

Nd:YVO₄ 레이저 조사에 따른 티타늄의 표면특성 평가: 예비 연구

김애라¹ · 박지윤² · 김 연² · 전세원² · 서윤정¹ · 박상원^{1*}

전남대학교 치의학전문대학원¹보철학교실, ²치의학과

Evaluation of titanium surface properties by Nd: YVO₄ laser irradiation: pilot study

Ae-Ra Kim¹, DDS, MSD, Ji-Yoon Park², DDS, MSD, Yeon Kim², DDS, MSD,

Sei-Won Jun², DDS, MSD, Yoon-Jeong Seo¹, MSD, Sang-Won Park^{1*}, DDS, PhD

¹Department of Prosthodontics, ²Department of Dental Science, School of Dentistry, Chonnam National University, Gwangju, Korea

Purpose: This study was conducted to evaluate the roughness and surface alternations of three differently blasted titanium discs treated by Nd: YVO₄ Laser irradiation in different conditions. **Materials and methods:** Thirty commercially pure titanium discs were prepared and divided into three groups. Each group was consisted of 10 samples and blasted by ZrO₂ (zirconium dioxide), Al₂O₃ (aluminum oxide), and RBM (resorbable blasted media). All the samples were degreased by ultrasonic cleaner afterward. Nine different conditions were established by changing scanning speed (100, 300, 500 mm/s) and repetition rate (5, 15, 35 kHz) of Nd: YVO₄ Laser (Laser Pro D-20, Laserval Korea®, Seoul, South Korea). After laser irradiation, a scanning electron microscope, X-ray diffraction analysis, energy dispersive X-ray spectroscopic analysis, and surface roughness analysis were used to assess the roughness and surface alternations of the samples. **Results:** According to a scanning electron microscope (SEM), titanium discs treated with laser irradiation showed characteristic patterns in contrast to the control which showed irregular patterns. According to the X-ray diffraction analysis, only Al₂O₃ group showed its own peak. The oxidation tendency and surface roughness of titanium were similar to the control in the energy dispersive X-ray spectroscopic analysis. The surface roughness was inversely proportional to the scanning speed, whereas proportional to the repetition rate of Nd: YVO₄. **Conclusion:** The surface microstructures and roughness of the test discs were modified by the radiation of Nd: YVO₄ laser. Therefore, laser irradiation could be considered one of the methods to modify implant surfaces for the enhancement of osseointegration. (*J Korean Acad Prosthodont 2013;51:167-74*)

Key words: Nd: YVO₄ laser; Titanium surface; Blasting media

서론

임플란트 식립의 성공적인 열쇠는 연조직의 개입 없이 임플란트 표면과 골조직이 완전히 융합하는 것이다. 최근 많은 연구에서 임플란트의 생체 적합성을 높일 수 있는 방법을 보고하였다.^{1,2} 치과용 임플란트 재료로 많이 사용되는 티타늄은 표면에 치밀한 부동태피막(TiO₂)의 형성으로 우수한 부식 저항성과 생체 친화성이 우수하다. 이러한 성질에도 불구하고 임플란트의 임상적 성공은 무엇보다도 긴밀한 골과의 유착이 전제된다.^{3,6} 골유착을 위해 임플란트 표면의 거칠기를 높히려는 노

력이 여러 방면으로 시도되었다. 표면을 기계로 가공하거나 작은 입자를 표면에 분사하여 거칠기를 형성하는 방식이 사용되었다.^{2,5,7} 또 화학적으로 표면을 산화시키거나 산부식을 하는 방법도 사용되었고,^{2,5,6} 플라즈마 분사를 시도한 바도 있었다.^{2,5,8}

레이저는 현재 의료계 내에서 다양한 의료 분과에서 사용되고 있다. 임플란트와 관련해서 임플란트 주위염의 치료에 레이저를 사용하려는 시도 뿐 아니라^{9,10} 레이저 조사로 임플란트 표면의 미세 구조를 변화시켜 임플란트의 성공을 증진하려는 노력도 있었다.^{11,12} 최근 널리 사용되는 레이저를 이용한 임플란트 표면 처리 방식은 이전의 방식과 비교하였을 때 레이저

*Corresponding Author: Sang-Won Park

Department of Prosthodontics, School of Dentistry, Chonnam National University,
33 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju, 500-757, Korea
+82 62 530 5630: e-mail, psw320@chonnam.ac.kr

Article history: Received June 7, 2013 / Last Revision June 27, 2013 / Accepted July 4, 2013

© 2013 The Korean Academy of Prosthodontics

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

입력 변수를 조절할 수 있어 오염 없이 원하는 표면특성을 반복적으로 형성할 수 있다.^{10,12,13}

Nd:YVO₄ 레이저(Nd³⁺-doped yttrium vanadate laser)는 현재 임플란트 연구에 널리 사용되는 Nd:YAG 레이저와 유사하게 Nd³⁺ 이온을 사용하는 레이저이다.¹⁴ Nd:YVO₄ 결정 속의 Nd³⁺ 이온은 Nd:YAG의 경우와 비슷한 흡수 및 방출 스펙트럼을 보이나, 흡수 스펙트럼이 보다 넓고 강하다.^{9,15} 따라서 Nd:YAG 보다 더 높은 출력을 낼 수 있는 레이저이다.^{14,16} Braga 등¹³은 Nd:YVO₄ 레이저를 반복률과 주사속도에 변화를 주며 상용 순수 티타늄 (commercially pure titanium) 시편에 조사하여 표면의 변화를 관찰하였는데, 본 연구와 마찬가지로 주사 속도가 감소할수록, 반복률이 커질수록 표면에 축적된 레이저의 에너지 밀도(energy density)가 증가하여 더 거친 표면을 형성하였다.

본 예비 연구에서는 ZrO₂ (zirconium dioxide), Al₂O₃ (aluminium oxide), RBM (resorbable blasted media)으로 블라스팅(blasting) 한 상용 순수 티타늄 디스크에 에너지 출력을 고정한 상태에서 Nd:YVO₄ 레이저(Laser Pro D-20, Laserval Korea[®], Seoul, South Korea)의 주사속도와 시간당 진동량(반복률)을 변화시켜 레이저 조건을 달리한 후 티타늄 표면 거칠기 및 표면의 변화를 관찰함으로써 이에 대한 임상적 의미에 대해 고찰하고자 하였다.

연구 재료 및 방법

1. 시편준비

30개의 디스크 형태 상용 순수 티타늄(Grade 2, Kobe still Co., Japan) (직경 15 mm, 두께 1 mm)을 사용하였으며, 결정구조는 Table 1과 같다.

Table 1. Crystalline structure of titanium disc

Phase	Crystalline system	Space group ¹⁾	Cell parameter (Å) ²⁾	ICSD number ³⁾
α-Ti	Hexagonal	P63/mmc	a = b = 2.95, c = 4.686	76,144

¹⁾ Space group: a description of the symmetry of the crystal, ²⁾ Cell parameter: constant distance between unit cells in a crystal lattice, ³⁾ ICSD number (Inorganic Crystal Structure Database): database of inorganic crystal structure data.

Table 2. Experimental groups used in this study

Group	Blasting media	Number
Z	ZrO ₂ (-126 μm)	10
A	Al ₂ O ₃ (254.8 μm)	10
R	RBM (-530 μm)	10

Table 3. Laser irradiation conditions for the experimental specimens

Specimen No.	Control	S1R5	S1R15	S1R35	S3R5	S3R15	S3R35	S5R5	S5R15	S5R35
Power (%) ¹⁾	No	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Scanning speed (mm/s) ²⁾	No	100	100	100	300	300	300	500	500	500
Repetition rate (kHz) ³⁾	No	5	15	35	5	15	35	5	15	35

¹⁾ Power - ability to exercise energy per time unit (%), ²⁾ Scanning speed - scanning speed of laser at the surface of test discs per time unit (mm/s), ³⁾ Repetition rate - vibration quantity of laser irradiation on the particular spot per time unit (kHz).

2. 블라스팅(blasting)

표면에 처리한 블라스팅 매체(blasting media)에 따라 실험군을 Table 2와 같이 나누었다. RBM 공정에 이용된 분말은 65% 이상의 수산화인회석과 35% 이하의 β-TCP (tricalcium phosphate), α-TCP, TTCP (tetracalcium phosphate), 그리고 5% 이하의 다른 인산칼슘으로 구성되어 있으며 입자의 크기는 40 mesh (>425 μm)가 5% 이하, 40-80 mesh (425-180 μm)가 90% 이상, 80 mesh (<180 μm)가 5% 이하였다. Z군은 ZrO₂ (126 μm), A군은 254.8 μm 크기의 Al₂O₃ 입자를 사용하였다. Air-borne particle-abrasion device(Basic master[®], Renfert, Germany)를 이용하여 앞서 준비한 디스크 형태의 티타늄 표면에 수직으로 2 cm 떨어진 거리에서 10초간 블라스팅하였다. 블라스팅 후에는 시편을 아세톤에 담귀 10분간 초음파 세척한 후 건조시키고 레이저를 조사하지 않는 시편과 일정 조건하에서 레이저를 조사하는 시편으로 나누어 이후의 실험을 진행하였다.

3. 레이저 조사

티타늄 표면 처리를 위해서 Nd:YVO₄ 레이저(Laser Pro D-20, Laserval Korea[®], Seoul, South Korea)를 사용하였다. 레이저 출력(power)은 100% (20 W)로 고정한 상태에서 주사속도(scanning speed)를 각각 100, 300, 500 mm/s으로, 반복률(repetition rate)은 5, 15, 35 kHz로 변화를 주어 총 9개의 조건을 설정하였다(Table 3). 입력 변수에 따른 레이저 조사는 각 군당 1개의 시편에 시행하였다.

- 1) 출력(power) - 단위시간당 에너지(%)
- 2) 주사속도(scanning speed) - 레이저가 단위시간당 시료표면을 스캔 하는 속도(mm/s)
- 3) 반복률(repetition rate) - 단위시간당 진동량(kHz)

4. 시편의 표면 특성 분석

1) 주사전자현미경

주사 전자 현미경(Field Emission Scanning Electron Microscopy; FE-SEM, S-4700, Hitachi horiba, Japan)을 이용하여 500, 1,000배율에서 티타늄 표면의 미세 형상을 관찰하였다.

2) X-선 회절 분석 및 에너지 분산 X선 분광분석

시편을 분사한 후에 초음파 세척한 티타늄 표면의 결정 구조 및 성분을 평가하기 위하여 X-선 회절 분석(X-ray Diffraction; XRD, X'Pert, Phillips, Netherlands)과 에너지 분산 X선 분광분석(Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDX, EX-200, Horiba, Japan)을 통해 시료 표면의 정성 분석을 시행하였다. 주사전자현미경의 전자빔은 시료와의 상호작용에 의해 여러 가지 신호를 발생시키는데 에너지 분산 X선 분광분석은 이 신호를 입력 소스로 이용한다.

3) 표면 거칠기 측정

휴대용 표면 거칠기 측정기(Portable Roughness Meter-Model DH-7, Diavite, Switzerland)를 이용해 티타늄 표면의 거칠기(Ra)를 측정하였다. 거칠기는 scratch가 형성된 방향으로 측정하였으

며, 신뢰도를 높이기 위해 각 조건 별로 1개의 시편에 대해 5회씩 시행하였다.

5. 통계 분석

레이저 주사속도와 반복률에 따른 티타늄 표면 거칠기의 상관관계를 분석하기 위하여 이원 분산분석(two-way ANOVA)하여 통계적 유의성($P < .05$)을 검증하였다. 모든 계산은 SPSS (SPSS version 15.0, SPSS Inc, Chicago, IL, USA)를 이용하였다.

결과

1. 주사전자현미경을 이용한 표면 미세영상

레이저 조사를 시행하지 않은 티타늄 표면을 주사전자현미경을 이용하여 관찰한 결과 500, 1000 배율에서 티타늄 표면은 방향성이 없는 불규칙한 형상을 보였다(Fig. 1).

레이저 조사 처리가 된 시편에서는 군마다 특징적인 형태가 관찰되었다(Fig. 2). 이는 반복률이 커질수록, 주사속도는 작아질수록 더욱 뚜렷해지고 방향성을 갖는 양상을 나타냈다.

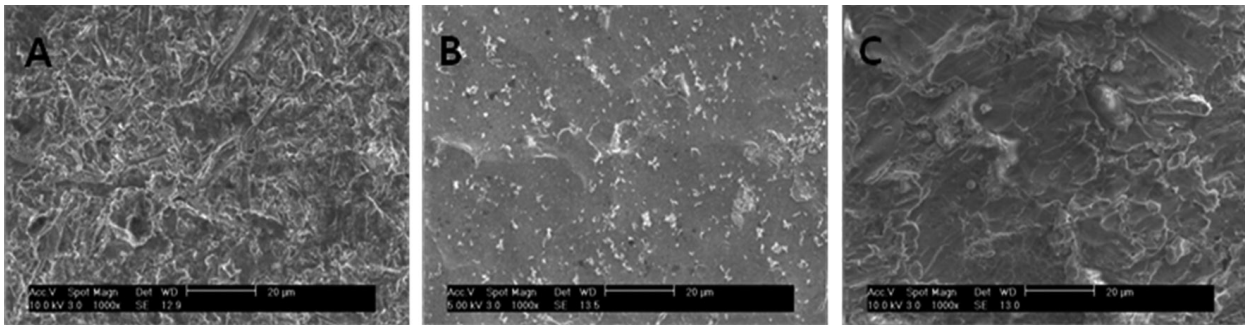


Fig. 1. SEM micrographs of titanium disc without laser irradiation at original magnification of $\times 1,000$. A: group Z, B: group A, C: group R.

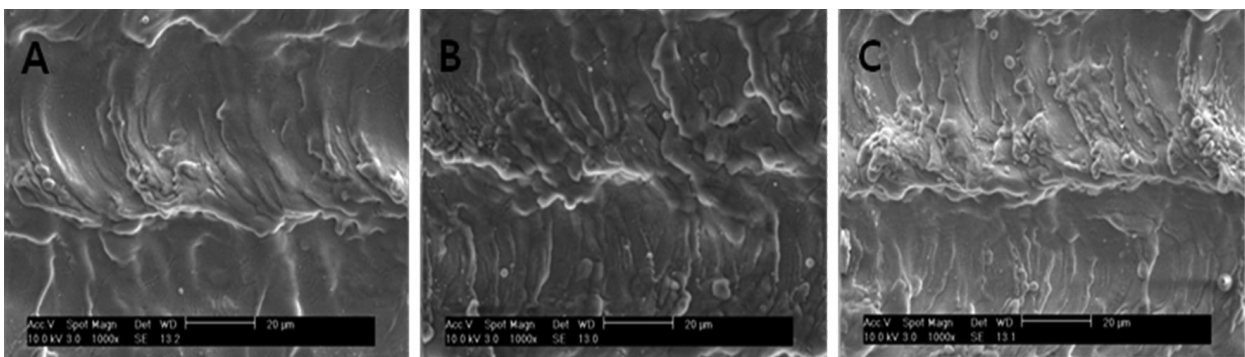


Fig. 2. SEM micrographs of titanium disc by laser irradiation at original magnification of $\times 1,000$.

A: bead form in group Z, B: wave-like pattern in group A, C: parallel scratch in group R.

* Specimen number is SIR35.

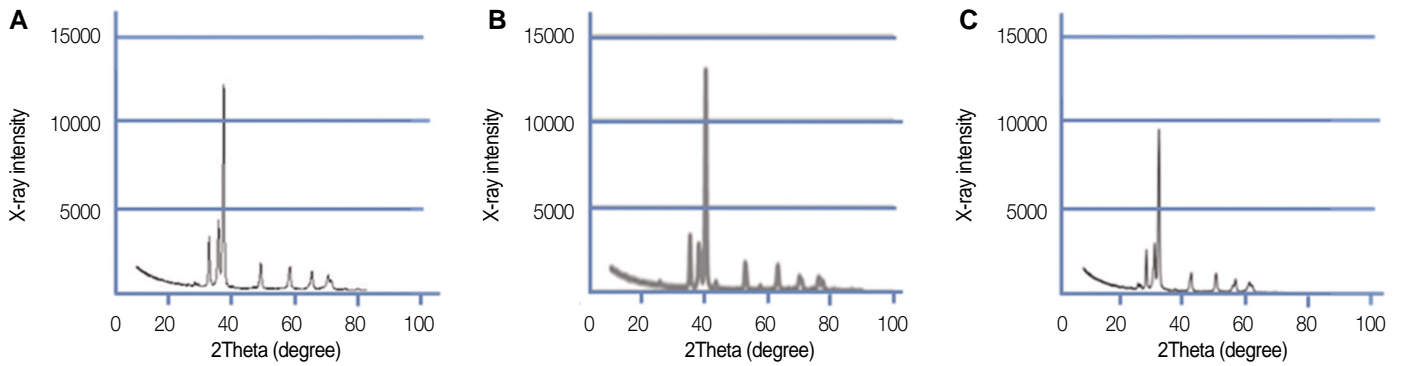


Fig. 3. The XRD spectra of the Ti specimen surfaces. A: group Z, B: group A, C: group R.

2. 표면성분분석

1) X선 회절 분석

X선 회절 분석기를 이용하여 티타늄 표면의 정성 분석을 시행하였다. Z군, R군에서는 티타늄 표면 성분의 회절 강도에 따라 여러 가지의 고유 피크가 관찰되었으나 분사에 사용된 ZrO₂ 나 RBM의 고유 피크는 관찰되지 않았다. A군에서는 티타늄과 알루미늄의 고유 피크가 관찰되었다(Fig. 3).

2) 에너지 분산 X선 분광분석

ZrO₂를 블라스팅한 군에서는 주사속도가 증가함에 따라 티타늄의 질량비는 높아지고 산소의 질량비는 낮아졌다. 그리고 반복률이 증가함에 따라 티타늄의 질량비는 낮아지고 산소의 질량비는 높아졌다(Fig. 4).

Al₂O₃를 블라스팅한 결과는 Fig. 5에 나와 있다. 반복률에 상관없이 주사속도가 100 mm/s일 때 티타늄의 함량은 전체적으로는 주사속도와 반비례하는 경향을 보였다. 주사속도가 300, 500 mm/s일 때 산소나 알루미늄 함량이 높았다.

RBM을 처리한 군에서는 산소함량이 주사 속도가 증가하면 감소하는 경향을 보였다(Fig. 6).

3. 표면 거칠기 측정

측정된 티타늄 표면 거칠기의 평균과 표준편차는 Table 4와 같다. 세 군 모두에서 반복률이 증가할수록 표면 거칠기가 증가하였고, Z군과 A군(35 kHz일 때), R군(15, 35 kHz일 때)에서는 주사속도에 증가할수록 표면 거칠기는 감소하는 경향을 보였다. 이는 주사전자현미경을 통해 관찰한 표면 거칠기 영상의 변화 및 에너지 분산 X선 분광분석을 통한 티타늄 표면의 산화

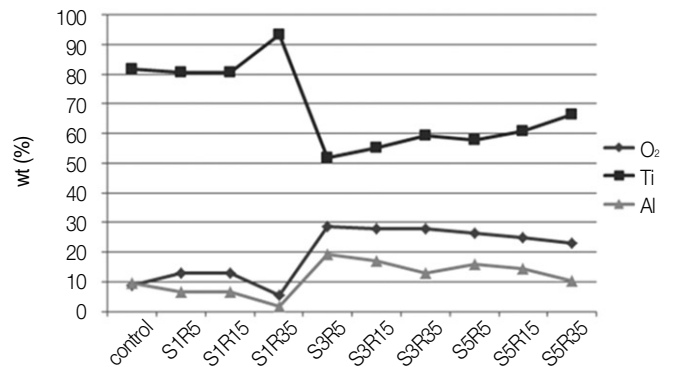


Fig. 5. The result of EDX analysis in group A.

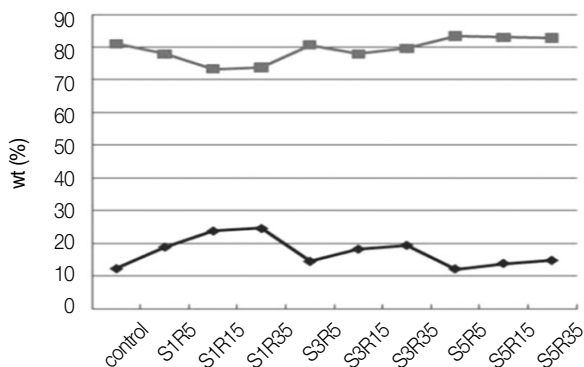


Fig. 4. The result of EDX analysis in group Z.

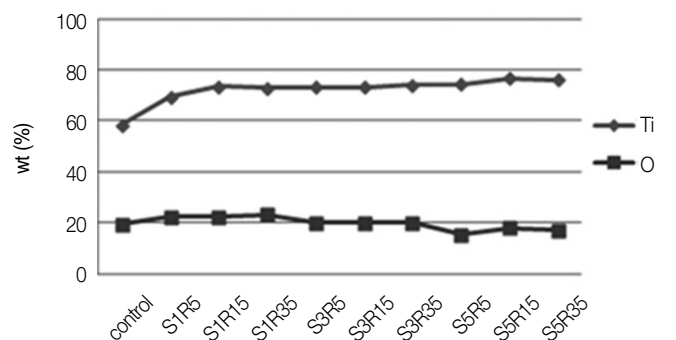


Fig. 6. The result of EDX analysis in group R.

도의 경향성과 유사하게 나타났다(Fig. 7). Fig. 7에서 보는 것처럼 레이저를 처리하지 않은 대조군의 표면 거칠기(orange color line) 보다 더 낮은 표면거칠기를 보이는 레이저 조건들이 존재하였다.

이원 분산분석 결과 세 군 모두에서 주사속도와 반복률에 따른 차이가 있었다($P < .05$) (Table 5).

Table 4. Surface roughness (Ra) (Mean \pm SD*) (μm)

	Z	A	R
Control	1.35 \pm 0.14	3.06 \pm 1.10	3.05 \pm 0.47
S1R5	1.34 \pm 0.30	1.99 \pm 0.34	2.58 \pm 0.44
S1R15	2.83 \pm 0.23	2.60 \pm 0.26	2.82 \pm 0.49
S1R35	3.31 \pm 0.08	3.70 \pm 0.82	3.68 \pm 0.63
S3R5	1.04 \pm 0.15	1.35 \pm 0.29	2.58 \pm 0.27
S3R15	1.66 \pm 0.12	1.39 \pm 0.36	3.46 \pm 0.38
S3R35	2.29 \pm 0.17	2.30 \pm 0.59	3.51 \pm 0.52
S5R5	0.73 \pm 0.06	1.98 \pm 0.70	2.37 \pm 0.24
S5R15	1.51 \pm 0.10	2.00 \pm 0.64	2.57 \pm 0.47
S5R35	1.88 \pm 0.10	2.19 \pm 0.53	2.88 \pm 0.12

*SD: standard deviation

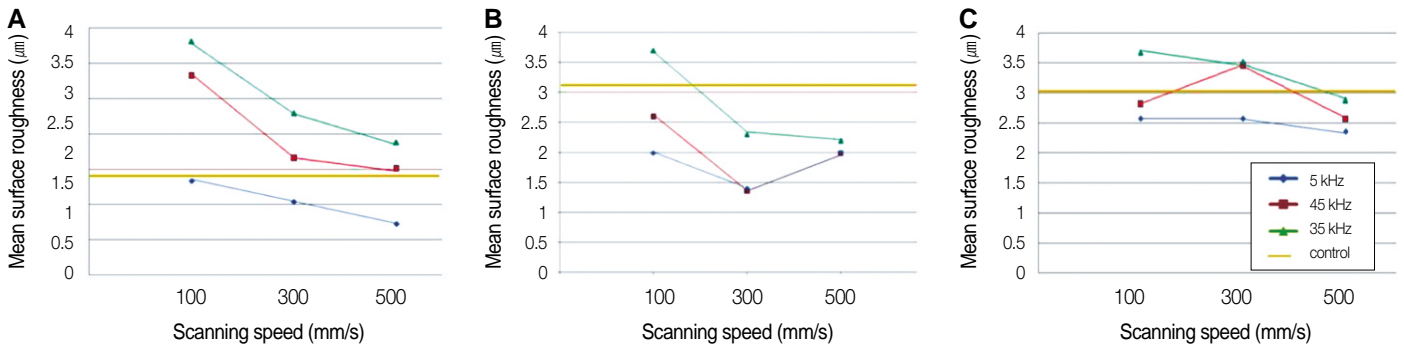


Fig. 7. Changes of surface roughness by Scanning Speed and Repetition rate: A, group Z; B, group A; C, group R.

Table 5. Two-way ANOVA with scanning speed and repetition rate

Group	Source	DF	Sum of squares	Mean square	F value	P value
Z	Scanning speed	2	10.124	5.062	89.824	<.001
	Repetition rate	2	16.483	8.242	146.243	<.001
	Scanning speed*Repetition rate	5	27.725 ^a	5.545	98.395	<.001
	Error	44	2.48	0.056		
	Corrected Total	49	30.205			
A	Scanning speed	2	9.01	4.505	10.839	<.001
	Repetition rate	2	7.481	3.74	8.999	<.001
	Scanning speed*Repetition rate	5	20.066 ^a	4.013	9.655	<.001
	Error	44	18.288	0.416		
	Corrected Total	49	38.354			
R	Scanning speed	2	2.687	1.344	6.784	.003
	Repetition rate	2	5.395	2.698	13.621	<.001
	Scanning speed*Repetition rate	5	8.140 ^a	1.628	8.22	<.001
	Error	44	8.714	0.198		
	Corrected Total	49	16.854			

고찰

임플란트 재료에 관한 연구로 1991년 Johansson과 Albrektsson¹⁷은 상용 순수 티타늄이 임플란트 재료로 최선의 선택이라 하였다. Gottlander와 Albrektsson¹⁸은 코팅된 티타늄 임플란트를 추천하였는데, 초기단계에서는 수산화인회석(hydroxyapatite)이 더 빠른 골 반응을 보이고 4개월 이후부터는 골량의 차이를 볼 수 없다가 6개월 이후에는 티타늄의 경우 50-75% 골량이 더 많다고 보고하였다. 일반적으로 임플란트의 표면을 거칠게 하면 골과 접촉할 수 있는 표면적이 증가하여 골유착이 향상된다고 보고되고 있다. 표면 처리된 임플란트는 식립시 골과 더 많이 접촉함으로써 초기 안정성을 얻을 수 있고, 혈병을 유지하기 위한 표면 형태를 가지고 있어 골 치유 과정을 촉진시킨다.¹⁹ Wennerberg 등은 거친 표면의 임플란트가 매끈한 표면의 임플란트보다 골과 임플란트의 더 많은 면적에서 접촉이 일어나고 제거시 더 많은 힘이 필요한 것으로 보고하였다. 또 Wennerberg와 Albrektsson는 고도보다는 중등도의 표면 거칠기에서 골-임플란트 접촉의 증가를 보인다고 하였고, 임플란트의 이상적인

표면 거칠기는 1-1.5 μm 이라고 하였다.²⁰ 임플란트 표면 거칠기에 따른 연조직의 반응을 보면, 거친 표면의 임플란트가 임플란트 주위염을 더 많이 야기한다고 생각되고 있지만, 동물실험이나 임상실험에서 입증된 바가 없다.

레이저를 이용한 임플란트 표면처리 방식은 레이저 입력 변수를 조절할 수 있어 오염 없이 원하는 표면특성을 반복적으로 형성할 수 있다. 치과 영역에서 사용되는 여러 레이저 중에서 임플란트 표면 처리에 적합한 레이저는 CO₂, Er:YAG, Diode라는 보고가 있다.²¹ Nd:YAG 레이저는 낮은 에너지에서도 임플란트 표면에 용융현상과 표면변화를 심하게 일으켰고, 플라즈마 분사 및 수산화인회석으로 코팅된 티타늄 임플란트의 표면이 변화했다.¹⁵ 또한 Chu 등²²에 의하면 Nd:YAG 레이저는 표면 변화뿐 아니라 온도도 상당량 증가시키는 결과를 가져왔다고 하였다.

본 예비 연구에서는 Nd:YVO₄ 레이저를 이용해 레이저 조사 조건을 달리하여 티타늄 표면에 적용하였다. ZrO₂를 블라스팅한 군은 주사전자현미경 결과 특징적인 bead form이 관찰되었고 비드 방향으로 굽어서 측정한 표면 거칠기는 주사속도와는 반비례, 반복률과는 비례하는 경향성을 나타내었다. Al₂O₃를 처리한 군에서는 wave like pattern이 주사전자현미경에서 관찰되었다. 그리고 반복률에 상관없이 주사속도가 100 mm/s일 때 티타늄의 함량은 전체적으로는 주사속도와 반비례하고 주사속도가 300, 500 mm/s일 때는 산소나 알루미늄 함량이 높았다. RBM으로 블라스팅한 군은 산소함량이 주사 속도가 증가하면 감소하는 경향을 나타냈으며 주사전자현미경에서 parallel scratch를 보였다. 에너지 분산 X선 분광분석에서 나타난 티타늄의 산화 상태와 표면 거칠기가 관련이 있었다. Braga 등¹³의 연구에 따르면 레이저 조사시 표면에 전달되는 에너지의 속도가 금속 표면의 산화 상태에 영향을 준다고 하였다. 레이저 조사를 통해 표면 거칠기와 젖음성 및 물리 화학적 특성을 촉진시킬 수 있는 구성물질을 형성함으로써 골유착을 향상시킨다고 보고하였다.

그리고 Petó 등²³의 연구결과처럼 본 연구의 Al₂O₃처리한 군에서는 알루미늄이 검출되었다. 알루미늄은 분사 후 제거가 어려운 물질로, 일단 티타늄 표면에 분사되면 초음파 세척이나 부동태화 등의 방법으로도 제거가 되지 않는다.⁵ 실제 임상에서 임플란트에 박힌 알루미늄 입자가 임플란트 식립 후 골 내에서 떨어져 나와 예기치 못한 부작용을 일으킬 수도 있으므로, 알루미늄 분사 후 Nd:YVO₄ 레이저를 조사한 임플란트를 생체에 식립한 후 이러한 임플란트의 안정성 여부에 대한 지속적인 관찰을 수행한 연구가 필요할 것이다.

본 연구에서는 임플란트 표면 거칠기에 변화를 줄 수 있는 다른 요소들은 배제하고 레이저의 주사속도와 반복률만을 변화하여 실험하였다. *In vitro*에서 실험하였기 때문에 Nd:YVO₄ 레이저를 이용하는데 문제가 없었지만, 티타늄 표면 변화를 일으키는 Nd:YVO₄를 임플란트 주위염 등의 치료에서와 같이 구강 내에 직접 조사할 때는 조직에 미치는 위해가 없는지에 대한 *in vitro* 및 *in vivo*연구가 필요하다. 그리고 레이저를 처리하

지 않은 대조군의 표면거칠기와 비교시 실험군에서 더 낮은 표면거칠기를 보이는 시편들이 존재하였기에 골유착을 가장 촉진시킬 수 있는 레이저 입력 변수의 조합에 대한 향후 연구가 필요할 것이다.

결론

1. 주사전자현미경을 이용한 표면 미세영상에서 레이저 조사 처리 후 군마다 특징적인 형태를 나타내었고 주사속도가 작을수록 반복률이 커질수록 더욱 뚜렷해지고 방향성을 갖는 양상을 나타내었다.
2. X선 회절분석결과 티타늄 표면 성분의 회절 강도에 따라 Al₂O₃로 블라스팅한 군에서는 티타늄과 알루미늄의 고유 피크가 관찰되었으나 ZrO₂, RBM 처리한 군에서는 티타늄의 고유 피크만이 관찰되었다.
3. 에너지 분산 X선 분광분석 결과 실험군마다 약간의 차이를 보였으나 대체적으로 주사 속도가 감소할수록 티타늄 표면의 산화도가 증가하는 경향을 보였다.
4. 표면 거칠기는 반복률과 주사속도에 따른 차이가 있었다 ($P < .05$).

References

1. Albrektsson T, Lekholm U. Osseointegration: current state of the art. Dent Clin North Am 1989;33:537-54.
2. Wennerberg A, Albrektsson T. Effects of titanium surface topography on bone integration: a systematic review. Clin Oral Implants Res 2009;20:172-84.
3. Mendonça G, Mendonça DB, Aragão FJ, Cooper LF. Advancing dental implant surface technology-from micron- to nanotopography. Biomaterials 2008;29:3822-35.
4. Marchi J, Delfino CS, Bressiani JC, Bressiani AHA, Marques MM. Cell proliferation of human fibroblasts on alumina and hydroxyapatite-based ceramics with different surface treatments. Int J Appl Ceram Technol 2010;7:139-47.
5. Le Guéhennec L, Soueidan A, Layrolle P, Amouriq Y. Surface treatments of titanium dental implants for rapid osseointegration. Dent Mater 2007;23:844-54.
6. Elias CN, Oshida Y, Lima JH, Muller CA. Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque. J Mech Behav Biomed Mater 2008;1:234-42.
7. Wennerberg A, Albrektsson T, Andersson B, Krol JJ. A histomorphometric and removal torque study of screw-shaped titanium implants with three different surface topographies. Clin Oral Implants Res 1995;6:24-30.
8. Vasanthan A, Kim H, Drukteinis S, Lacefield W. Implant surface modification using laser guided coatings: in vitro comparison of mechanical properties. J Prosthodont 2008;17:357-64.
9. Romanos GE, Everts H, Nentwig GH. Effects of diode and Nd:YAG laser irradiation on titanium discs: a scanning electron microscope examination. J Periodontol 2000;71:810-5.

10. Stubinger S, Etter C, Miskiewicz M, Homann F, Saldamli B, Wieland M, Sader R. Surface alterations of polished and sand-blasted and acid-etched titanium implants after Er:YAG, carbon dioxide, and diode laser irradiation. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2010;25:104-11.
11. Bereznai M, Pelsöczy I, Tóth Z, Turzó K, Radnai M, Bor Z, Fazekas A. Surface modifications induced by ns and sub-ps excimer laser pulses on titanium implant material. *Biomaterials* 2003;24:4197-203.
12. Heinrich A, Dengler K, Koerner T, Haczek C, Deppe H, Stritzker B. Laser-modified titanium implants for improved cell adhesion. *Lasers Med Sci* 2008;23:55-8.
13. Braga Francisco JC, Marques Rodrigo FC, Filho Edson de A, Guastaldi Antonio C. Surface modification of Ti dental implants by Nd:YVO₄ laser irradiation. *Appl Surf Sci* 2007;253:9203-8.
14. Taira T, Mukai A, Nozawa Y, Kobayashi T. Single-mode oscillation of laser-diode-pumped Nd:YVO₄ microchip lasers. *Opt Lett* 1991;16:1955-7.
15. Block CM, Mayo JA, Evans GH. Effects of the Nd:YAG dental laser on plasma-sprayed and hydroxyapatite-coated titanium dental implants: surface alteration and attempted sterilization. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1992;7:441-9.
16. Fields RA, Birnbaum M, Fincher CL. Highly efficient Nd:YVO₄ diode-laser end-pumped laser. *Appl Phys Lett* 1987;51:1885.
17. Johansson CB, Albrektsson T. A removal torque and histomorphometric study of commercially pure niobium and titanium implants in rabbit bone. *Clin Oral Implants Res* 1991;2:24-9.
18. Gottlander M, Albrektsson T. Histomorphometric analyses of hydroxyapatite-coated and uncoated titanium implants. The importance of the implant design. *Clin Oral Implants Res* 1992;3:71-6.
19. Cooper LF. A role for surface topography in creating and maintaining bone at titanium endosseous implants. *J Prosthet Dent* 2000;84:522-34.
20. Rønold HJ, Lyngstadaas SP, Ellingsen JE. Analysing the optimal value for titanium implant roughness in bone attachment using a tensile test. *Biomaterials* 2003;24:4559-64.
21. Kreisler M, Götz H, Duschner H. Effect of Nd:YAG, Ho:YAG, Er:YAG, CO₂, and GaAlAs laser irradiation on surface properties of endosseous dental implants. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2002;17:202-11.
22. Chu RT, Watanabe L, White JM, Marshal GW, Marshal SJ, Hutton JE. Temperature rise and surface modification of lased titanium cylinders. *J Dent Res* 1992;71:144 (Abstract 312).
23. Pető G, Karacs A, Pászti Z, Guczi L, Divinyi T, Joób A. Surface treatment of screw shaped titanium dental implants by high intensity laser pulses. *Appl Surf Sci* 2002;186:7-13.

Nd:YVO₄ 레이저 조사에 따른 티타늄의 표면특성 평가: 예비 연구

김애라¹ · 박지윤² · 김 연² · 전세원² · 서윤정¹ · 박상원^{1*}

전남대학교 치의학전문대학원¹보철학교실, ²치의학과

연구 목적: 본 연구는 서로 다른 세가지 블라스팅 처리를 한 티타늄 디스크에 Nd:YVO₄ 레이저 조사 조건을 달리한 후 조사하여 티타늄의 표면 거칠기 및 표면 변화를 관찰하기 위함이다.

연구 재료 및 방법: 디스크 형태의 상용 순수 티타늄 시편을 30개 준비하여 시료 표면을 각각 10개씩 ZrO₂ (zirconium dioxide), Al₂O₃ (aluminium oxide), RBM (resorbable blasted media) 으로 블라스팅(blasting)하고 초음파 세척하였다. Nd:YVO₄ 레이저(Laser Pro D-20, Laserval Korea®, Seoul, South Korea)에서 주사속도(100, 300, 500 mm/s)와 시간당 진동량(반복률) (5, 15, 35 kHz)을 다르게 하여 9가지 조건을 설정하였다. 레이저 조사 후 주사전자현미경, X선 회절 분석 및 에너지 분산 X선 분광분석, 표면 거칠기 분석을 통해 각 시편을 평가하고 분석하였다.

결과: 주사전자현미경의 결과 레이저 조사를 시행하지 않은 티타늄 표면은 방향성이 없는 불규칙한 형상을 보였고 레이저 조사를 처리한 시편은 특징적인 형태가 관찰되었다. X선 회절 분석 결과 ZrO₂, RBM의 고유피크는 관찰되지 않았으나 Al₂O₃ 분사한 군에서는 알루미늄의 고유 피크가 관찰되었다. 에너지 분산 X선 분광분석을 통해 관찰한 티타늄의 산화도 경향성과 표면 거칠기는 유사하였다. 표면 거칠기는 주사속도와 반복률에 따른 차이를 보였다($P < .05$).

결론: 레이저 조사 조건에 따라 티타늄 디스크의 미세구조와 표면 거칠기가 변화되었다. 레이저 조사는 골유착을 증진시키기 위한 임플란트 표면을 변화시키는 방법중의 하나로 여길 수 있을 것이다. (대한치과보철학회지 2013;51:167-74)

주요단어: Nd:YVO₄ 레이저; 티타늄 표면; 블라스팅 매체

*교신저자: 박상원

500-757 광주광역시 북구 용봉로 33번지 전남대학교 치과병원 치과보철학교실

062-530-5630: e-mail, psw320@chonnam.ac.kr

원고접수일: 2013년 6월 7일 / 원고최종수정일: 2013년 6월 27일 / 원고채택일: 2013년

7월 4일

© 2013 대한치과보철학회

이 글은 크리에이티브 커먼즈 코리아 저작자표시-비영리 3.0 대한민국 라이선스에 따라 이용할 수 있습니다.