] 임상에서는 이러한 나사 풀림을 방지하기 위하여 임플랜트와 지대주간의 연결형태 변화,[25] 기계적 저항형태 부여,[26] 금 나사 및 토크 조절기의 사용,[27] 나사 합착제의 사용,[28] 워셔의 개재,[29] 실리콘 폐색장치의 사용[30] 등 다양한 시도가 있어 왔다.

Bickfold[31]는 나사 풀림 과정을 두 단계로 나누어 설명하였는데, 먼저 나사 연결부에 외부하중이 가해지면 나사선 사이에 미끄러짐이 일어나 전하중이 감소하게 된다. 이 단계에서는 전하중이 클수록 나사 풀림에 대한 저항성이 높아지게 되는데, 이는 나사선 사이의 마찰력이 클수록 미끄러짐을 야기하기 위해 더 큰 외부하중이 필요하기 때문이다. 다음 단계로 나사의 전하중이 임계점 이하로 낮아지게 되면 외부하중이나 진동에너지가 접촉하고 있는 나사의 회전을 야기하게 된다. 일단 이 단계에 도달하면 나사 연결부는 기능을 하지 못하고 실패하게 된다.

따라서 전하중을 나사의 허용한계 내에서 최대화하는 것은 나사 풀림 예방에 크게 기여한다. 나사의

전하중을 증가시키기 위해서는 조임 회전력을 증가시키거나 또는 나사의 마찰계수를 감소시키는 두 가지 다른 방법을 생각해 볼 수 있다. 그러나 전자의 경우에는 너무 큰 조임 회전력을 가할 경우 나사의 파절 및 임플랜트와 골-계면 사이의 실패를 가져올 수 있고,[11] 또한 가해진 회전력이 모두 전하중으로 전환되는 것은 아니므로[14,15] 효율성이 낮다. 반면 후자의 경우에는 동일한 조임 회전력으로 전하중을 효과적으로 증가시킬 수 있는 방법이기 때문에 최근 여러 임플랜트 제조사에서는 나사표면을 건조 윤활제로 코팅하여 마찰계수를 감소시킨 나사들을 개발하여 시판하고 있다. 본 연구에서는 건조 윤활제로 텅스텐 카바이드와 탄소로 코팅한 나사를 사용하였는데, 일반적으로 텅스텐 카바이드/탄소 코팅은 두께가 매우 얇으면서도 경도가 크고 내마모성과 내구성이 우수하며 마찰계수가 낮다는 장점을 가지고 있다.

가해진 회전력과 전하중 사이에는 나사의 마찰력 때문에 간접적인 비례관계를 나타내고,[16] 실제적인 전하중은 접촉면의 연마와 부품사이의 마찰력, 부품의 기하학적 형태 그리고 재질에 의해 영향을 받는다.[32] 일반적으로 전하중을 측정하거나 비교하는 방법으로는 strain gauge와 micrometer를 이용하여 나사 체결 전후의 길이를 비교하는[33,34] 직접적인 방법과 나사의 조임 회전각이나 풀림 회전력을 측정하는[35] 간접적인 방법이 있다. 본 연구에서는 지대주 나사의 조임 회전각과 풀림 회전력을 측정하여 전하중을 간접적으로 비교하고 나사 신장에 의한 지대주와 고정체 사이의 압축력을 측정하여 직접적으로 비교하여 보았다.

지대주 나사의 조임 회전각 측정 결과(Table II, Fig. 5), 표면 마찰계수가 낮은 WC/CTa 나사는 Ta 나사에 비해 마찰력에 의한 에너지 손실이 작으므로 더 많은 나사의 회전을 허용하여 모든 임플랜트 시스템에서 회전각을 약 10도 정도 증가시켰으며, 회전각 증가율은 시스템 간에 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 회전각 평균치는 두 실험나사 모두에서 US II 시스템보다 SS II 시스템과 GS II 시스템에서 크게 나타났는데, 이는 external butt joint 연결형태의 US II 시스템에 비해 internal cone 연결형태를 갖고 있는 SS II 시스템과 GS II 시스템에서는 조임 회전력에 의해 지대주의 수직적 침하가 일어나 나타난 결과로 생각된다. 비록 SS II 시스템과 GS II 시스템의 경사계면의 각도가 각각 8도, 11도로 차이가 있기는 하지만 두 시스템의 회전각에 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다.

지대주 나사의 압축력 측정 결과(Table III과 Fig. 6), WC/CTa 나사를 사용함으로써 모든 임플랜트 시스템에서 Ta 나사에 비해 압축력이 증가되었다. 이는 표면 마찰계수의 감소로 인해 조임 회전력에 의해 전달되는 에너지가 나사의 신장에 더 많이 사용될 수 있기 때문이다. 임플랜트 시스템간의 압축력은 두 가지 실험나사 모두에서 US II 시스템, GS II 시스템, 그리고 SS II 시스템 순으로 감소하였는데, 이러한 결과는 external butt joint 연결형태의 US II 시스템에서는 조임 회전력으로 인한 전하중이 주로 나사 신장 즉 지대주와 고정체 사이의 수직적 압축력으로 나타나는 반면, internal cone 연결형태의 SS II 시스템과 GS II 시스템에서는 조임 회전력이 원추형 지대주의 침하와 그에 따른 경사계면에서의 측방부하, 그리고 나사의 신장으로 전환되기 때문이라고 생각할 수 있다. 이는 내부 경사계면의 각도가 더 큰 GS II 시스템이 SS II 시스템에 비해서 압축력이 더 크게 측정된 결과로도 확인할 수 있다.

WC/CTa 나사 사용에 따른 압축력 증가율 역시 나사의 마찰계수 감소가 나사의 신장에 크게 기여하는 US II 시스템에서 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 이러한 결과로부터 WC/CTa 나사를 사용하는 것이 butt joint 연결형태를 갖는 임플랜트 시스템의 나사 연결부 안정성에 가장 크게 기여할 것이라고 추론하는 데는 무리가 있다. 왜냐하면 나사 연결부의 안정성은 나사 신장에 의한 압축력 외에도 연결부의 기하학적 형태나 재질, 가공 정확도 등에 의해 영향을 받기 때문이다.[12,32,36] 실제로 본 연구에서 US II 시스템이 가장 큰 압축력을 보였지만, 다른 여러 연구들은[25,36] internal cone 연결형태를 갖는 시스템들의 연결부 안정성이 더 우수한 것으로 보고하고 있다. 따라서 internal cone 연결형태를 갖는 시스템들에서 WC/CTa 나사는 나사의 신장 외에도, 본 연구에서 측정하지 못한 원추형 경사계면에서의 쐐기효과에 의한 안정성 및 마찰력을 증가시키기 때문에 압축력이 크게 증가하지 않다 하더라도 연결부의 안

정성을 크게 향상시킬 수도 있다고 생각되며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서는 지대주 나사를 10회 반복체결하고 압축력과 풀림 회전력의 변화를 측정하여 코팅나사의 안정성을 알아보고자 하였다(Table IV, Fig. 7, 8). 임플랜트와 지대주 나사간의 마찰력은 체결횟수에 따라 돌출부 소성변형(deformation), 마모입자와 돌출입자에 의한 홈 형성(plowing), 그리고 표면간의 고착현상(adhesion)에 의해 변화한다.[37] 일반적으로 나사 체결 초기에는 마찰 계수가 높지만 반복체결 할수록 감소하는 경향을 나타낸다.[35,38] Ta 나사의 경우에는 압축력이 1회에 비해 3회부터 크게 나타났는데, 이는 반복체결로 인한 마찰저항 감소로 설명할 수 있다. 한편, WC/CTa 나사의 경우에는 체결횟수가 증가할수록 압축력이 증가하는 경향을 보였으나 유의한 차이는 없었다. 이처럼 비교적 일정한 압축력을 보인 이유는 표면 코팅으로 인해 거칠기가 다소 감소하고 표면경도가 증가하여 마모입자나 plowing이 적게 발생하여 나타난 결과로 생각된다. 따라서 WC/CTa 나사는 마찰계수 감소를 통한 전하중 증가뿐만 아니라 반복체결에 따른 마찰계수의 변화를 감소시켜 일정한 전하중을 제공할 수 있는 또 하나의 장점을 갖고 있다고 할 수 있다.

나사의 풀림 회전력은 나사의 신장과 접촉계면에서의 마찰저항에 직접적으로 관련되어 있다.[10] WC/CTa 나사의 경우 풀림 회전력은 2회에서 4회까지는 유의하게 크게 나타났으나, 반복체결 횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. Ta 나사의 경우에는 횟수에 따른 풀림 회전력에 유의한 차이가 없었지만, 반복체결 횟수가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 각 나사에서의 이러한 풀림 회전력의 변화는 단순하지 않지만 결국 반복체결에 따른 마찰계수 및 압축력 증감의 상호 작용의 결과로 해석될 수 있을 것이다. 다만 본 연구결과에서, 비록 유의성 있는 일괄된 결론을 내리기는 어렵지만, 두 나사 모두 반복체결에 따라 압축력은 증가하는 경향을 보이는 반면 풀림 회전력은 감소하는 경향을 보이는 것으로 보아 압축력보다는 접촉계면의 마찰저항이 풀림 회전력에 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 임플랜트 시스템 또는 나사의 종류에 따른 전하중의 차이를 비교하기 위하여 조임 회전각, 압축력, 또는 풀림 회전력을 측정한 결과 실험방법에 따라 다소 상이한 결과를 나타내었다. 전하중을 간접적으로 비교하는 조임 회전각 실험과 직접적으로 비교하는 압축력 측정 실험에서는 모든 임플랜트 시스템에서 WC/CTa 나사의 사용으로 측정값이 증가되었으나 임플랜트 시스템에 따른 측정값의 크기 순서는 서로 다르게 나타났다. 또한 간접법으로 사용되고 있는 풀림 회전력의 경우에는 WC/CTa 나사를 사용한 경우가 Ta 나사를 사용한 경우보다 오히려 낮은 측정값을 보였다. 일반적으로 전하중은 가해진 회전력, 나사와 지대주의 재질, 나사 두부 형태, 지대주의 표면상태, 윤활제 등에 따라 달라진다.[11] 따라서 일정한 임플랜트 시스템에서 위의 조건들을 변수로 전하중을 상호 비교하는 데는 조임 회전각이나 압축력 측정이 유용한 실험방법이 될 수 있으나, 다른 시스템간의 비교에는 한계가 있기 때문에 한 가지 실험결과를 확대 해석하지 않는 것이 바람직하다. 특히 전하중 연구에 있어서 마찰저항에 크게 영향을 받는 풀림 회전력 측정을 실험방법으로 선택하는 경우에는 매우 세심한 주의가 필요하다고 생각된다.

반복체결 전 지대주 나사표면을 주사전자현미경을 이용하여 관찰한 결과, Ta 나사와 WC/CTa 나사 모두 대체로 매끈한 가공표면을 관찰할 수 있었다. 반복체결 후 Ta 나사의 표면에는 긁힘과 마멸입자가 관찰되었으며, 이러한 표면 변화는 임플랜트 고정체와 접촉하는 나사정의 윗면에서 발생하였다. WC/CTa 나사의 표면에서는 미세한 긁힘이 일부 관찰되기는 하였으나 비교적 코팅 층이 잘 유지되고 있었다.

EDX 분석 결과 Ta 나사의 초기 표면에는 합금의 주성분인 티타늄과 알루미늄 그리고 바나듐이 주로 검출되었으며, WC/CTa 나사의 초기 표면에는 텅스텐과 카바이드가 주로 검출되었고 소량의 니켈과 크롬 성분도 관찰되었다. 반복체결 후 Ta 나사의 표면 변화가 일어난 부위를 분석한 결과, 평편한 부위에 비해 금속조각에서는 다른 성분에 비해 티타늄 성분이 높게 나타났는데 이러한 마멸입자들은 미세하게 거친 표면에 회전력을 가할 때 야기되는 전단력에 의해 발생한다.

적절한 조임 회전력은 소성변형을 고려하여 나사

를 파절시키는데 필요한 회전력의 75% 정도라고 알려져 있다.[39] 코팅에 의해 마찰계수를 줄인 나사들은 동일 조임 회전력 하에서도 나사의 신장이 크게 일어난다. 또한 적정 조임 회전력 이상의 회전력이 가해졌을 경우에도 코팅하지 않은 나사에 비해 나사의 신장이 커질 수밖에 없어 나사의 변형이나 파절의 위험성이 높다. 따라서 코팅나사 제조사들은 실험연구를 통해 기존 나사들과는 다른 적정 조임 회전력 값을 제공하여야 하며, 임상가들은 나사 조임 시 이를 준수하는 것이 바람직할 것이다.

본 연구에서는 실험상의 오차를 줄이기 위하여 동일한 실험자가 실험을 반복하였으며 표준화를 위하여 디지털 토크게이지와 측정기를 사용하였고, 특히 연구의 주요변수인 지대주 나사는 각 측정 항목마다 다섯 개씩 새 것으로 교환하여 실험하였다. 그러나 제한된 시편 수, 부품 제작 시에 나타날 수 있는 가공 오차, 실험 시 지대주 나사와 임플랜트 고정체의 접촉계면 사이로 이물질의 침투 가능성 등은 측정결과에 다소의 영향을 주었을 것으로 생각된다. 그럼에도 불구하고 본 연구 결과는 임플랜트 지대주 나사의 텅스텐 카바이드/탄소 코팅이 전하중을 증가시키고 일정한 전히중을 제공할 수 있는 임상적으로 효율적이고 안정된 방법임을 시사한다고 생각된다.

Ⅴ. 결 론

본 연구에서는 임플랜트와 지대주 연결부가 external butt joint 또는 internal cone 형태를 가지는 임플랜트 시스템들에서 티타늄 합금나사의 텅스텐 카바이드/탄소 코팅이 전하중에 미치는 영향을 알아보기 위해 지대주 나사의 회전각과 나사 신장으로 인한 압축력을 측정하였다. 또한 코팅한 나사의 안정성과 표면변화를 알아보기 위하여 10회 반복체결에 따른 압축력과 풀림 회전력의 변화를 측정하고, 반복체결 전후의 주사현미경 관찰 및 EDX 분석을 시행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코팅한 나사를 사용한 경우 코팅을 하지 않은 나사에 비해 모든 임플랜트 시스템에서 압축력이 크게 나타났으며($P<.05$), 압축력 증가율은 external butt joint 형태가 internal cone 형태보다 높았다($P<.05$).
2. 회전각 역시 코팅한 나사를 사용한 경우 모든 임플랜트 시스템에서 크게 나타났으나($P<.05$), 임플랜트 시스템간의 회전각 증가비율에는 차이가 없었다($P>.05$).
3. 풀림 회전력의 평균값은 코팅한 나사에 비해 코팅을 하지 않은 나사에서 크게 나타났다($P<.05$).
4. 코팅한 나사는 반복체결 횟수에 따른 압축력에 차이를 보이지 않았으며($P>.05$), 풀림 회전력은 3회에서 가장 크게 측정되었으나 2회와 4회와는 유의한 차이를 보이지 않았다($P>.05$).
5. 반복체결 후 코팅한 나사에서는 비교적 코팅이 잘 유지되었으나, 코팅하지 않은 나사의 표면에서는 긁힘이나 티타늄 조각들이 관찰되었다.

이상의 결론으로부터 지대주 나사 표면의 텅스텐 카바이드/탄소 코팅은 전하중을 증가시켜 나사 풀림을 예방하는데 효과적이고 안정된 방법이라 생각된다.

참고문헌

1. Branemark PI. Osseointegration and its experimental background. J Prosthet Dent 1983;50:399-410.
2. Binon PP. The effect of implant/abutment hexagonal misfit on screw joint stability. Int J Prosthodont 1996;9:149-60.
3. Jemt T. Failure and complications in 391 consecutively inserted fixed prostheses supported by Branemark implants in edentulous jaws: A study of treatment from the time of prosthesis placement to the first annual check up. Int J Oral Maxillofac Implants 1991;6:270-6.
4. Jemt T. Multicenter study of overdentures supported by Branemark. Int J Oral Maxillofac Implants 1992;7:513-22.
5. Jemt T, Linden B, Lekholm U. Failures and complications in 127 consecutively inserted fixed prostheses supported by Branemark implants: From prostheses treatment to first annual check up. Int J

Oral Maxillofac Implants 1992;7:40-3.
6. Jemt T, Laney WR, Harris D, Henry PJ, Krogh PH, Polizzi G, et al. Osseointegrated impalnts for single tooth replacement: a 1-year report from a multicenter prospective study. Int J Oral Maxillofac Implants 1991;6;29-36.
7. Becker W, Becker BE. Replacement of maxillary and mandibular molars with single endosseous implant restorations: a retrospective study. J Prosthet Dent 1995; 74:51-5.
8. Anderson B, Odman P, Carlsson L, Branemark PI. A new Branemark single tooth abutment: handling and early clinical experience. Int J Oral Maxillofac Implants 1992;7:105-11.
9. Anderson B, Odman P, Lindvall AM, Lithner B. Single-tooth restorations supported by osseointegrated implants: results and experiences from a prospective study after 2 to 3 years. Int J Oral Maxillofac Implants 1995;10:702-11.
10. Weiss EI, Kozak D, Gross MD. Effect of repeated closures on opening torque values in seven abutment-implant systems. J Prosthet Dent 2000;84:194-9.
11. McGlumphy EA, Mendel DA, Holloway JA. Implant Screw Mechanics. Dent Clinics North Am 1998;42:71-89.
12. Cibirka RM, Nelson SK, Lang BR, Rueggeberg FA. Examination of the implant-abutment interface after fatigue testing. J Prosthet Dent 2001;85;268-75.
13. Rangert B, Jemt T, Jorneus L. Forces and Moments on Branemark Implants. Int J Oral Maxillofac Implants 1989;4:241-7.
14. Shigley J. Mechanical Engineering Design, ed 3. New York: McGraw Hill, 1987: 227-52.
15. Motosh N. Development of design charts for bolts preloaded up to the plastic range. J Eng Ind 1976;98:849-51.
16. Burguete RL, Johns RB, Patterson EA, King T. Tightening characteristics for screwed joints in the osseointegrated dental implants. J Prosthet Dent 1994;71:592-5.
17. Robb TT, Porter SS. Increasing abutment screw rotation by applying a thin-gold coating [abstract 1641]. J Dent Res 1998;77(special issue):837.
18. Robb TT, Porter SS. Increasing implant-abutment preload by thin gold coating abutment screws [abstract 1642]. J Dent Res 1998;77(special issue):837.
19. Martin WC, Woody RD, Miller BH, Miller AW. Implant abutment screw rotations and preloads for four different screw materials and surfaces. J Prosthet Dent 2001;86:24-32.
20. Vigolo P. Cemented versus screw-retained implant-supported single tooth crowns: A 4-year prospective clinical study. Int. J Oral Maxillofac Implants 2004;19:260-5.
21. Liu Y, Gubisch M, Hild W, Scherge M, Spiess L, Knedlik Ch, Schaefer JA. Nanoscale multilayer WC/C coatings developed for nanopositioning, part II: Friction and wear. Thin Solid Films 2005;488:140-8.
22. Cavazos E. Bell FA. Preventing loosening of implant abutment screws. J Prosthet Dent 1996:75:566-9.
23. Lazza RJ. Criteria for implant selection: surgical and prosthetic consideration. Pract Perio Aesthet Dent 1994;6:55-62.
24. Binon P. Screw joints, components, and other intimate relationships. J Prosthet Dent 1994;72:625.
25. Sutter F, Weber HP, Sorensen J, Belser U. The new restorative concept of the ITI den-

tal implant system: design and engineering. Int J Periodont Rest Dent 1993;13:409-31.
26. Abououssef H, Weinberg S, Ehrenberg D. Effects of an antirotation resistance form on screw loosening for single implant-supported crowns. J Prosthet Dent 2000;82:312-6.
27. Sakaguchi RL, Sun T, Hacck JE. External strain distribution on implant prosthetic component [abstract 1045]. J Dent Res 1994;73(special issue):232.
28. McGlumphy E. Keeping implant screws tight: Are we beyond retrievability? Proceedings of the Fourth International Symposium on Implant Dentistry: Focus on Esthetics. J Prosthet Dent 1994;72:628.
29. Korioth TW, Cardoso AC, Versluis A. Effect of washers on reverse torque displacement of dental implant gold retaining screws. J Prosthet Dent 1999;82:312-6.
30. Adrian ED, Krantz WA, Ivanhoe JR, Turner KA. A silicone obturator for the access canal in an implant-retained fixed prosthesis. J Prosthet Dent 1999;81:234-6.
31. Bickford JH. An introduction to the design and behavior of bolted joints. New York: Marcel Dekker, Inc, 1981.
32. Sakaguchi RL, Borgersen SE. Nonlinear contact analysis of preload in dental implant screws. Int J Oral Maxillofac Implants 1995;10:295-302.
33. Haack JE, Sakaguchi RL, Sun T, Coffey JP. Elongation and preload stress in dental implant abutment screws. Int. J Oral Maxillofac Implants 1995;10:529-36.
34. Gratton DG, Aquilino SA, Stanford CM. Micromotion and dynamic fatigue properties of the dental implant-abutment interface. J Prosthet Dent 2001;85:47-52.
35. Hagiwara M, Ohashi N. A new tightening technique for threaded fasteners. Mater Eng ASME 1992;Vol III-B;371-6.
36. Levine RA, Clem DS, Wilson TG Jr., Higginbottom F, Solnit G. Multicenter retrospective analysis of the ITI Implant System used for single-tooth replacements: Results of loading for 2 or more years. Int J Oral Maxillofac Implants 1999;14:516-20.
37. Sin HC. About the coefficient of friction. Journal of KSTLE 1986;4:29-41.
38. Haack JE, Sakaguchi RL, Sun T, Coffey JP. Determination of preload stress in dental implant screws [abstract 808]. J Dent Res 1994;73(special issue):202.
39. Griffith HT. Suggested tightening torques for structural bolts. Fastener Technology/February 1987. In: Torque Tensioning: A Ten Part Complication. Stow, OH: Fastener Technology, Jan-Dec 1987.

Reprint request to:

Chang-Mo Jeong, D.D.S., M.D.S., Ph.D.
Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Busan National University
1-10 Ami-dong, Seo-gu, Pusan, 602-739, Korea
cmjeong@pusan.ac.kr

ABSTRACT

INFLUENCE OF TUNGSTEN CARBIDE/CARBON COATING ON THE PRELOAD OF IMPLANT ABUTMENT SCREWS

Jin-Uk Choi, D.D.S., M.S.D., Chang-Mo Jeong, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Young-Chan Jeon, D.D.S., M.S.D., Ph.D., Jang-Seop Lim, D.D.S., M.S.D., Ph.D.,
Hee-Chan Jeong, D.D.S., M.S.D., Tae-Gwan Eom*

Department of Dentistry, College of Dentistry, Busan National University
**Osstem Implant R&D Center, Busan, Korea*

Statement of problem: In order to increase preload with reducing the friction coefficient, abutment screws coated with pure gold and Teflon as dry lubricant coatings have been introduced. But the reported data indicate that if screw repeated tightening and loosening cycle, an efficiency of increasing preload was decreased by screw surface wearing off.

Purpose: This study was to evaluate the influence of tungsten carbide/carbon coating, which has superior hardness and frictional wear resistance, on the preload of abutment screws and the stability of coating surface after repeated closures.

Material and method: The rotational values of abutment screws and the compressive forces between abutment and fixture were measured in implant systems with three different joint connections, one external butt joint and two internal cones. Moreover, the stability and the alteration of coating surface were examined by comparison of the compressive force and the removable torque values during 10 consecutive trials, observation with scanning electron microscope and analyzed the elemental composition with energy dispersive x-ray spectroscopy.

Results and conclusion:

1. Application of coating resulted in significant increase of compressive force in all implant systems($P<.05$). The increasing rate of compressive force by coating in external butt joint was greater than those in internal cones($P<.05$).
2. Coated screw showed the significant additional rotation compared to non-coated screw in all implant systems($P<.05$). There were no significant differences in the increasing rate of rotation among implant systems($P>.05$).
3. Removable torque values were greater with non-coated screw than that with coated screw ($P<.05$).
4. Coated screw showed insignificant variations in the compressive forces during 10 consecutive trials($P>.05$).
5. After repeated trials, the surface layer of coated screw was maintained relatively well. However, surface wearing and irregular titanium fragments were found in non-coated screw.

Key words: Tungsten carbide/carbon coating, Abutment screw, Preload