

2012년 8월

2012년 8월
박사학위논문

박사학위논문

질화타이타늄 코팅된 어버트먼트
나사를 사용한 임플란트 고정체의
피로파절 현상

정
다
운

질화타이타늄 코팅된 어버트먼트 나사를 사용한 임플란트 고정체의 피로파절 현상

조선대학교 대학원

치 의 학 과

정 다 운

질화타이타늄 코팅된 어버트먼트
나사를 사용한 임플란트 고정체의
피로파절 현상

Fatigue Fracture Phenomena of Dental Implant Fixture
Used Titanium Nitride Coated Abutment Screw

2012년 8월 24일

조선대학교 대학원

치 의 학 과

정 다 운

질화타이타늄 코팅된 어버트먼트
나사를 사용한 임플란트 고정체의
피로파절 현상

지도교수 정 재 현

이 논문을 치의학 박사학위신청 논문으로 제출함.

2012년 4월

조선대학교 대학원

치 의 학 과

정 다 운

정다운의 박사학위 논문을 인준함.

위원장	조선대학교	교수	강 동 완	인
위 원	전남대학교	교수	조 규 종	인
위 원	조선대학교	교수	정 재 현	인
위 원	조선대학교	교수	최 한 철	인
위 원	조선대학교	교수	손 미 경	인

2012년 6월

조선대학교 대학원

목 차

영문초록	iv
I. 서 론	1
II. 연구재료 및 방법	3
III. 연구성적	7
IV. 총괄 및 고안	21
V. 결 론	25
참고문헌	26

표 목 차

Table 1. The variation of fracture cycle according to load of non-coated and TiN-coated abutment screw and fixture 15

도 목 차

Fig. 1. Photographs of abutment screw, abutment and fixture. (a) non-coated abutment screw, (b) TiN-coated abutment screw, (c) abutment and fixture	3
Fig. 2. Load-displacement of implant system after static compression test for fracture load	5
Fig. 3. The schematic diagrams of cyclic loading apparatus and fixed specimen.	6
Fig. 4. FE-SEM and EDS micrographs showing the non-coated screw surface. (a) screw top (b) screw flank (c) EDS	8
Fig. 5. FE-SEM micrographs showing the TiN-coated screw surface. (a) screw top (b) screw flank (c) EDS	8
Fig. 6. FE-SEM micrographs showing the cross-sectional fitness between fixture and non-coated abutment screw. (a) overall (b) right side (c) magnification of (b)	9
Fig. 7. FE-SEM micrographs showing the cross-sectional fitness between fixture and TiN-coated abutment screw. (a) overall (b) right side (c) magnification of (b)	10
Fig. 8. The variation of load, displacement, and stress of non-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 569N(a,b,c), 498N(d,e,f), 427N(g,h,i)	11
Fig. 9. The variation of load, displacement, and stress of non-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 356N(a,b,c), 284N(d,e,f), 213N(g,h,i)	12
Fig. 10. The variation of load, displacement, and stress of TiN-coated	

abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 569N(a,b,c), 498N(d,e,f), 427N(g,h,i)	13
Fig. 11. The variation of load, displacement, and stress of TiN-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 356N(a,b,c), 284N(d,e,f), 213N(g,h,i)	14
Fig. 12. Mean fatigue life of non-coated(a) and TiN-coated(b) abutment screw and fixture with load	15
Fig. 13. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 569 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b)	18
Fig. 14. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 498 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b)	18
Fig. 15. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 427 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b)	19
Fig. 16. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 569 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b)	19
Fig. 17. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 498 N: (a) overall, (b),(c) fixture, (d),(e) magnification of (c)	20
Fig. 18. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 427 N: (a) overall, (b) fixture, (c) plastic deformed area, (d),(e) cleavage fractured surface	20

Fatigue Fracture Phenomena of Dental Implant Fixture Used Titanium Nitride Coated Abutment Screw

Jung, Da Un, D.D.S., M.S.D.

Director : Prof. Chung, Chae-Heon, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Dentistry,

Graduate School of Chosun University

The purpose of this study was to investigate fatigue fracture phenomena of dental implant fixture used titanium nitride coated abutment screw under cyclic load.

For the research of the fatigue fracture phenomena of dental fixture, TiN coated abutment screw(ShinHeung MST: TiN Screw RP/Luna), the fixture(Luna $\phi 4.0 \times 11.5\text{mm}$), abutment(Duo Abut. $\phi 4.5\text{G}/\text{H}2.0 \text{ H}5.5 \text{ Hex}$) of internal hex type were prepared the each part of implant system used in this study for fatigue test after repeated loosening and tightening 5 times. After loosening and tightening, implant system was cut by diamond cutter for observation of fitness between fixture and abutment screw. The abutment surface and cross-sectional surface were observed using EDS and FE-SEM.

For investigating of fatigue fracture of dental fixture, the fatigue test was carried out according to ISO 14801:2003(E) using tensile and compression tester (AG - 10kNX, Shimadzu, Japan) with repeated load from 30% to 80% of static fracture force. And then fracture surface was observed by FE-SEM for fracture phenomena of dental fixture.

1. The fitness between abutment screw and fixture was improved in the case of TiN-coated abutment screw compared to non-coated abutment screw.
2. The fracture cycle drastically decreased as repeated load increased. Especially, in the case of TiN-coated abutment screw, fracture cycle increased compared to non-coated abutment screw.
3. The fatigue crack was propagated fast as repeated load increased, the step of striation increased from $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$ to $2.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ for TiN-coated abutment screw, from $1.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ to $2.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ for non-coated abutment screw, as repeated load increased.
4. The plastic deformation region decreased, whereas, cleavage fracture region increased as repeated load increased. Especially, the plastic deformation region of TiN-coated abutment increased compared to non-coated abutment screw, whereas, cleavage fracture region decreased as repeated load increased.

In conclusion, it is considered that the fatigue characteristics and fitness between abutment screw and fixture can be improved by performing coating with TiN film on the surface of abutment screws.

I. 서 론

최근 노령화로 인한 치과 임플란트의 치료환자가 크게 증가하고 있는 추세이다. 치과 임플란트는 주로 어버트먼트와 고정체가 나사로 연결되어 있어 체결 후 이들 사이에 풀림이나 흔들림 등 결합상태가 견고하게 유지되어야 한다^{1,2)}. 구강 내와 같이 반복하중이 임플란트 보철물에 가해지면 체결된 나사가 풀리게 되고 결국 보철물 사이에서 틈을 보임으로써 치면세균막의 침착과 동시에 고정체와 어버트먼트 나사가 파절되게 된다³⁾.

임플란트의 피로파절현상은 금속표면에서 일단 생성된 균열이 높은 전단응력을 받는 결정면을 따라 매우 천천히 전파해 나가는 단계⁴⁾와 균열의 진전 속도는 매우 빠르게 증가하는 단계로 나뉘며 전자를 1단계 후자를 2단계 균열전파과정으로 분류된다. 2단계 전파과정⁴⁾은 파절면에 해변무늬(beach mark)와 줄무늬(striation)의 두 가지 양상⁴⁾이 나타나는데 균열생성 위치와 전파방향을 알 수 있어 파절면 관찰에 관한 연구가 관심을 갖고 있다. 이러한 파절의 양상을 보고 임플란트의 피로저항성을 유추할 수 있다.

파절을 야기하는 나사풀림은 나사표면의 거칠기에 의한 영향을 받으며 미세한 거칠기로 나사표면에서 완벽하게 접촉할 수 없을 때 나타난다. 정착효과가 나사의 탄성신장보다 클 때 나사의 접촉력이 상실되어 나사풀림이 발생한다.^{2,5)}

따라서 반복하중에 의한 풀림⁶⁾은 두 단계로 나뉘며 나사결합부위에 저작력 등 외력이 가해져서 나사산 사이에 미세한 미끄러짐이 발생하여 나사의 전하중과 신장력감소를 유발하는 단계와 외력이나 진동에 의해 나사산이 약간 회전하면서 전하중이 임계치 이하로 감소하여 풀림이 발생한다. 결국 유지 나사의 신장과 풀림 및 파절로 임플란트 고정체의 파절로 이어지게 된다.⁷⁻⁹⁾

이와 같이 반복하중에 의한 임플란트의 풀림과 조임에 관한 연구와 피로파절에 관한 연구는 많이 이루어졌다. 또한 풀림방지를 위해 표면에 기능성물

질인 WC, TiN, DLC, ZrN등을 코팅한 경우 반복적인 조임과 풀림의 효과를 높일 수 있고 마찰 계수가 낮아 마찰저항을 최소화하여 표면의 안정성 부여와 동시에 강도를 부여할 수 있다는 연구는 많으나¹⁰⁾ 코팅된 어버트먼트를 사용한 경우의 고정체와 어버트먼트 나사의 파절 후, 파절 표면의 분석을 통한 이들 기능성물질이 파로파절의 저항성에 미치는 연구는 매우 제한적 이다^{1,11)}.

따라서 본 연구에서는 어버트먼트 나사에 이온플레이팅법(ion-plating)으로 TiN을 코팅한 후 고정체에 어버트먼트를 체결하여 적합정도를 조사하고 ISO 14801 규정에 따라 피로시험을 행한 후 파절단면을 관찰하여 코팅물질이 고정체의 피로파절 저항성에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 연구재료 및 방법

가. 연구재료

a. 코팅된 어버트먼트 나사와 고정체 준비

연구에 사용된 어버트먼트 나사는 (주)신흥 엠에스티에서 제작된 TiN코팅한 것(TiN Screw RP/Luna)과 코팅되지 않은 것을 준비하였으며 Fig. 1은 연구에 사용된 internal type의 고정체(Luna $\phi 4.0 \times 11.5\text{mm}$), 어버트먼트(Duo Abut. $\phi 4.5\text{G}/\text{H}2.0 \text{ H}5.5 \text{ Hex}$) 및 어버트먼트 나사를 각각 나타내고 있다. Fig. 1-a는 코팅되지 않은 어버트먼트 나사를, Fig. 1-b는 TiN코팅된 어버트먼트 나사를 Fig. 1-c는 어버트먼트 및 고정체를 보여주고 있다. TiN코팅된 경우는 금색의 어버트먼트 나사를 보인다. 코팅표면의 성분은 에너지 분산 엑스선 장비(EDS:energy dispersive x-ray spectroscopy; S-4800, Hitach, Japan)를 사용하여 조사하였다.

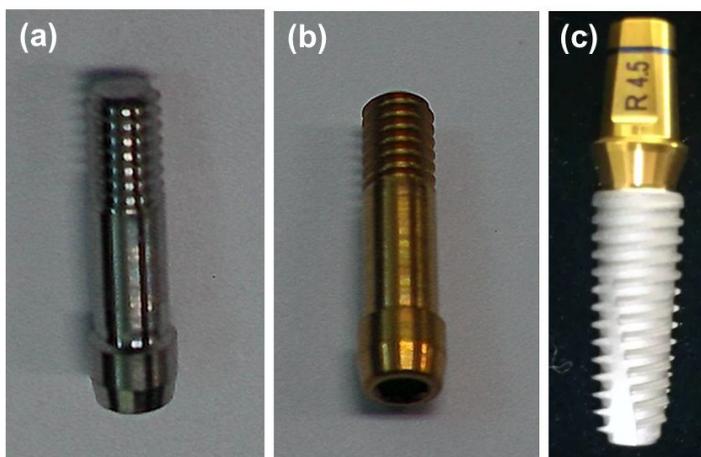


Fig. 1. Photographs of abutment screw, abutment and fixture. (a) non-coated abutment screw, (b) TiN-coated abutment screw, (c) abutment and fixture.

나. 연구방법

a. TiN 코팅된 어버트먼트나사의 풀림과 조임실험

본 연구에 사용된 임플란트 시스템의 어버트먼트 나사는 Ti-6Al-4V합금으로 제조된 것이며 비교군으로 코팅하지 않은 것 20개를, 실험군으로 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사 20개씩을 준비하여 조임과 풀림을 5회 반복한 후 피로파괴시험을 시행하였다. 나사를 고정체에 조일 때의 잠금력은 회사의 사용지시서에 따라 32 Ncm을 적용하였고, 잠금력을 일정하게 하기 위해 전자 토크 제어기(Branemark system DEA 020 Torque controller)를 사용하였다. 어버트먼트 나사를 잠그고 10초 정도의 시간이 지난 후 풀었으며 반복적으로 5회를 동일한 조건으로 실시하였다.

b. 임플란트 고정체와 어버트먼트 나사의 적합정도 관찰

반복 풀림과 조임으로 임플란트 고정체와 어버트먼트를 어버트먼트 나사로 체결한 후, 에폭시로 매몰하고 절단기를 사용하여 단면을 절단한 다음, 미세 연마를 실시하였다. 미세 연마된 단면은 주사전자 현미경을 사용하여 적합정도를 관찰하였다.

c. 고정체와 어버트먼트 나사의 동적피로시험

고정체와 어버트먼트 나사의 정적 압축강도를 조사하기 위하여 ISO 14801:2003(E)규정에 따라 인장압축시험기(AG-10kNX, Shimadzu, Japan)를 사용하여 5 mm/min의 head speed로 압축하중을 주어 최대 파절하중을 조사하였다. 실험에 사용한 최대 파절하중은 Fig. 2와 같이 평균 711N이었으며 최대 파절하중의 80%(569N), 70%(498N), 60%(427N), 50%(356N), 40%(284N), 30%(213N) 값을 선택하여 이를 최고 하중으로 하고 최저하중을

각각의 10%로 하여 56.9N~569N, 49.8N~498N, 42.7N~427N, 35.6N~356N, 28.4N~284N 및 21.3N~213N범위로 하여 반복하중을 부여하였다. 반복하중은 Fig. 3과 같이 공압식 동적재료시험기(ADT-AV01k1, Shimadzu, Japan)에 임플란트 시스템을 치과용 임플란트 피로시험에 관한 ISO 14801:2003(E) 규정에 따라 30°의 경사각도로 장착하였다. 장착 후 하중조건은 최소하중과 최대하중의 sine형 반복하중을 임플란트 어버트먼트 상부에 주기를 15 Hz하여 가하였다. 온도와 습도를 일정(온도 25℃, 습도 40%)하도록 하여 약 20년간의 평균 저작횟수에 해당하는 500만회 까지 최종반복횟수를 부여하였다.

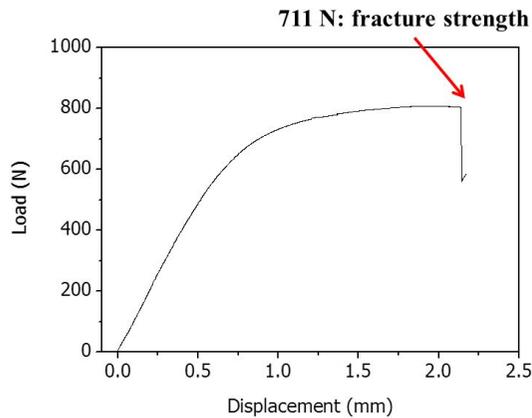


Fig. 2. Load-displacement of implant system after static compression test for fracture load.

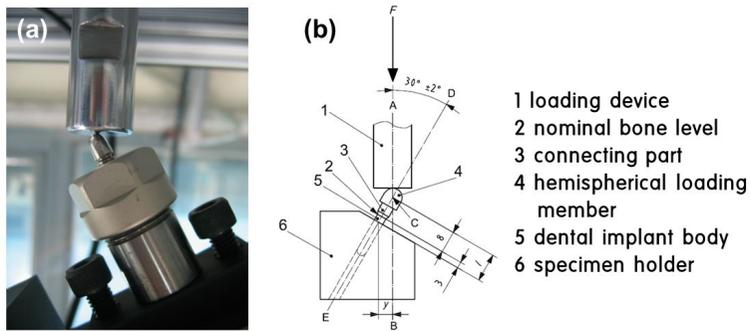


Fig. 3. The schematic diagrams of cyclic loading apparatus and fixed specimen.

c. 고정체의 피로파절 표면의 관찰

고정체의 피로파절된 표면의 관찰은 주사전자현미경(FE-SEM; S-4800, Hitach, Japan)를 사용하여 관찰 하였다.

Ⅲ. 연구 성적

1. 주사전자현미경을 이용한 어버트먼트 나사의 표면조사

Fig. 4는 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 보여주고 있다. 어버트먼트 나사의 나사산(Fig. 4-a)과 나사면(Fig. 4-b)에서 조직사진을 보면 산에서 밀링 가공 시에 발생된 것으로 보인 기계적인 가공에 의한 결함이 나타나있다. 3000배 이상으로 관찰한 사진이지만 나사면에서 큰 스크래치 사이에 평탄한 부분을 보이고 있다. EDS로 표면성분을 조사한 결과, 합금의 원소인 Ti, V, Al이 검출되었다(Fig. 4-c).

Fig. 5는 이온플레이팅(ion-plating)으로 TiN을 코팅한 표면을 주사전자현미경으로 촬영한 것으로 나사산(Fig. 5-a)에서 가공시 발생된 스크래치를 따라서 코팅물질이 코팅되었음을 보인다. 나사면(Fig. 5-b)에서는 코팅입자들이 균일하게 분포되어 있어 코팅이 잘 이루어짐을 보인다. 나사면에서 EDS분석을 한 결과(Fig. 5-c), 표면에서 질소와 Ti만이 검출되고 있어 TiN코팅이 잘 이루어짐을 알 수 있다.

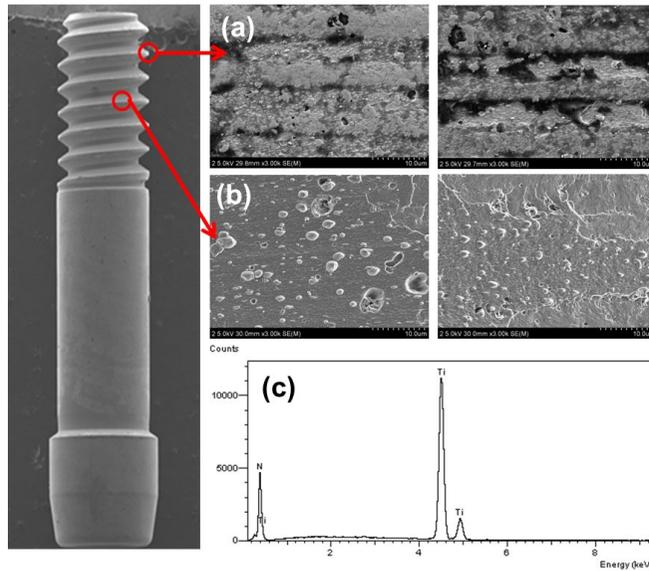


Fig. 4. FE-SEM and EDS micrographs showing the non-coated screw surface. (a) screw top (b) screw flank (c) EDS

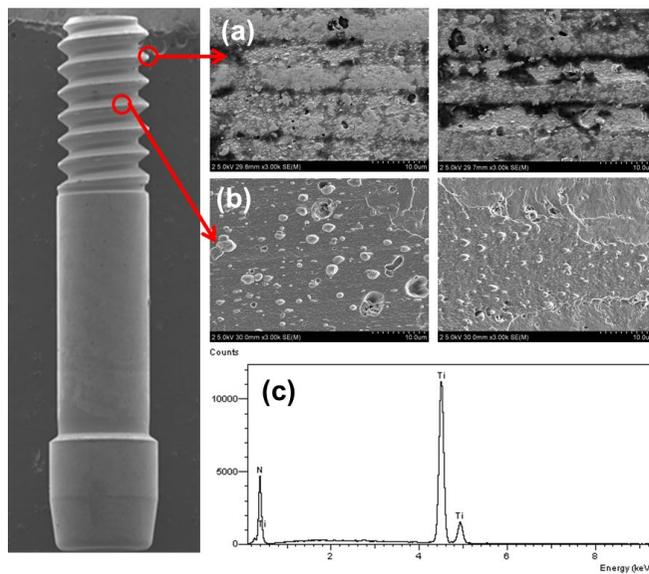


Fig. 5. FE-SEM micrographs showing the TiN-coated screw surface. (a) screw top (b) screw flank (c) EDS

2. 임플란트 고정체와 어버트먼트 나사의 적합정도 관찰

Fig. 6은 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 이용하여 고정체에 반복 풀림과 조임으로 어버트먼트를 체결하여 주사전자현미경으로 단면을 관찰한 것이다. 전체적으로 보면 나사의 상부면(Fig. 6-a)에서 접촉이 이루어져 간격이 좁고 하부에 틈이 크게 생겼음을 보인다. 이를 자세히 관찰하기 위하여 배율을 높여서 보면(Fig. 6-b,c) 확연히 알 수 있다.

Fig. 7은 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 이용하여 고정체에 반복 풀림과 조임으로 어버트먼트를 체결하여 주사전자현미경으로 단면을 관찰한 것이다. 전체적으로 보면 나사면이 균일하게 상부와 하부에서(Fig. 7-a) 잘 접촉이 이루어졌지만 코팅을 하지 않은 경우와 비슷하게 나사면의 하부에서 틈(Fig. 7-b,c)이 크게 발생했음을 보인다.

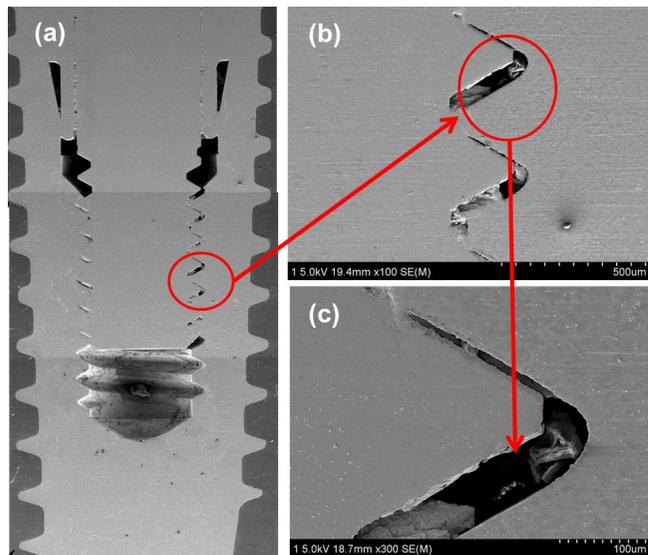


Fig. 6. FE-SEM micrographs showing the cross-sectional fitness between fixture and non-coated abutment screw. (a) overall (b) right side (c) magnification of (b).

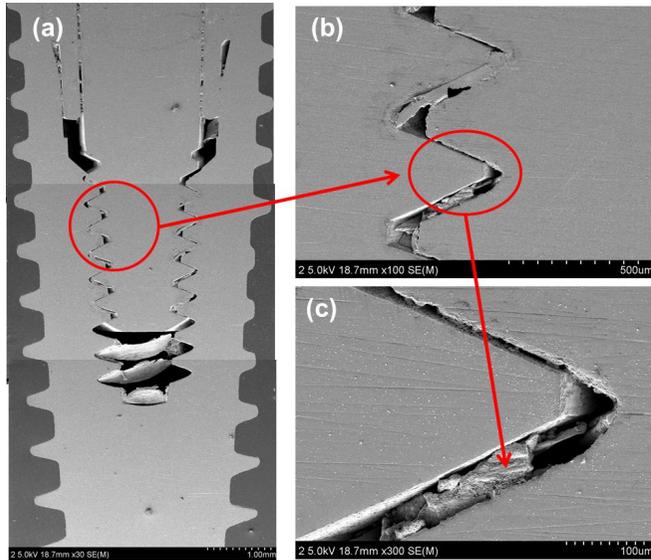


Fig. 7. FE-SEM micrographs showing the cross-sectional fitness between fixture and TiN-coated abutment screw. (a) overall (b) right side (c) magnification of (b).

3. 고정체와 어버트먼트 나사의 동적피로시험 결과

Fig. 8과 9는 파절하중의 80%의 569N 하중에서부터 30%인 213N까지 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용한 임플란트 고정체에 반복하중을 가한 후 얻는 load-cycle(Fig. 8,9-a,d,g,) displacement-cycle(Fig. 8,9-b,e,h), stress-cycle(Fig. 8,9-c,f,i)의 곡선을 나타낸 것이다. 피로수명의 평균값은 반복하중이 감소함에 따라 46,471, 46,346, 185,732, 3,459,321, 5,000,000, 5,000,000 cycle순으로 증가하였다. 표준편차는 반복횟수가 증가할수록 크게 나타남을 보였다. 특히 변위와 반복횟수의 관계에서 파절되는 횟수에서 변위가 갑자기 증가하는 경향을 보였다.

Fig. 10과 11은 파절하중의 80%의 569N 하중에서부터 30%인 213N까지 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용하여 임플란트 고정체에 반복하중을 가한 후 얻은 load-cycle(Fig. 10,11-a,d,g,) displacement-cycle(Fig.

10,11-b,e,h), stress-cycle(Fig. 10,11-c,f,i)의 곡선을 나타낸 것이다. 피로수명의 평균값은 반복하중이 감소함에 따라 코팅하지 않은 경우에 비하여 증가된 132,995, 113,540, 191,671, 5,000,000, 5,000,000, 5,000,000 cycle 순으로 증가하였다. 특히 70%와 80%의 하중이 가해진 경우는 거의 비슷한 반복횟수에서 파괴를 보였다. 이를 정리 하여 Table 1과 Fig. 12에 나타내었다.

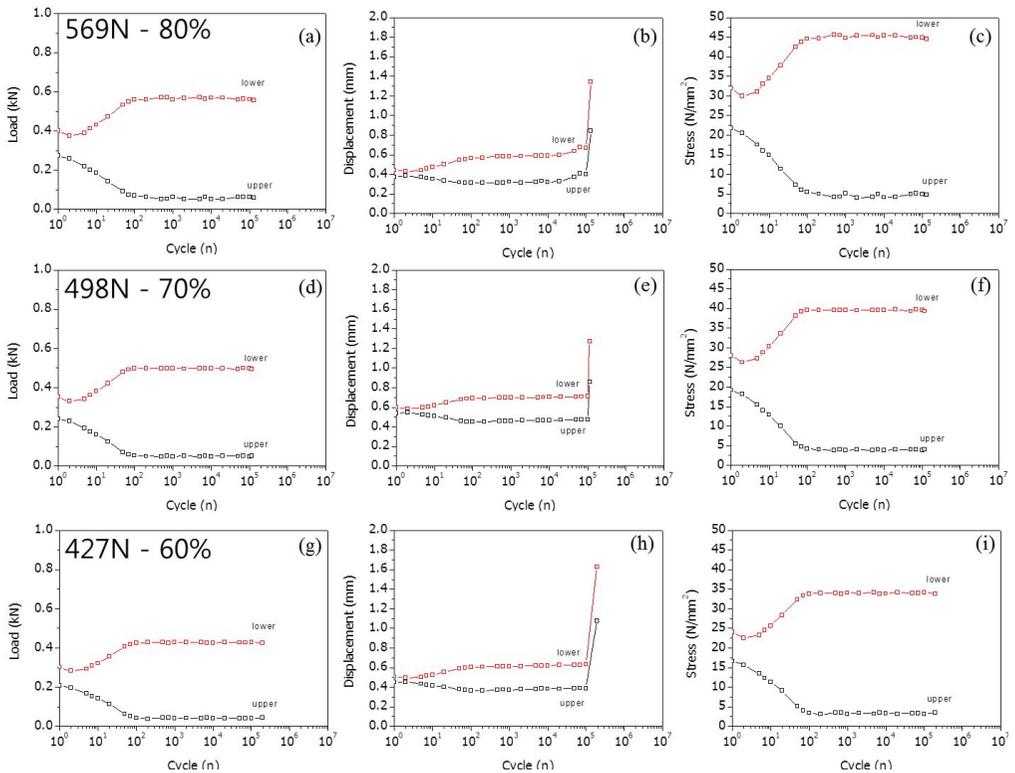


Fig. 8. The variation of load, displacement, and stress of non-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 569N(a,b,c), 498N(d,e,f), 427N(g,h,i).

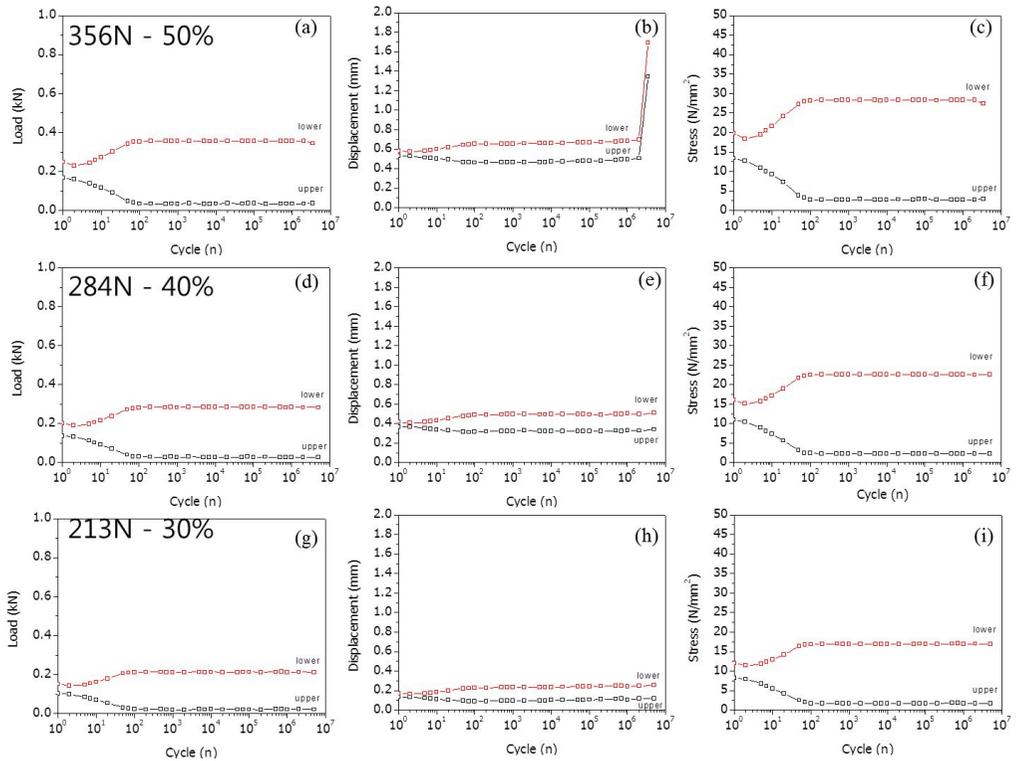


Fig. 9. The variation of load, displacement, and stress of non-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 356N(a,b,c), 284N(d,e,f), 213N(g,h,i).

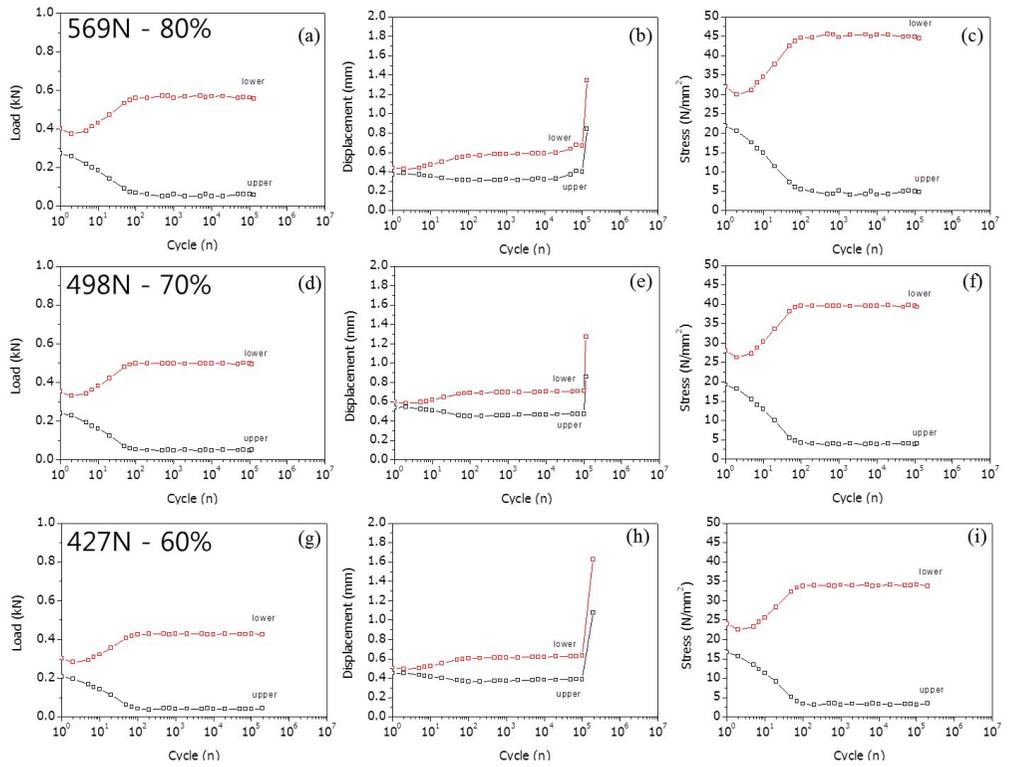


Fig. 10. The variation of load, displacement, and stress of TiN-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 569N(a,b,c), 498N(d,e,f), 427N(g,h,i).

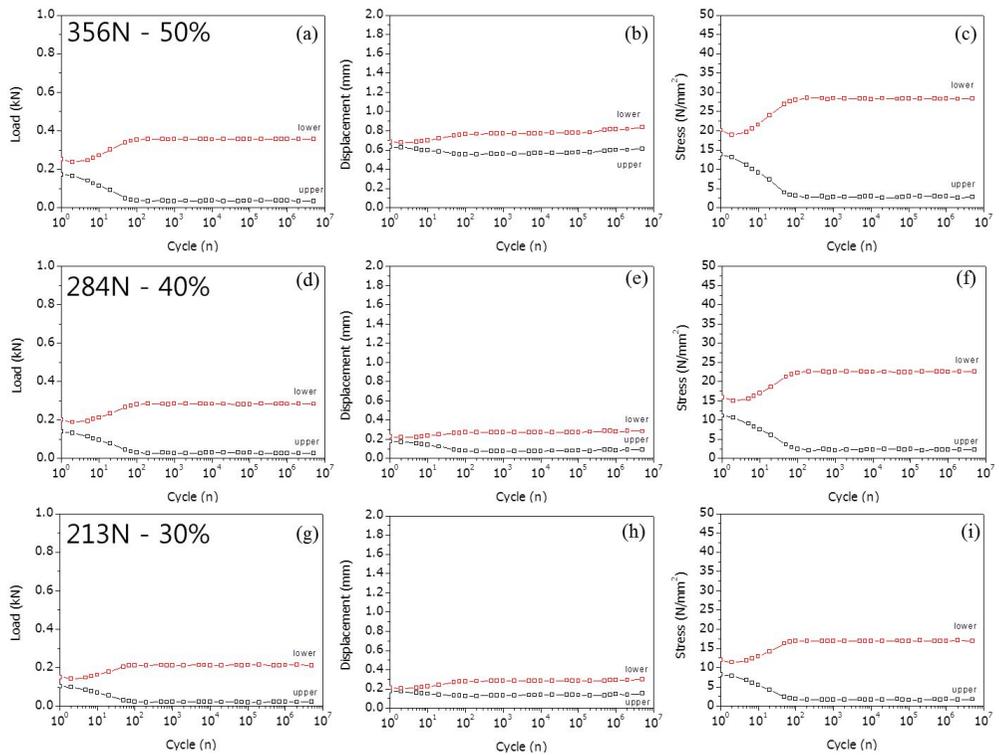


Fig. 11. The variation of load, displacement, and stress of TiN-coated abutment screw and fixture during cyclic fatigue loading at 356N(a,b,c), 284N(d,e,f), 213N(g,h,i).

Table 1. The variation of fracture cycle according to load of non-coated and TiN-coated abutment screw and fixture.

Non-Coating Load (N)	Failure cycle		TiN-Coating Load (N)	Failure cycle	
80% - 569N	Specimen	46,471	80% - 569N	Specimen	132,995
70% - 498N	Specimen	46,346	70% - 498N	Specimen	113,540
60% - 427N	Specimen	185,732	60% - 427N	Specimen	191,671
50% - 356N	Specimen	3,459,321	50% - 356N	Specimen	5,000,000
40% - 284N	Specimen	5,000,000	40% - 284N	Specimen	5,000,000
30% - 213N	Specimen	5,000,000	30% - 213N	Specimen	5,000,000

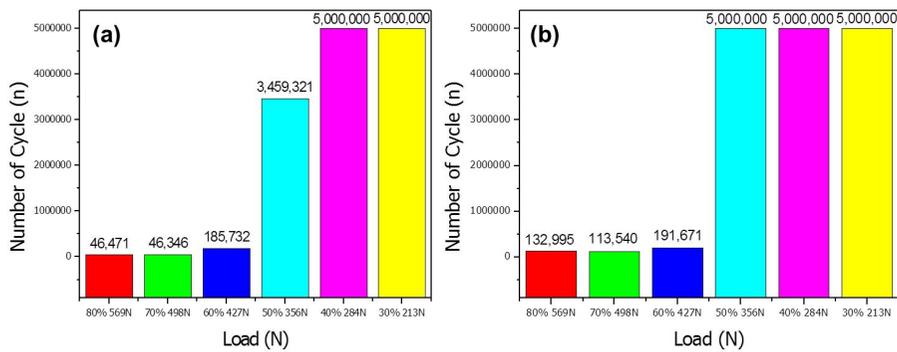


Fig. 12. Mean fatigue life of non-coated(a) and TiN-coated(b) abutment screw and fixture with load.

3. 고정체의 파절과 단면 관찰

Fig. 13은 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체에 파절하중의 80%인 569N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 아래 부분에서 윗부분으로 나타났고(Fig. 13-a) 갑작스럽게 파절된 최종파단의 면적이 넓게 나타났다. 균열이 초기에서 전파되어 나가는 표면에서 물결모양(beach mark)이 나타났고(Fig. 13-b) 그 영역에서 피로 줄무늬(striation)가 관찰되었다(Fig. 13-c). 줄무늬의 간격은 약 1.5 - 2.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도를 보인다.

Fig. 14는 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체에 하중을 70%로 낮추어 498N의 피로하중에서, 피로파절시험 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 양상은 파절하중의 80%에서 행한 것과 유사하며(Fig. 14-a) 물결모양의 피로줄무늬가 균일한 간격으로 잘 나타나있다(Fig. 14-b,c). 특히 Fig. 14-b에서 준벽개파괴(semi-cleavage) 영역과 균열 전파 영역에서 소성변형이 이루어진 양상이 다름을 보인다. 줄무늬의 간격은 약 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도를 보인다.

Fig. 15는 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용한 경우로 하중을 60%로 더 낮추어 427N의 피로하중으로 피로파절시험 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 양상은 좌에서 우로 전파가 이루어졌으며 소성변형을 하면서 균열의 전파가 이루어지다가 갑자기 파괴되는 영역의 면적(Fig. 15-a)이 80%와 70%에 비하여 작아짐을 알 수 있다. 소성변형의 영역(Fig. 15-b)에서 미세한 피로 줄무늬를 보여준다(Fig. 15-c). 피로 줄무늬의 간격은 약 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 보다 작은 미세 줄무늬를 보인다.

Fig. 16은 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체에 파절하중의 80%인 569N으로 피로하중을 가하여, 피로파절 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 11시 부분에서 4시 방향으로 이루어졌고(Fig. 16-a) 균열의 전파가 소성변형 없이 갑작스럽게 이루어진 면적이 코팅

하지 않은 경우와 비슷하게 넓게 나타났다. 소성변형 영역에서는 균열이 초기에서 전파되어 나가는 표면에서 피로 줄무늬(striation)가 관찰되었다(Fig. 16-b). 그러나 갑작스럽게 파괴된 부분은(Fig. 16-c) 벽개파괴의 양상을 보여 피로줄무늬가 관찰되지 않았다. 줄무늬의 간격은 약 1.5 - 2.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도 나타났다.

Fig. 17은 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체에 하중을 70%로 낮추어 498N의 피로하중에서, 피로파괴시험 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 11시에서 4시 방향으로 되었으며(Fig. 17-a) 소성변형의 면적이 넓게 나타났다. 그러나 벽개파괴 영역에서 보면 피로줄무늬는 보이지 않고 있다(Fig. 17-b,c,d,e).

Fig. 18은 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용한 경우로 하중을 60%로 더 낮추어 427N의 피로하중으로 피로파괴시험 후 표면을 FE-SEM으로 관찰한 것이다. 균열의 전파는 1시 방향에서 7시 방향으로 전파가 이루어졌으며 소성변형한 면은 더 넓어졌으며 벽개파괴 면적은 크게 감소한 경향을 보인다(Fig. 18-a). 소성변형영역과 벽개파괴영역의 경계에서 촬영한 사진에서 피로 줄무늬가 있고 없음이 확연히 나타난다(Fig. 18-d). 피로 줄무늬의 간격은 약 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 보다 작은 미세 줄무늬를 보인다.

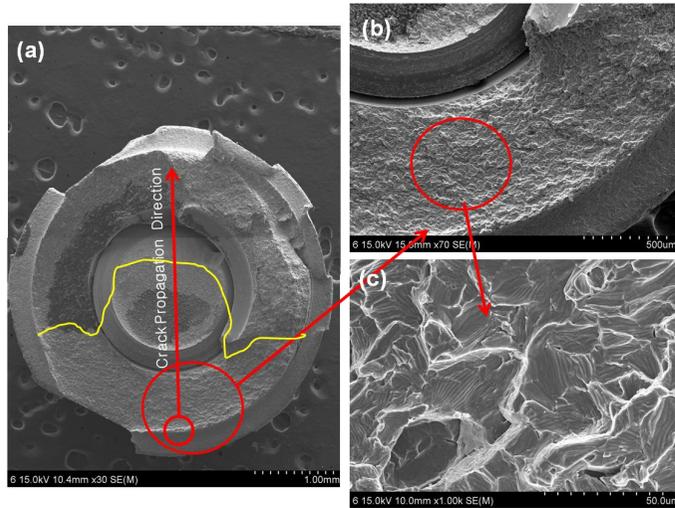


Fig. 13. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 569 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b).

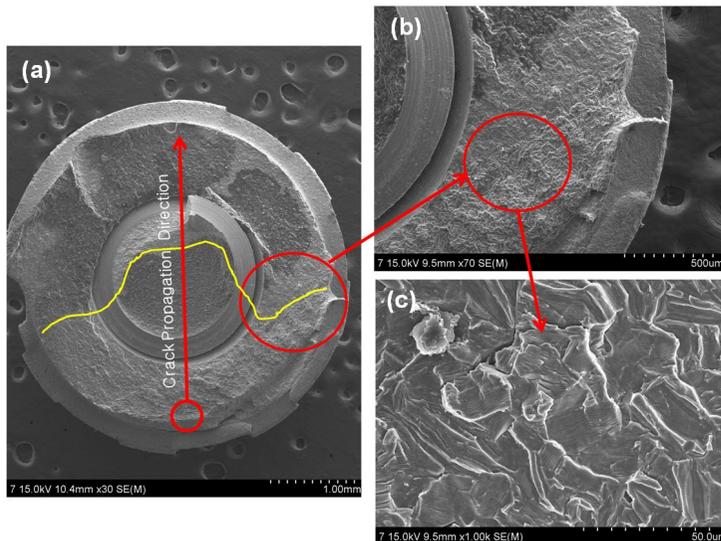


Fig. 14. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 498 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b).

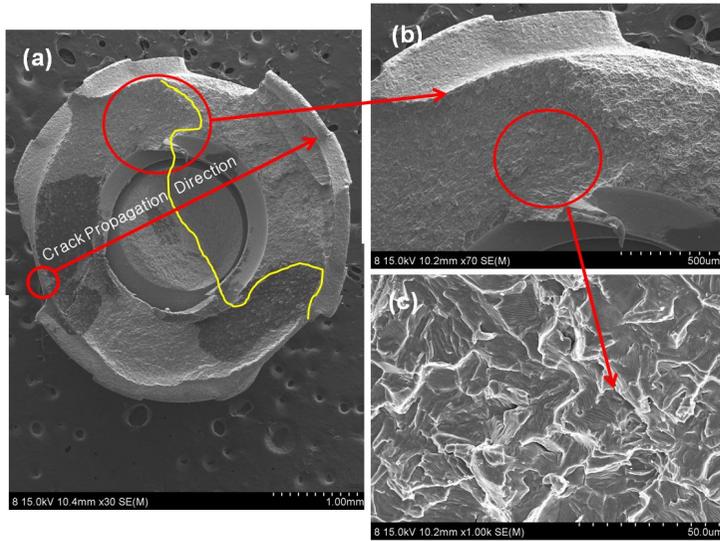


Fig. 15. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with non-coated abutment screw after fatigue test at 427 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b).

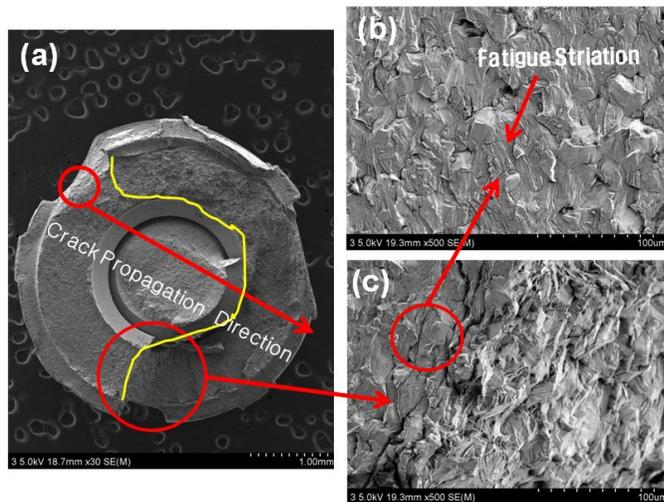


Fig. 16. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 569 N: (a) overall, (b) fixture, (c) magnification of (b).

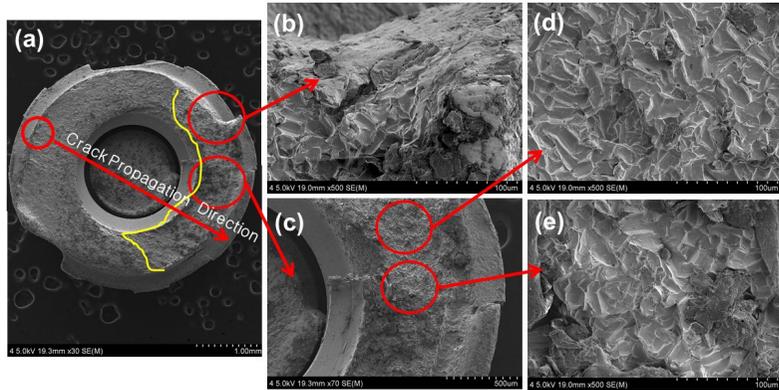


Fig. 17. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 498 N: (a) overall, (b),(c) fixture, (d),(e) magnification of (c).

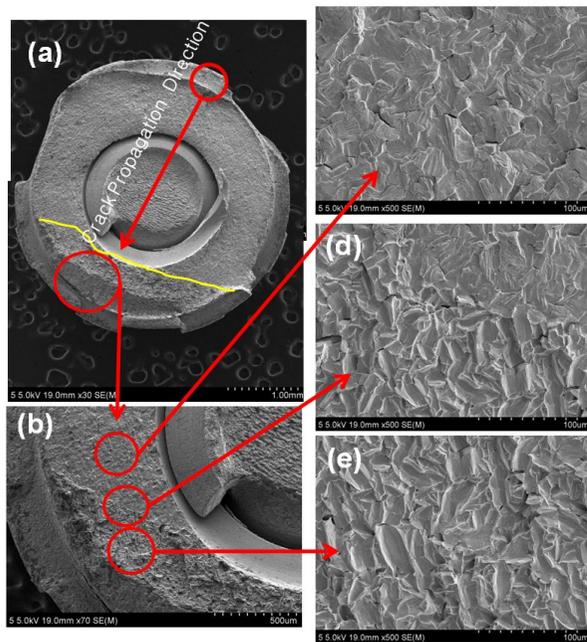


Fig. 18. FE-SEM showing the fracture surface of fixture with TiN-coated abutment screw after fatigue test at 427 N: (a) overall, (b) fixture, (c) plastic deformed area, (d),(e) cleavage fractured surface

IV. 총괄 및 고안

최근 치과 임플란트 시술환자가 크게 증가함에 따라 임상적으로 문제도 많이 발생되고 있다. 특히 치과 임플란트의 파절은 매식주변의 골이 손실되고 쉽게 파절에 이르게 되는데 최근 파단면 조사 연구에서 보면 피로파절에 의한 문제로 나타났다. 임플란트 고정체의 피로파절은⁴⁾ 응력이 집중되는 노치(notch)나 스크래치에 의한 것이 주이며 이러한 응력집중 자리는 기계적인 가공과 임플란트 가공 시 발생되며 내부나사의 가공시 고정체의 두께의 균일성 등에서도 피로강도를 감소시킬 수 있는 요인이 된다.

따라서 본 연구에서는 피로저항성을 증가시킬 수 있는 TiN을 코팅하여 내부 나사의 적합도를 고찰해 보고 피로파절시 고정체의 표면현상을 고찰해 보았다.

본 실험에서 사용된 어버트먼트 나사는 코팅하지 않은 것과 TiN을 이온플레이팅법으로 코팅 한 것을 사용하여 나사산과 면에서 밀링가공 시에 발생된 결함을 제거하고자 했다. 고배율로 보면 TiN을 코팅한 경우는 이러한 코팅효과로 많은 스크래치가 제거된 것으로 보인다. 따라서 나사에 TiN의 코팅은 최고의 경도와 마모저항성을 갖기 때문¹²⁾에 반복하중 작용시 피로균열이 전파될 수 있는 자리를 제거¹³⁾ 할 수 있음을 보였다(Fig. 5-a). 그러나 코팅하지 않은 경우는 많은 큰 스크래치가 있음을 보였다(Fig. 4-a).

TiN을 코팅한 어버트먼트 나사로 어버트먼트를 고정체에 고정한 후 적합정도를 관찰한 결과를 보면 나사면이 균일하게 상부와 하부에서(Fig. 7-a) 잘 접촉이 이루어졌지만 코팅하지 않은 경우는 나사면의 하부에서 틈이 크게 나타나는데 이는 나사산의 가공과정에서 편차에 의해 간격의 편차가 있을 수 있다. 틈에서 보이는 입자들은 5회 반복 조임과 풀림을 하는 과정에서 산이 뭉개지면서 마모입자가 발생되어 나타났을 수 있으며 단면관찰을 위해서 커터기로 자르는 과정에서 틈이 넓은 경우는 삽입될 수 있으나 주로 산의 뭉개짐¹⁴⁾에 초점을 맞추면 코팅하지 않은 경우는 상부 접촉부위(Fig. 6-c)에 입자

들이 많이 존재하지만 TiN을 코팅한 경우는 접촉부위에 입자가 거의 없어 (Fig. 7-c) TiN의 코팅효과가 접촉에 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

고정체와 어버트먼트 나사에 파절하중의 80%의 569N 하중에서부터 30%인 213N까지 반복하중을 가해 보면 TiN코팅한 것과 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용한 임플란트 고정체 모두 하중, 변위 및 응력이 반복횟수의 증가에 따라 변화되며 특히 변위는 파절되는 반복횟수에서 급격히 증가됨을 보였다(Fig. 8,9,10,11-b,e,h). 피로수명은 반복하중을 감소시키면 코팅하지 않은 경우는 46,471 cycle에서 5,000,000 cycle로 증가하였고 TiN을 코팅한 경우는 132,995에서 5,000,000 cycle로 증가하였다. 이와 같이 높은 하중에서는 낮은 반복횟수에서 낮은 하중에서는 높은 반복횟수를 보이는 이유는 표면에 발생된 균열이 빠르게 전파하기 때문으로 생각된다^{1,11,15}). 그러나 TiN을 코팅한 경우는 50%의 하중을 가해서 얻은 파절횟수가 5,000,000 cycle에서도 파괴가 일어나지 않으나 코팅하지 않은 경우는 3,459,321 cycle에서 파괴되어 낮은 하중에서 코팅효과가 현저하게 나타남을 알 수 있다(Table 1, Fig. 2). 이는 TiN이 낮은 하중에서 응력집중의 자리¹⁾를 제거함으로써 균열의 전파¹⁾를 어느 정도 지연시켰을 것으로 생각된다.

기존의 연구는 어버트먼트 나사의 파절에 관한 연구^{1,16)}가 대부분이고 실제로 처음 균열은 고정체에서 발생되어 어버트먼트 나사로 전파되기 때문에 고정체의 표면을 고찰해 보면 어버트먼트 나사의 균열 저지 역할을 알 수 있을 것으로 생각된다. 어버트먼트의 나사의 경우 균열전파 과정에서 나타나는 파면¹⁶⁾은 인장 쪽에서는 소성변형의 표면인 dimple파면을, 그리고 중간단계에서는 벽개와 dimple파면을, 벽개와 압축 쪽 dimple의 혼합파면을, 그리고 압축 쪽 dimple 파면을 나타낸다고 보고¹⁶⁾하고 있다.

고정체의 파절면을 고찰해 보면 코팅하지 않은 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체에 569N으로 피로하중을 가하여 피로파절 후 표면은 소성변형 영역(beach mark area)⁴⁾과 갑작스럽게 파절된 면 즉 벽개파괴(cleavage area)⁴⁾로 나뉘어 나타나는데 최종파단의 면적이 넓게 나타났다(Fig. 13-a).

또한 소성영역에서는 피로줄무늬(striation)⁴⁾가 잘 관찰되어(Fig. 13-c) 반복하중이 가해 졌음을 알 수 있다. TiN을 코팅한 경우는 코팅하지 않은 것에 비하여 소성변형의 면적과 갑작스럽게 파괴된 면적의 차이가 크게 나타나지 않아 높은 하중에서는 균열의 전파저지를 하는데 TiN코팅막이 피로특성에 현저하게 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다. 피로파절에서 전파속도는 소성변형 영역에서는 균열이 초기에서 전파되어 나가는 피로 줄무늬간격으로 알 수 있는데 코팅하지 않은 경우나 TiN를 코팅한 경우나 1.5 - 2.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도의 크기를 나타내어 전파속도¹⁾가 빠름을 알 수 있다(Fig. 13, 16-c).

반복하중을 70%로 낮추면 균열의 전파양상은 파절하중의 80%에서 전파양상과 유사하고 소성변형의 면적과 벽개파괴면적의 크기가 약간 작거나 유사하며(Fig. 14-a) 물결모양의 피로줄무늬가 균일한 간격으로 잘 나타나있다(Fig. 14-b,c). 소성변형의 표면과 벽개파괴영역이 혼재한 영역을 준벽개파괴(semi-cleavage)^{1,7)}로 볼 수 있는데 잘 구분되어 나타났다(Fig. 14-b). 하중이 낮아짐으로써 균열의 전파속도가 늦어져 줄무늬의 간격은 약 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 정도로 80%에 비하여 2배 정도 감소됨을 보인다. TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용하여 체결된 고정체의 파절 단면을 보면 벽개파괴영역이 감소됨을 보인다(Fig. 17-a).

하중을 60%로 더 낮추어 427N의 피로하중을 가하면 코팅하지 않은 경우, 균열의 전파양상은 소성변형을 하면서 균열의 전파가 이루어지다가 갑자기 파괴되는 영역의 면적(Fig. 15-a)이 80%와 70%에 비하여 작아짐을 알 수 있으며 미세한 피로 피로줄무늬의 간격(Fig. 15-c)은 약 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 보다 작게 감소되었는데 하중이 낮아 균열의 전파속도가 크게 감소되었으며 TiN을 코팅한 어버트먼트 나사를 사용한 경우는 소성변형한 면은 더 넓어졌으며 벽개파괴 면적은 크게 감소한 경향을 보였다(Fig. 18-a). 피로 줄무늬의 간격은 약 0.5 - 1.0 $\mu\text{m}/\text{cycle}$ 보다 작은 미세 줄무늬를 보여 전파속도가 크게 낮아짐을 알 수 있다. 고정체에서도 연성파괴의 특성인 dimple 표면을 소성변형영역에서 보여주었으며 취성파괴의 특성인 벽개파괴영역은 마지막 파괴단계에

서 나타났다.

결론적으로 반복하중이 감소함에 따라 피로파절의 균열전파속도는 낮았고 TiN코팅한 경우가 낮은 전파속도를 보임으로써 TiN코팅처리가 고정체의 피로특성개선에 영향을 미친 것으로 생각된다.

V. 결 론

질화타이타늄 코팅된 어버트먼트 나사를 사용한 임플란트 고정체의 피로파절 현상을 조사하기 위하여 적합도와 동적피로시험을 행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 어버트먼트 나사와 고정체의 적합도를 조사한 결과, 코팅하지 않은 것에 비해 TiN을 코팅한 경우는 나사접촉면에 조임과 풀림시에 발생한 입자나 파편이 작고 적합이 잘 이루어졌다.
2. 피로반복하중의 증가에 따라 파절횟수는 크게 감소하며 TiN을 코팅한 경우는 코팅하지 않은 것에 비해 낮은 하중에서 파절횟수 증가 효과가 크게 나타났다.
3. 피로균열의 전파는 하중이 증가할수록 빠르게 나타났고 TiN코팅한 경우는 피로줄무늬 간격이 $0.5\mu\text{m}/\text{cycle}$ 에서 $2.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ 로, 코팅하지 않은 경우는 $1.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ 에서 $2.0\mu\text{m}/\text{cycle}$ 로 크게 증가하였다.
4. 하중이 증가할수록 소성변형의 영역은 감소하고 벽개파괴영역은 증가하였다. TiN을 코팅한 경우는 코팅하지 않은 경우에 비하여 소성변형영역은 증가하고 벽개파괴영역은 감소하였다.

결론적으로 TiN코팅한 경우가 코팅하지 않은 경우에 비하여 낮은 반복하중에서 고정체의 피로파절의 전파속도가 낮아 TiN코팅 처리가 고정체의 피로특성개선에 영향을 미친 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. Jeong YH, Lee CH, Chung CH, Son MK, Choe HC: Effect of TiN and WC coating on the fatigue characteristics of dental implant. Surf Coat Technol <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.02.046>
2. Jeong YT, Chung CH, Lee HT: Screw joint stability according to abutment screw materials. J Korean Acad Prosthodont 2001;39:297-305
3. Zarb GA, Schmitt A. The longitudinal clinical effectiveness of osseointegrated dental implants: The toronto Study Part 3: Problems and complications encountered. J Prosthet Dent 1990;64:185-194
4. Callister WD: Materials Science and Engineering An Introduction, Wiley, New York, 5th Ed, 2000; 222.
5. Sakaguchi RL, Borgersen SE. Nonlinear contact analysis of preload in dental implant screw. Int J Oral Maxillofac Implants 1995;10:295-302
6. Al Jabbari YS, Fournelle R, Ziebert G, Toth J, Iacopino AM: Mechanical behavior and failure analysis of prosthetic retaining screws after long-term use in vivo. Part 1: Characterization of adhesive wear and structure of retaining screws. J Prosthodont 2008;17:168-180.
7. Park WJ, Cho IH: Fatigue fracture of different dental implant system under cyclic loading. J Korean Acad Prosthodont 2009;47:424-434.
8. Kim JM, Han JS, Lee SY, Yang JH, Lee JB, Kim YS: A study of screw loosening after dynamic continuous fatigue test of several abutment screw. J Korean Acad Prosthodont 2003;41:519-531.
9. Lim TW, Cho IH, Lim JH, Lim HS: On the fatigue strength of dental implants with different types of connection between fixture and abutment cylinder. J Korean Acad Stomatognathic Func Occlusion

2002;18:1-19.

10. Koak JY, Heo SJ, Chang IT, Yim SH, Lee JY, Lee KR: The study on the removal torque of the diamond like carbon coated titanium abutment screws. *J Korean Acad Prothodont* 2003;41:128-135.
11. Kim RW, Kim HS, Choe HC, Son MK, Chung CH: Microscopic analysis of fractured dental implant surface after clinical use. *Eng Procedia* 2011;10:1955-1960
12. Marco JF, Agudelo AC, Gancedo JR and Hanel D: Corrosion resistance of single TiN layers, Ti/TiN bilayers and Ti/TiN/Ti/TiN multilayers on iron under a salt fog spray (phohesion) test: an evaluation by XPS. *Surface and Interface Analysis* 1998;27:71.
13. Kuhn G, Tavernier B, and Jordan L: Influence of structure on Nickel-titanium endodontic instrument failure. *J Endod* 2001;27:516-520.
14. Park YS, Vang MS, Lee SH: A Study on fitness of several domestic Implant fixture and abutment screws. *J Korean Acad Prosthodont* 2004;42:94-108
15. Choe HC, Hong KS, Ko YM, Kim BO: Surface analysis of clinically failed dental implant fixture. *J. Kor. Inst. Met. & Mater.* 2006;44:400-411.
16. Kim KN, Choi KH, Oh HS, Park JH, Kwon KR: A behavior of failure and fracture on Implant system under bending moment. *J Mech Sci Tech, Abstract of Spring Conference (2010): 243-248*