

Pre-drilling 시 laser 조사 조건에
따른 미니스크류 식립토크에 관한 연구

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 근 화

Pre-drilling 시 laser 조사 조건에
따른 미니스크류 식립토크에 관한 연구

지도 황 충 주 교수

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2009 년 6 월 일

연세대학교 대학원

치 의 학 과

김 근 화

김근화의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2009년 6월 일

감사의 글

부족한 저를 이끌어 주시고 논문의 시작부터 완성되기까지 따뜻한 배려와 가르침으로 이끌어 주신 황충주 지도 교수님께 진심으로 감사드리며, 바쁘신 와중에도 논문에 귀중한 시간을 내주시어 관심과 조언을 아끼지 않으신 이기준 교수님, 차정열 교수님께도 감사드립니다.

그리고 교정과에 들어와서 3년간의 수련기간 동안 교정학을 배우고 익히는 데 많은 가르침을 주신 박영철 교수님, 백형선 교수님, 김경호 교수님, 유형석 교수님, 정주령 교수님께 감사를 드립니다.

언제나 아낌 없이 지원해주시는 부모님과 가족들, 진료할때 항상 많은 도움을 주신 직원분들께도 감사의 마음을 전해드립니다. 마지막으로 저의 논문을 위해서 도움을 많이 준 후배들 윤정원, 문현승, 최성환에게 감사의 마음을 전합니다.

2009년 6 월 저자 씀

차 례

그림 차례	iii
표 차례	iii
국문 요약	iv
I. 서론	1
II. 연구 대상 및 방법	4
1. 실험동물과 실험재료	4
2. 실험방법	5
가. Laser의 적용 조건 설정	5
나. 식립토크의 측정	6
3. 통계 분석	7
III. 연구결과	8
1. Laser를 이용한 pre-drilling hole의 형태	8
2. Laser를 이용한 pre-drilling hole의 형태학적 계측	8
가. Laser 조사시간에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경과 깊이	10
나. Tip의 직경에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경과 깊이	11
3. 식립토크의 측정	12
가. Laser 조사시간에 따른 미니스크류 식립토크	13
나. Tip의 직경에 따른 미니스크류 식립 토크	14
IV. 고찰	15

V. 결론.....	22
참고문헌.....	24
영문요약.....	31

그림 차례

Figure 1. Waterlase MD	4
Figure 2. Laser pre-drilling with Waterlase MD	5
Figure 3. Computed tomography image of pre-drilling hole produced by laser	8
Figure 4. Pre-drilling hole diameter for laser irradiation time and tip diameter	9
Figure 5. Pre-drilling hole depth laser irradiation time and tip diameter	9
Figure 6. Computed tomography image of miniscrew with laser pre-drilling	12
Figure 7. Insertion torque for laser irradiation time and tip diameter	12

표 차례

Table 1. Comparison of diameter and depth of the pre-drilling hole by laser irradiation time at each tip diameter.	10
Table 2. Comparison of diameter and depth of the pre-drilling hole by tip diameter at each laser irradiation time	11
Table 3. Comparison of insertion torque by laser irradiation time at each tip diameter	13
Table 4. Comparison of insertion torque by tip diameter at each laser irradiation time	14

국 문 요 약

Pre-drilling시 laser조사 조건에 따른 미니스크류 식립토크에 관한 연구

본 연구는 최근 의학분야 뿐만 아니라 치의학 분야에서도 사용이 늘고 있는 Er,Cr:YSGG laser(Waterlase MD)를 이용하여 laser pre-drilling의 효용성에 대해 알아보았다. 성견의 하악골을 대상으로 laser 조사시간, tip의 직경 등을 달리함에 따른 pre-drilling hole의 형성 양상을 micro CT 촬영을 통해 알아보고, pre-drilling hole 형성 후 대조군으로 laser pre-drilling을 하지 않은 3개의 미니스크류를 식립하였으며 0.4 mm tip과 0.6 mm tip을 사용하여 형성한 pre-drilling hole 중에서 laser 조사시간에 따라 무작위로 선정하여 총 18개의 미니스크류를 실험군으로 식립하였으며 식립시 식립토크를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Laser를 이용하여 형성한 hole은 하방으로 들어갈수록 좁아지는 원뿔형태를 보였다
2. 두께 1 mm 정도의 피질골을 천공시키는데 0.6 mm tip을 사용시 최소 9초의 시간이 소요되었으며 해당시간 동안 최대 직경은 0.8 mm 정도로 형성되었다.
3. Pre-drilling hole의 최대 직경은 laser 조사시간이 길어짐에 따라 증가하는 양상을 보이거나 변화에 있어 유의차는 없었으며, 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성 있게 크게 나타났다($P < 0.05$).

4. Pre-drilling hole의 깊이는 laser 조사시간이 길어짐에 따라 깊어졌으며, laser 조사시간에 관계없이 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성있게 깊게 나타났다($P < 0.05$).
5. Laser pre-drilling시 0.4 mm tip을 사용했을 때는 laser 조사시간이 증가함에 따라 식립토크가 감소하였으며($P < 0.05$), 0.6 mm tip을 사용했을 때는 laser 조사시간에 따른 유의차는 보이지 않았다.

이상의 결과로 미니스크류 식립시 Er,Cr:YSGG laser를 이용한 pre-drilling을 시행할 때는 피질골의 두께에 따라 적절한 직경의 tip 선택과 laser 조사시간 설정이 중요하며, 본 연구의 결과는 이후에 진행될 laser를 이용한 pre-drilling 외에 corticotomy 등 여러 세부적인 실험시의 기초 자료로서뿐만 아니라, 실제 교정 치료시 laser를 적용하는데 대한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

핵심 되는 말 : 미니스크류, Er,Cr:YSGG laser, pre-drilling, 식립토크

Pre-drilling시 laser 조사 조건에 따른 미니스크류 식립토크에 관한 연구

(지도교수 : 황 충 주)

연세대학교 대학원 치의학과

김 근 화

I. 서론

고정원의 조절은 성공적인 교정치료에 있어서 중요한 요소 중 하나이다. 최근 교정영역에서 고정원의 보강을 위하여 많이 사용되는 미니스크류는 환자의 협조도 없이 원치 않는 부작용을 최소화하면서 원하는 치아이동을 가능하게 해준다. 미니스크류는 보철용 임플란트나 미니플레이트 등 다른 골성 고정원에 비해 식립과 제거가 간편하며, 크기가 작기 때문에 식립 부위의 제한이나 환자의 불편감이 적고, 비용이 적게 든다는 장점을 가지고 있다.

미니스크류의 사용이 증가하면서 안정성에 대한 연구가 많이 행해 졌는데 식립 부위 골의 질과 양, 식립 부위의 연조직 상태, 스크류 디자인(외경, 내경, 나사부의 길이와 형태), 식립 방법(self-tapping, self-drilling), 식립시 골조직에 대한 손상 정도, 하중조건(힘의 적용 시기, 힘의 크기), 구강위생 등이 미니스크류의 안정성에 관여하는 요인으로 알려져 있다(박 등, 2006).

미니스크류의 초기안정성은 식립 직후의 안정성을 의미한다. 미니스크류의 대부분의 실패가 초기에 나타나므로 초기안정성은 미니스크류의 성공에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이며 이는 생리적 허용범위 내에 미니스크류의 동요를 예방하여 골계면의 새로운 형성을 도울 수 있기 때문이다(Huja 등, 2005). 초기 안정성이 부족하면 미니스크류/골 계면에서의 미세동요가 허용수준을 초과하여 골의 리모델링 장애로 안정성이 더 저하될 수 있다. 반면에 초기안정성 확보를

위해 미니스크류/골 계면에 과도한 압박을 허용하면 혈류장애 및 허혈성 골괴사의 원인으로 작용할 수 있다(남 등, 2008).

미니스크류는 식립시 pre-drilling을 시행하는 self-tapping 미니스크류와 pre-drilling이 필요 없어 식립이 간편하고 시간이 단축되며 pre-drilling시 발생 할 수 있는 열손상이 적은 self-drilling 미니스크류로 나눌 수 있으며, 미니스크류의 성공률을 높이기 위해 식립 방법이나 디자인에 대한 연구가 많이 이루어 졌다.

Chen 등(2008)은 Self-drilling 미니스크류에서 Self-tapping 미니스크류 보다 높은 최대 식립 및 제거토크, bone/implant contact을 보임을 보고하였으며 Heidemann 등(2001)은 self-drilling 미니스크류가 self-tapping 미니스크류 보다 높은 screw/bone contact을 보였음을 보고한바 있다. 김 등(2005)은 자체드릴법으로 식립된 미니스크류에서 더 우수한 안정성을 관찰 할 수 있었으며, 식립 후 빠른 시간 안에 교정력을 부여하는 경우에 동요도를 감소시킬 수 있는 좋은 환경을 제공한다고 보고하였다. 하지만 self-drilling 미니스크류의 경우 oblique한 골표면에 식립이 어렵다는 단점이 있으며 이 등(2008)에 의하면 드릴법에 의한 식립 후 골접촉률은 치유기간에 따라 증가하는 양상이지만 자체드릴법을 사용하였을 경우 초기 골접촉률은 크게 증가하지 않고 그 수준을 유지하거나 감소하는 양상을 보인다고 보고하였다. 이는 식립시 주변골의 외과적인 손상이 적어 높은 골접촉률을 보여주게 되며 주변골 치유과정에 임플란트 주위골의 미세골절이나 힘 현상이 발생할 경우 골흡수가 식립 후 일어날 수 있기 때문이다. 또한 박 등(2006)도 self-drilling 미니스크류의 경우 초기 골 접촉은 우수하나 식립시 가해지는 스트레스로 인한 골의 힘 현상으로 5주 후 임플란트 계면에서의 골흡수를 관찰할 수 있었다고 보고한바 있다.

Self-tapping 미니스크류의 경우 식립시 pre-drilling을 시행하기 때문에 식립시 주변골에 가해지는 응력을 줄일 수 있으며 oblique한 골표면에 식립시에도 일정한 식립방향을 유지하는 것이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 pre-drilling시 치근손상 가능성이나 drill의 파절, overdrilling, 열에 의한 골괴사 등이 일어날 수 있는 단점도 있다(Chen 등, 2008).

이러한 연구결과들에 따르면 논란의 여지가 있기는 하지만 self-tapping

미니스크류에 비해 self-drilling 미니스크류가 초기 안정성에 있어서는 더 뛰어난 것을 알 수 있으며 그 사용빈도 또한 증가하고 있는 추세이다. 하지만 self-drilling 미니스크류의 경우 하악골과 같이 피질골이 두껍거나 골밀도가 높은 부위에 식립시 발생하는 응력으로 인한 골의 휨이나 미세골절 등으로 인한 골흡수, 식립 각도로 인한 미끄러짐 등이 발생할 수 있고 일정한 식립 방향을 유지하기 힘들기 때문에 치근 손상이나 원치 않는 방향으로 식립 등이 일어날 수 있다. 이러한 경우 비록 self-drilling 미니스크류를 식립하더라도 pre-drilling을 시행하는것이 필요할 수 있다.

최근 의학분야뿐만 아니라 치의학 분야에서도 레이저의 임상적 적용이 늘어나고 있다. 그 중에서도 Er,Cr:YSGG laser는 2.78 μm 의 파장을 가지며 조직, 특히 물에 대한 흡수율이 높아 주변 조직에 대한 열손상과 조직의 탄화를 최소화 하면서 연조직이나 경조직을 효율적으로, 정확하게 자를 수 있다(Wang 등, 2005). 따라서 적절한 조사조건 하에 laser를 적용한다면, 실제 임상에서 미니스크류 식립시 효과적으로 pre-drilling을 시행할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 동물 실험을 통하여 laser를 이용한 pre-drilling시 laser 조사시간, tip의 크기 등을 달리함에 따른 pre-drilling hole의 형성 양상을 알아보고 실제 미니스크류 식립시의 식립토크를 분석하여 laser pre-drilling의 효용성에 대해 알아보하고자 한다.

II. 연구대상 및 방법

1. 실험동물과 실험 재료

본 연구는 12개월 이상 된 건강한 응성 성견(Beagle dog)을 대상으로 하였으며 체중은 10 ~ 13 kg이었다. 실험동물의 구입, 선택, 관리 및 실험 술식 등은 연세의료원 실험동물 위원회의 동물실험 규정에 의거하였다. Pre-drilling hole의 형성은 Waterlase MD(Biolase® Technology, Inc. SanClemente, CA, USA)를 이용하였다. Waterlase MD는 Er,Cr:YSGG laser로 2.78 μm 의 파장(wavelength)을 가지며, 펄스 지속시간(pulse duration), 반복률(repetition rate), power, 물과 공기의 분사량 등을 다양한 임상적용 상황에 따라 조절할 수 있다(Fig. 1).



Fig. 1. Waterlase MD

실험에 사용된 교정용 미니스크류는 self-drilling type으로 직경 1.5 mm, 길이 7 mm의 원통형 미니스크류 (OAS-1507C, Biomaterials Korea Inc., Seoul, Korea)를 선정하였으며 총 21개를 식립하였다.

2. 실험 방법

가. Laser의 적용 조건 설정

(1) Pre-drilling hole의 형성

모든 실험은 피질골이 두꺼워 실제 임상에서도 pre-drilling이 필요한 경우가 많은 하악골을 대상으로 시행하였다. 실험동물을 희생시킨 후 하악골을 잘라내어, 제 3 소구치에서 제 1 대구치를 포함하는 약 4 cm 크기의 골편을 만들었으며, 골표면에 pre-drilling hole을 형성하였다. Waterlase MD를 이용하여 1b mode(power 5.25 W, water 60%, air 65%)로 3 mm 간격으로 pre-drilling hole을 형성하였다. Laser는 골표면에 수직으로 조사하였으며 골표면에서 0.5 mm 정도 떨어져서 핸드피스의 헤드위치를 고정하였다(Fig. 2). Hole 형성 시에 power는 일정하게 유지하고 laser 조사시간(5, 7, 9, 11, 13초)과 tip의 크기(0.4, 0.6 mm)를 달리하여 총 10개의 군으로 나누었다. 조사시간은 stopwatch를 이용하여 잴으며 tip의 길이는 9 mm로 동일 하였다. 각 군당 5개의 pre-drilling hole을 형성 하였다.



Fig. 2. Laser pre-drilling with Waterlase MD

(2) 형태학적 계측

Pre-drilling hole을 형성한 골편을 Micro computed tomography(Skyscan micro CT 1076, Skyscan, Kontich, Belgium)를 이용하여 촬영을 시행하였다 (Resolution : 18 μm , Filter : Al 0.5 mm, 100 kV, 100 μA). 촬영 후 DataView Version 1.3.2(Skyscan, Kontich, Belgium) 프로그램을 이용하여 구멍의 최대 직경 및 최대 깊이를 μm 단위로 측정하였으며 모든 계측치는 2회씩 측정한 후 평균값을 구하였다.

나. 식립토크의 측정

(1) 교정용 미니스크류의 식립

대조군으로 laser pre-drilling을 하지 않은 3개의 미니스크류를 식립하였으며 0.4 mm tip과 0.6 mm tip을 사용하여 5초, 9초, 13초간 laser를 조사한 pre-drilling hole 중에서 무작위로 3개씩을 선정하여 총 18개의 미니스크류를 실험군으로 식립하였다. 미니스크류는 식염수 관주 하에 식립 후 탐침을 이용하여 나사산이 치조골에 완전히 들어간 것을 확인하였다. 최종 식립 전에 토크 센서(Mark-10, MGT50, CA, USA)를 이용하여 최대 식립토크를 N cm 단위로 측정하였다.

3. 통계 분석

계측된 자료들을 SPSS 12.0 프로그램(SPSS Inc., Illinois, USA)을 이용하여 통계처리 하였다.

가. Tip의 직경과 laser 조사시간에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경 및 깊이, 미니스크류 식립시의 식립토크에 대하여 평균과 표준편차를 구하였다.

나. Laser 조사시간에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경 및 깊이, 식립토크의 비교를 위해 0.4 mm tip군과 0.6 mm tip군을 나누어 one way ANOVA test 후 사후검정으로 Tukey test를 시행하였다.

다. Tip의 직경에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경 및 깊이, 식립토크의 비교를 위해 0.4 mm tip군과 0.6 mm tip군의 Independent t-test를 시행하였다.

III. 연구 결과

1. Laser를 이용한 pre-drilling hole의 형태

Laser를 이용하여 형성한 hole은 하방으로 들어갈수록 좁아지는 원뿔형태를 보였다(Fig. 3).

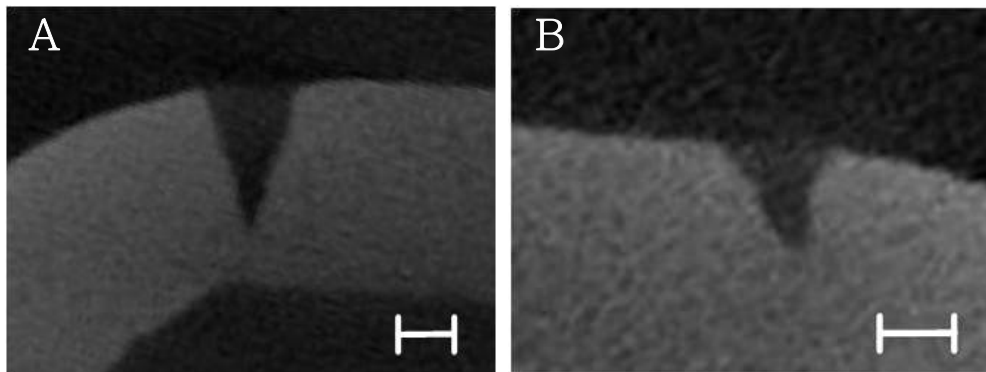


Fig. 3. Computed tomography image of pre-drilling hole produced by laser.

(Scale bar = 200 μm)

(A) Tip : 0.6mm, Irradiation time : 9 second.

(B) Tip : 0.4mm, Irradiation time : 9 second.

2. Laser를 이용한 pre-drilling hole의 형태학적 계측

Laser 조사시간이 길수록, tip의 직경이 커질수록 pre-drilling hole의 최대 직경과 깊이가 커지는 양상을 보였다(Fig. 4, Fig. 5).

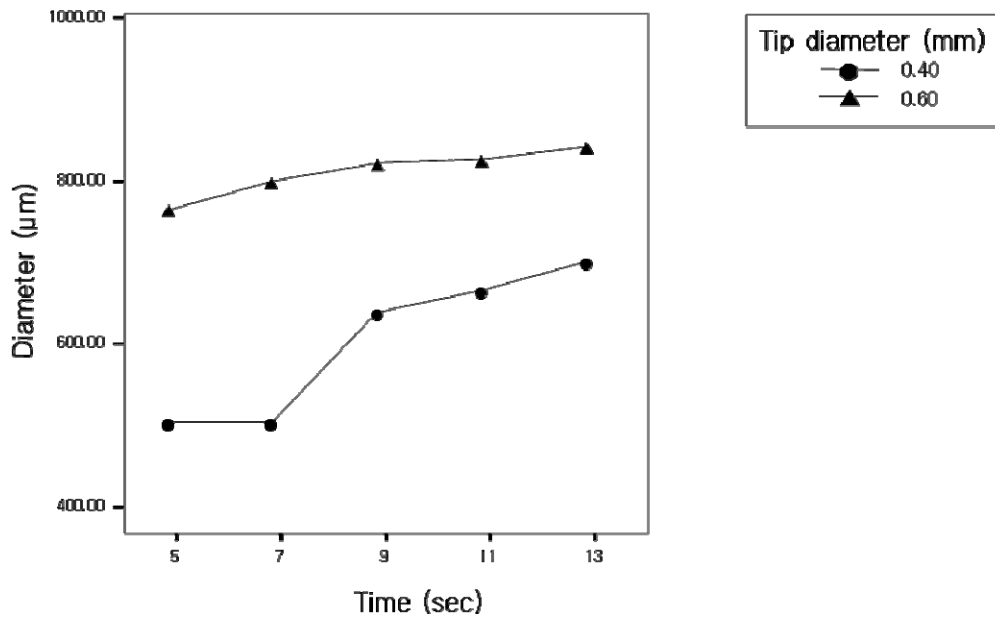


Fig. 4. Pre-drilling hole diameter for laser irradiation time and tip diameter.

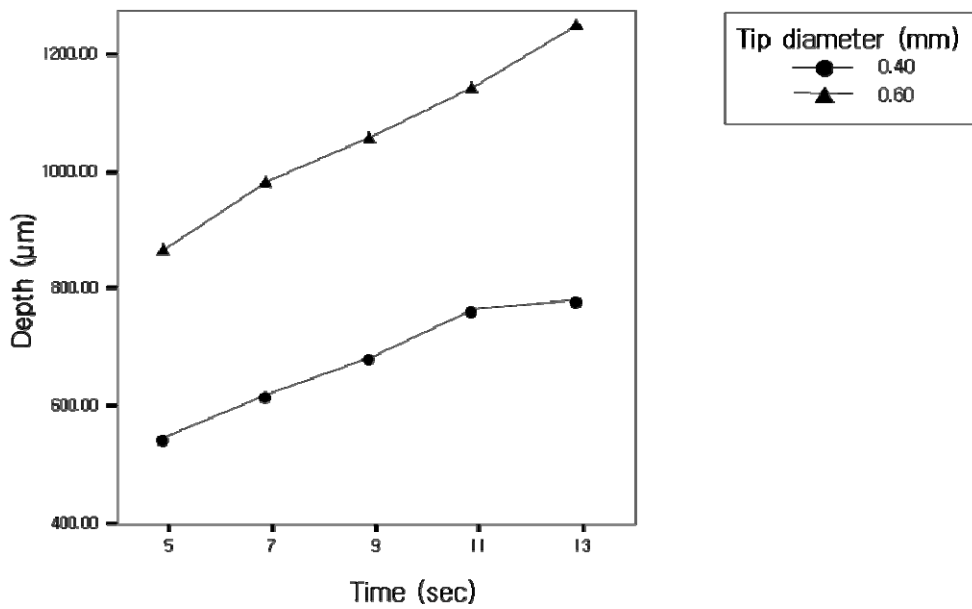


Fig. 5. Pre-drilling hole depth for laser irradiation time and tip diameter.

가. Laser 조사시간에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경과 깊이

같은 직경의 tip을 사용했을 때 laser 조사시간이 길어짐에 따라 pre-drilling hole의 최대 직경은 증가하는 양상을 보이기는 하나 통계학적 유의차는 없었다. Pre-drilling hole의 깊이도 laser 조사시간이 증가함에 따라 깊어지는 양상을 보였으며, 조사시간이 길어짐에 따라 유의한 차이가 있었다(Table 1).

Table 1. Comparison of diameter and depth of the pre-drilling hole by laser irradiation time at each tip diameter

Tip diameter (mm)	Time (sec)	Diameter (μm)		Depth (μm)	
		Mean	SD	Mean	SD
0.4	5	489.9	58.3	539.6 ^b	84.8
	7	489.9	88.4	610.5 ^{ab}	104.8
	9	624.8	95.9	674.5 ^{ab}	132.8
	11	653.2	99.1	759.7 ^{ab}	119.3
	13	692.3	169.2	781.0 ^a	166.5
	Sig.	NS		*	
0.6	5	752.5	46.3	866.1 ^c	143.4
	7	788.1	95.3	979.7 ^{bc}	134.1
	9	809.4	58.3	1057.9 ^b	77.0
	11	813.7	97.5	1143.1 ^{ab}	46.3
	13	830.7	19.4	1249.7 ^a	68.2
	Sig.	NS		*	

SD, standard deviation; Sig., significance; NS, not significant.

The significant difference was defined by Tukey test.

^{a,b,c} The same superscripts indicate no stability significant difference between the indicated group ($P > 0.05$).

* : $P < 0.05$

나. Tip의 직경에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경과 깊이

Tip의 직경에 따른 pre-drilling hole의 최대 직경은 13초를 제외하고는 laser 조사시간에 관계없이 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성 있게 크게 나타났고, pre-drilling hole의 깊이는 laser 조사시간에 관계없이 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성 있게 깊게 나타났다(Table 2).

Table 2. Comparison of diameter and depth of the pre-drilling hole by tip diameter at each laser irradiation time

Time (sec)	Variables	Tip diameter (mm)				Sig.
		0.4		0.6		
		Mean	SD	Mean	SD	
5	Diameter (μm)	489.9	58.3	752.5	46.3	*
	Depth (μm)	539.6	84.8	866.1	143.4	*
7	Diameter (μm)	489.9	88.4	788.1	95.3	*
	Depth (μm)	610.5	104.8	979.7	134.1	*
9	Diameter (μm)	624.8	95.9	809.4	58.3	*
	Depth (μm)	674.5	132.8	1057.9	77	*
11	Diameter (μm)	653.2	99.1	813.7	97.5	*
	Depth (μm)	759.7	119.3	1143.1	46.3	*
13	Diameter (μm)	692.3	169.2	830.7	19.4	NS
	Depth (μm)	781.0	166.5	1249.7	68.2	*

SD, standard deviation; Sig., significance; NS, not significant.

The significant difference was defined by Tukey test.

* : $P < 0.05$

3. 식립토크의 측정

Pre-drilling을 시행하지 않고 식립한 대조군과 pre-drilling hole 깊이에서 유의한 차이를 보여준 5초, 9초, 13초 조사군에서 3개씩을 임의로 선정한 총 18개의 실험군의 식립토크를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다(Fig. 6, 7).

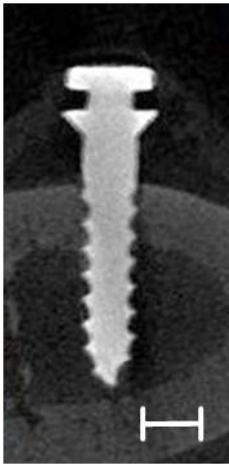


Fig. 6. Computed tomography image of miniscrew with laser pre-drilling. (Scale bar = 200 μ m)

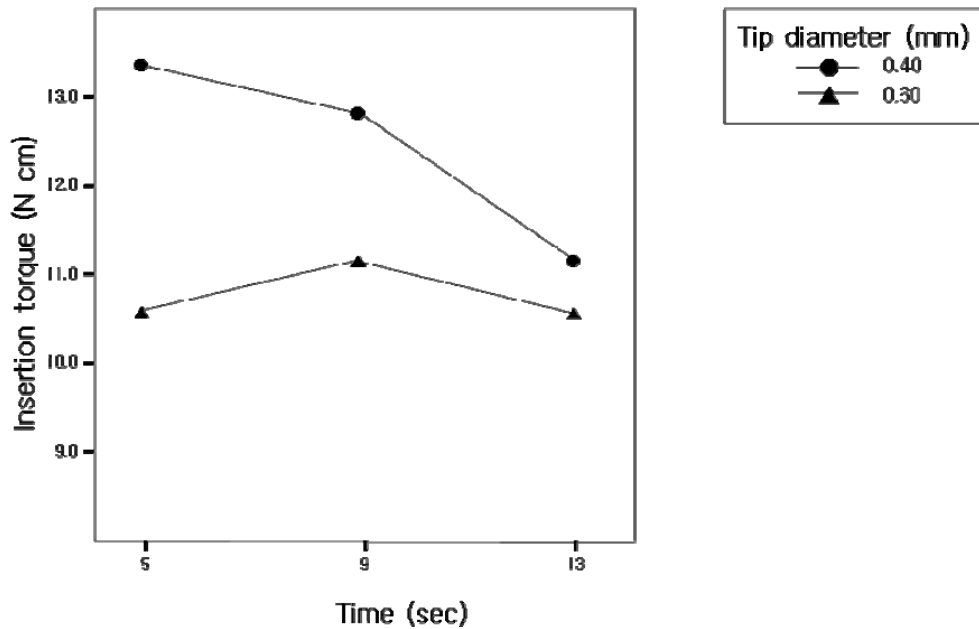


Fig. 7. Insertion torque for laser irradiation time and tip diameter.

가. Laser 조사시간에 따른 미니스크류 식립토크

모든 실험군에서 laser pre-drilling을 시행하지 않고 식립한 대조군의 식립토크 보다 낮은 값을 나타냈다(Table 3). 0.4 mm tip을 사용했을 때는 laser 조사시간에 따라 식립토크가 감소하는 양상을 보여주었으며 ($P < 0.05$), 0.6 mm tip을 사용했을 때는 대조군에 비해서는 식립토크가 유의성있게 감소하였으나 ($P < 0.05$) laser 조사시간에 따른 유의차는 보이지 않았다.

Table 3. Comparison of insertion torque by laser irradiation time at each tip diameter

Tip diameter (mm)	Time (sec)	Insertion torque (N cm)	
		Mean	SD
No drilling		15.5 ^c	1.44
0.4	5	13.4 ^{bc}	0.52
	9	12.8 ^{ab}	0.49
	13	11.2 ^a	0.33
	Sig.	*	
0.6	5	10.6	0.63
	9	11.2	0.44
	13	10.4	0.4
	Sig.	NS	

SD, standard deviation; Sig., significance; NS, not significant.

The significant difference was defined by Tukey test.

^{a,b,c} The same superscripts indicate no stability significant difference between the indicated group ($P > 0.05$).

* : $P < 0.05$

나. Tip의 직경에 따른 미니스크류 식립토크

Laser 조사시간에 관계없이 0.6 mm tip을 사용했을 때 0.4 mm tip을 사용했을 때 보다 더 낮은 식립토크를 보였으나 13초에서는 두 그룹간에 통계학적 유의차는 없었다(Table 4).

Table 4. Comparison of insertion torque by tip diameter at each laser irradiation time

Time (sec)	Variable	Tip diameter (mm)				Sig.
		0.4		0.6		
		Mean	SD	Mean	SD	
5	Insertion torque (N cm)	13.4	0.52	10.6	0.63	*
9	Insertion torque (N cm)	12.8	0.49	11.2	0.44	*
13	Insertion torque (N cm)	11.2	0.33	10.4	0.4	NS

SD, standard deviation; Sig., significance; NS, not significant.

The significant difference was defined by Tukey test.

* : $P < 0.05$

IV. 고찰

본 연구에서는 laser를 이용한 pre-drilling시 laser 조사시간, tip의 크기 등을 달리함에 따른 pre-drilling hole의 형성 양상을 알아보고 실제 실험건의 하악골에 미니스크류를 식립 후 식립토크를 분석하여 pre-drilling이 필요한 상황에서 laser의 사용이 미니스크류의 식립토크에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다.

먼저 실험에 사용된 laser에 대해 알아볼 필요가 있다. 1960년대에 처음으로 ruby laser의 조사가 치아 경조직에 미치는 영향이 보고된 후 여러 종류의 laser들(CO₂, ND:YAG, ArF:Excimer laser등)에 대한 연구가 이루어졌다(Goldman 등, 1964, Wigdor 등, 1995). Laser는 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(방사선의 유도방출에 의한 광증폭)의 약자로 laser에 의해 발생된 빛은 단색으로 특정 파장을 가지며 퍼지지 않고 멀리까지 전달된다. laser 발생 장치는 능동 매질(active medium), 외부광원(external power supply), 광학 공명기(optical resonator), 냉각 장치(cooling system), 제어장치(control system), 방출장치(delivery system)로 구성되며 능동 매질이 광원에 의해 에너지를 받게 되면 특정파장을 가지는 단색의 빛 에너지(monochromatic light energy)가 방출되고 방출장치에 의해 표적조직에 전달된다. Laser는 능동 매질(기체 또는 고체)의 종류에 따라 분류할 수 있으며 치과 영역에서 쓰이는 laser에는 CO₂ laser, Argon laser, Helium-neon laser(이상 가스 laser), Nd:YAG laser, Holmium:YAG laser, Erbium:YAG laser, Er,Cr:YSGG laser, Dye laser, Diode laser(이상 고체 laser) 등이 있다. Laser를 파장에 따라 분류할 수도 있는데 UV laser(Ultraviolet laser) 와 IR laser(Infrared laser)로 나눌 수 있다. IR laser가 의학분야에서 많이 적용되고 있는데, 그 이유중의 하나는 대부분의 조직에서 중요한 구성성분의 하나인 물이 적외선 부근인 2.94 μm 의 파장을 강하게 흡수하기 때문이다.

일반적인 laser의 장점으로는 살균상태의 유지(Ando and Aoki, 1996), 출혈 및 통증의 감소(Pogrel, 1989, White 등, 1998), 정밀한 절단, 한가지 기구로 용도에 따라 조사 방식을 달리하면 절개, 지혈 등 여러 가지 효과를 나타내므로 기구수가

줄어들며 보통 봉합이 필요 없고 적은 반흔을 남기는 것 등을 들 수 있다. Ivanenko 등(2000)에 따르면 laser를 이용한 골절제술 시행의 장점으로 기계적인 진동이 없고 조직과 직접적인 접촉 없이 삭제가 가능하며 복잡한 형태의 삭제가 가능하다고 하였으며 지혈, 살균효과도 보고한바 있다.

본 연구에 사용된 Waterlase MD는 Er,Cr:YSGG laser로 erbium, chromium, yttrium, scandium, gallium, garnet(고체)을 매질로 하고 2.78 μm 의 파장을 가져 물에 잘 흡수되는데 모든 치아조직은 물을 포함하고 있기 때문에 치과영역에서도 많이 사용되고 있다. 주요 제거 기전을 보면 표적조직에 laser를 직접 조사하는 방식이 아니라 sapphire나 zirconium tip 주위로 분사되는 작은 물방울에 laser energy가 흡수되면 조직 표면에 강력한 기계적 힘을 야기하는 미세폭발(microexplosion)이 일어나게 되는데 이 힘을 이용하여 조직을 빠르고 깨끗하게 제거할 수 있다. Laser를 조직에 조사시 표면의 광학적인 성질에 따라서 그 반응 양상이 매우 다르기 때문에 조직의 구성 성분에 따라 적절한 파장의 laser를 선택하는 것이 중요하다. 골의 경우 피질골과 해면골로 구성되어 있으며 유기질(organic matrix)과 무기염(inorganic salts)을 포함하고 있다. 유기질의 경우 95%정도가 collagen으로 구성되어 있으며 무기염은 주로 calcium phosphate의 형태를 이루고 있다. 이들 무기질과 무기염은 물과 마찬가지로 2.9~3.3 μm 의 파장을 잘 흡수하며 물분자와 매우 가깝게 결합되어있다. 따라서 2.78 μm 의 파장을 가지는 Er,Cr:YSGG laser는 1064 μm 와 10.6 μm 의 파장을 가지는 Nd:YAG나 CO₂ laser 보다 골에 대한 흡수율이 더 높을 것이다. Er,Cr:YSGG laser는 Er:YAG laser와 파장(2.94 μm)을 제외하고는 형태학적 영향 등 다른 모든 면에서 거의 비슷하다(Kimura 등, 2001).

이러한 성질을 가지는 Er,Cr:YSGG laser를 이용하여 실험견의 하악골에 laser 조사시간과 tip의 직경을 달리하여 hole을 형성하였다. Micro CT상의 모양을 보면 하방으로 갈수록 좁아지는 형태를 보였으며 tip의 직경이 클수록, laser 조사시간이 길수록 hole의 깊이와 직경이 더 커지는 경향을 보였다. Hole의 깊이는 laser 조사시간이 길어짐에 따라 유의차 있게 깊어지는 양상을 보였으며 1.0 mm 정도 깊이의 hole을 형성하는데 최소 9초 이상의 시간이 소요되었다.

Wilmes 등(2006)은 미니스크류의 초기안정성에 미치는 요인을 알아보기 위해 country pig의 골반뼈에 직경과 깊이를 달리하여 pre-drilling을 시행한 후 골질, 임플란트 디자인, pre-drilling hole의 직경과 깊이에 따른 식립토크를 비교하였다. 이 연구에서 pre-drilling hole의 직경과 깊이가 증가할수록 낮은 식립토크를 보였다. 또한 실험에 사용된 피질골의 두께는 최대 2 mm였으며 2 mm 이상의 깊이에서는 식립토크에 대한 뚜렷한 영향이 없음을 보고하며 self-tapping 미니스크류를 식립시 pre-drilling은 피질골을 완전히 천공시키는 정도 깊이까지 행하는 것이 좋으며 self-drilling 미니스크류 식립시에는 피질골을 약화시키는 것 정도로도 충분히 식립토크를 감소 시킬 수 있으며 미니스크류의 파절 등을 막을 수 있을 것이라고 하였다. 피질골의 두께는 사람에 따라, 부위에 따라 다양한데 김 등(2006)에 의하면, 한국인의 상악골 23개를 대상으로 구치부 연조직과 피질골의 두께를 측정한 결과, 가장 두꺼운 부위는 협측에서 제 1, 2 소구치 사이 부위로 CEJ 하방 2 mm 지점이었으며 1.55 mm를 보였다고 하였다. Deguchi 등(2006)에 의하면, 10명의 환자를 대상으로 상악과 하악의 구치부 피질골 두께를 3D CT를 이용하여 정량적으로 분석한 결과, 상악골은 협측에서 제 2 소구치와 제 1 대구치 사이 치은변연 하방 3~4 mm 지점에서 1.8 ± 0.6 mm, 하악골은 협측에서 제 1 대구치와 제 2대구치 사이 치은변연 하방 3~4 mm 지점에서 2.0 ± 0.6 mm로 가장 두껍게 나타났다. 또한 미니스크류 식립 각도에 따라서도 피질골의 두께가 달리 측정되었는데 치아 장축에 대해서 30° 각도로 측정시에 상악 협측에서는 2.0 ± 0.8 mm, 구개측에서는 2.2 ± 0.4 mm, 하악 협측에서는 2.6 ± 0.8 mm로 수직 및 45° 각도로 측정했을 때 보다 큰 값을 보였다. 이러한 연구결과들을 종합해 볼 때 실제 임상에서 피질골 두께는 3 mm를 넘기 힘들다는 것을 알 수 있다. 본 실험에 사용된 하악골의 경우 피질골이 가장 두꺼운 부분의 두께가 2.0 mm였으며 설정된 실험조건에서는 피질골을 완전히 천공시키지는 못했으나 실험에 사용된 미니스크류는 self-drilling type이므로 0.6 mm tip으로 13초간 조사시에 형성된 1.2 mm 정도의 pre-drilling hole의 깊이는 식립시 가해지는 과도한 stress를 막기에는 충분할 것으로 생각된다.

Laser 조사시간에 따른 hole의 직경은 유의차가 없는 것으로 나타났는데 이는

tip의 직경이 한정되어있으며 laser 조사시 형성되는 hole이 원뿔형태를 보이기 때문이다. 미니스크류의 식립토크는 pre-drilling hole의 직경에 가장 큰 영향을 받으며 그 크기는 미니스크류 중심부의 직경보다 작아야 한다(Oktenoglu 등, 2001). Heidemann 등(1998)은 미니스크류 식립시 critical pilot hole size(CPHS, 식립시 발생하는 응력이 최소화되며 넘을 경우 스크류의 실패를 야기하는 pilot hole의 크기)를 알아보기 위해 외경 1.5 mm와 2 mm, 길이 7 mm의 미니스크류를 각각 1.0 mm와 1.4 mm, 1.4 mm와 1.9 mm 직경의 drill을 이용하여 pilot drilling 후 식립하여 각각의 식립토크 측정 및 pull-out test를 시행하였다. 그 결과 pilot hole은 스크류 외경의 85%정도까지 확대하는 것이 유지력을 감소시키지 않는 범위 내에서 적절하며 실제 임상적용 시에는 drilling시의 움직임으로 인해 실제 drill의 직경보다 크게 hole이 형성되므로 스크류 외경의 80% 정도까지 확대하는 것이 추천된다고 하였다. 이는 Gantous 등(1995)이 보고한 80 ~ 85%와 일치한다. 본 연구에서 형성된 pre-drilling hole 중 가장 큰 직경을 가지는 경우가 1.0 mm 정도로, 사용된 미니스크류의 직경의 67% 정도였다. 이는 앞에서 언급한 80%에는 미치지 못하는 수치인데 이는 tip의 사이즈가 0.6 mm로 제한되어있으며 조사되는 laser의 spot size가 1 mm 정도이기 때문이다.

Laser pre-drilling시 형성되는 hole의 직경이나 깊이를 더 증가시키기 위해서는 laser 조사시 핸드피스를 원형으로 움직이거나 hole의 깊이가 깊어짐에 따라 골표면 쪽으로 핸드피스를 움직이는 방법이 있을 수 있다. 본 연구에서는 핸드피스의 수직적, 수평적 위치를 고정 시켰으나 실제로 핸드피스를 골표면 쪽으로 움직이면서 조사했을 경우 0.6 mm tip으로 13초간 조사시에 직경 1.2 mm, 깊이 1.8 mm의 hole이 형성 되었다. 이는 고정위치에서 형성시보다 확실히 증가한 수치이며 실제로 미니스크류 직경의 80% 정도의 직경을 얻을 수 있었다. 하지만 핸드피스의 위치를 움직이는 것은 재현성이 떨어지며 예측 가능성이 매우 낮다. 따라서 hole의 직경과 깊이를 더 증가시키기 위해서는 더 큰 직경의 tip을 사용하거나 laser 조사시간을 더 늘리는 것이 바람직하리라 생각된다. 하지만 조사시간이 길어지게 되면 고정된 위치를 유지하기가 힘들어지며 주변조직에 대한 열손상이 발생할 수 있으므로 주의가 필요할 것이다.

Wang 등(2002)은 소의 하악골에 Er,Cr:YSGG laser를 적용했을 때 일어나는 형태학적 변화를 관찰 하였다. 4 W의 출력으로 1분간 laser를 조사하였으며 tip의 접촉 유무, tip의 이동 유무에 따라 실험군을 나누었다. 실험 결과 tip을 움직이지 않았을 때는 접촉시킨 군(4.43 ± 0.49 mm)이 비접촉군(2.81 ± 0.33 mm)에 비해서 hole의 깊이가 깊었고 접촉시에는 hole의 하방 1/3 부분에서 탄화된 양상이 관찰 되었으나 비접촉군에서는 10 μ m 이내의 최소한의 열손상을 보였다고 한다. 본 연구에서는 laser 조사시간이 더 짧았으며 tip을 골표면에서 떨어진 상태를 유지하였으므로 주변조직에 가해진 열손상은 최소화하였다고 생각된다. 최근 보철용 임플란트 식립을 위한 pre-drilling시에도 laser가 대안으로 많이 사용되고 있는데, 그 이유중의 하나로 bur를 사용한 drilling 시에 발생하는 열에 의한 골 손상을 들 수 있다. 온도상승에 의한 손상을 최소화 하기 위해서는 날카로운 bur를 사용한 간헐적인 drilling, 충분한 irrigation이 추천되기는 하지만(Adell 등, 1985, Benington 등, 2002) 여러 연구에 의하면 drill이 여러 번 반복되어 사용되면 온도 증가를 피할 수 없게 된다(Chacon 등, 2006). 하지만 Er,Cr:YSGG laser나 Er:YAG laser는 주변 조직에 대한 열손상을 최소화 할 수 있으며 이는 파장이 가지는 광학적 특성 때문이라 할 수 있는데, CO₂ laser나 ND:YAG laser보다 물에 대한 흡수율이 높기 때문이다(Buchanan 등, 1987). Er:YAG laser는 2940 nm의 파장을 가지며 골과 주변조직에 큰 열손상 없이 효과적으로 골을 삭제할 수 있다(Kesler 등, 1999, Lewandrowski 등, 1996). Sasaki 등(2002)에 의하면 쥐의 parietal bone에 조사시 표면의 많이 변화된 층과 깊은 층의 덜 영향받은 층으로 구성된 30 μ m 정도 두께의 얇은 층만 변화를 보였다.

이와 대조적으로 CO₂ laser를 조사시에는 골이 녹거나 탄화되는 등 더 광범위한 열손상이 나타났다(Sasaki 등, 2002). Eriksson 등(1983)에 의하면 온도 상승에 대해 골이 생존할 수 있는 역치는 47° C에서 1분으로 나타났다. 즉, 체온에서 10° C 정도 상승한 상태에서 1분간은 유의할 만한 열손상이 나타나지 않는 것을 의미한다. Kimura 등(2001)은 Er,Cr:YSGG laser를 조사시간을 달리하여 mongrel dog의 하악골에 적용시 일어나는 온도변화를 조사했는데, 10초간 조사시에 4° C의 온도 증가를, 30초 조사시에는 최대 15° C의 온도 상승을

보고한 바 있다. 이상을 토대로 본 연구에서 30초 이하로 laser 적용시간이 짧고 tip을 접촉시키지 않았기 때문에 미니스크류의 안정성에 유해한 영향을 미칠 만한 열에 의한 골손상은 없었을 것으로 생각되며 조직학적 분석 및 장기간의 조직반응에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 추후 laser 조사시간을 더 늘리거나 tip의 접촉여부 등의 조건을 추가한 연구가 이루어 진다면 실제 임상에서 laser를 pre-drilling시에 더 유용한 정보를 얻을 수 있으리라 생각된다.

이상과 같은 결과를 토대로 laser조사로 형성된 pre-drilling hole에 실제로 미니스크류를 식립시에 식립토크를 측정하였다. 식립은 hole 깊이에서 유의한 차이를 보여준 5초, 9초, 13초 조사군에서 3개씩을 임의로 선정하여 총 18개를 실험군으로 식립하였으며 pre-drilling 없이 식립한 3개의 대조군과 식립토크를 비교하였다. 교정영역에서 미니스크류의 사용이 증가하면서 그 안정성에 대한 연구들이 많이 시행되었는데 안정성을 평가하는 방법들로는 본 연구에서 사용된 식립토크의 측정 외에도 동요도 측정, resonance frequency test 등을 들 수 있다. Cheng 등(2004)은 식립토크가 교정용 미니스크류의 초기안정성을 평가할 수 있는 방법임을 제시하였고 치과용 임플란트에서도 식립토크의 측정이 일차적인 임플란트 안정성의 표시자로 사용될 수 있으며 임플란트의 기계적 성질을 반영한다고 하였다(Homolka 등, 2002). 식립토크가 크면 초기 안정성 면에서는 좋을 수 있으나 골에 과도한 변형 및 압축력이 생김을 의미하며 골계면에서의 울혈과 괴사, 미니스크류의 파절이 일어날 수 있다(Meredith, 1998, Ueda 등, 1991). 본 연구에서 laser를 이용하여 pre-drilling을 시행하고 식립한 미니스크류와 pre-drilling 없이 식립 한 미니스크류의 식립토크를 비교해 보았을 때 예상대로 pre-drilling을 시행한 스크류의 식립토크가 67.1 ~ 86.5% 정도로 더 낮게 측정되었다. 0.6 mm tip을 사용했을 때는 조사시간이 길어짐에 따라 식립토크가 감소하기는 하지만 통계학적 유의차는 없었다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 식립토크에 가장 큰 영향을 미치는 hole의 직경이 laser 조사시간에 따라 크게 증가하지 않기 때문이다. Motoyosi 등(2006)은 self-tapping형 교정용 미니스크류의 적절한 식립 토크를 5 ~ 10 N cm로 제시한바 있는데 0.6 mm tip을 사용하였을 때 10 N cm 정도의 식립토크를 보였다, 따라서 형성된 pre-drilling hole의 최대 직경 및 깊이, 식립토크 등을 종합해 볼때, 본 연구에 사용된 미니스크류를 식립할 때는

0.6 mm tip을 사용하여 최소한 13초 이상의 pre-drilling을 시행해야 할 것이며 미니스크류의 종류, 피질골의 두께 등에 따라 적절한 tip의 종류와 laser 조사시간을 적용하는 것이 필요하다.

Lewandrowski 등(1996)에 의하면 Er:YAG laser를 쥐의 하악 하연에 조사하였을 때 bur로 drilling 했을 때와 비슷하거나 오히려 더 빠른 치유양상을 보였다고 하였다. Schwarz 등(2006)은 Er:YAG laser를 이용하여 drilling을 시행한 군과 bur를 사용하여 drilling한 군의 골유착 양상에 대해 비교했는데 실험 결과 Er:YAG laser를 조사한 군에서 비록 2주째에는 bur를 이용하여 drilling한 군보다 임플란트와 골사이의 간격이 컸으나 12주 후에는 새로운 골의 형성으로 BIC(Bone-implant contact)에서 유의한 차이가 나타나지 않았다고 한다. Kesler 등(1999)에 의하면 쥐의 tibia에 Er:YAG laser를 이용했을 경우 골계면에 손상을 주지 않았으며 3주와 12주째에는 bur를 이용한 drilling군보다 오히려 더 높은 BIC값을 보였다. 이러한 자료들을 종합해 볼 때 Er:YAG laser와 Er,Cr:YSGG laser는 골재생과 치과용 임플란트의 골유착에 유해한 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

본 연구를 통해 laser pre-drilling을 시행했을 때 laser 조사시간 및 tip의 직경에 따라 형성되는 hole의 양상 및 식립토크에 대해 알아보았으며 Laser pre-drilling을 시행하는 것이 피질골이 두꺼운 하악골에서 식립토크를 감소시키는 것을 관찰 할 수 있었다. 하지만 이번 연구에서는 laser 조작의 미숙함으로 인한 오차가 있을 수 있으며 식립된 미니스크류의 수가 적기 때문에 laser pre-drilling의 효과를 평가하기에는 한계가 있다. 향후 생체 내 실험을 통하여 laser pre-drilling에 대한 조직학적 반응을 알아 볼 필요가 있으며 더 많은 수의 미니스크류를 식립하여 식립토크 뿐만 아니라 제거토크, 동요도 등 장기적인 안정성도 평가할 수 있는 항목들에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다.

V. 결론

Laser를 이용한 pre-drilling이 미니스크류의 안정성에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 laser 조사시간, tip의 크기 등을 달리함에 따른 pre-drilling hole의 형성 양상을 알아보고 실제 미니스크류를 식립 후 식립 토크를 측정하였다. 성건의 하악골에 laser 조사 tip의 직경과 조사시간을 달리하여 pre-drilling hole을 형성한 후 micro CT 촬영을 시행하였으며 형성된 hole의 직경과 깊이를 측정하였다. Pre-drilling hole 형성 후 대조군으로 laser pre-drilling을 하지 않은 3개의 미니스크류를 식립하였으며 0.4 mm tip과 0.6 mm tip을 사용하여 5초, 9초, 13초간 laser를 조사한 pre-drilling hole 중에서 무작위로 3개씩을 선정하여 총 18개의 미니스크류를 실험군으로 식립하였으며 식립시 식립토크를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. Laser를 이용하여 형성한 hole은 하방으로 들어갈수록 좁아지는 원뿔형태를 보였다
2. 두께 1 mm 정도의 피질골을 천공시키는데 0.6 mm tip을 사용시 최소 9초의 시간이 소요되었으며 해당시간 동안 최대 직경은 0.8 mm 정도로 형성되었다.
3. Pre-drilling hole의 최대 직경은 laser 조사시간이 길어짐에 따라 증가하는 양상을 보이거나 변화에 있어 유의차는 없었으며, 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성 있게 크게 나타났다 ($P < 0.05$).
4. Pre-drilling hole의 깊이는 laser 조사시간이 길어짐에 따라 깊어졌으며, laser 조사시간에 관계없이 0.6 mm tip을 사용했을 때가 0.4 mm tip을 사용했을 때보다 유의성있게 깊게 나타났다($P < 0.05$).

5. Laser pre-drilling시 0.4 mm tip을 사용했을 때는 laser 조사시간이 증가함에 따라 식립토크가 감소하였으며($P < 0.05$), 0.6 mm tip을 사용했을 때는 laser 조사시간에 따른 유의차는 보이지 않았다.

이상의 결과로 미니스크류 식립시 Er,Cr:YSGG laser를 이용한 pre-drilling을 시행할 때는 피질골의 두께에 따라 적절한 직경의 tip 선택과 laser 조사시간 설정이 필요함을 알 수 있다. 본 연구의 결과는 이후에 진행될 laser를 이용한 pre-drilling 외에 corticotomy 등 여러 세부적인 실험시의 기초 자료로서뿐만 아니라, 실제 교정 치료시 laser를 적용하는데 대한 참고자료가 될 수 있을 것이다.

참고문헌

Adell R, Lekholm U, Branemark PI, Lindhe J, Rockler B, Eriksson B, et al. Marginal tissue reactions at osseointegrated titanium fixtures. *Swed Dent J Suppl* 1985;28:175-81.

Ando Y, Aoki A, Watanabe H, Ishikawa I. Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria. *Lasers Surg Med* 1996;19:190-200.

Benington IC, Biagioni PA, Briggs J, Sheridan S, Lamey PJ. Thermal changes observed at implant sites during internal and external irrigation. *Clin Oral Implants Res* 2002;13:293-7.

Buchanan SA, Robertson PB. Calculus removal by scaling/root planing with and without surgical access. *J Periodontol* 1987;58:159-63.

Chacon GE, Bower DL, Larsen PE, McGlumphy EA, Beck FM. Heat production by 3 implant drill systems after repeated drilling and sterilization. *J Oral Maxillofac Surg* 2006;64:265-9.

Chen Y, Shin HI, Kyung HM. Biomechanical and histological comparison of self-drilling and self-tapping orthodontic microimplants in dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008;133:44-50.

Cheng SJ, Tseng IY, Lee JJ, Kok SH. A prospective study of the risk factors associated with failure of mini-implants used for orthodontic anchorage. *Int J Oral Maxillofac Implants* 2004;19:100-6.

Deguchi T, Nasu M, Murakami K, Yabuuchi T, Kamioka H, Takano-Yamamoto T. Quantitative evaluation of cortical bone thickness with computed tomographic scanning for orthodontic implants. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;129:721 e7-12.

el-Montaser M, Devlin H, Dickinson MR, Sloan P, Lloyd RE. Osseointegration of titanium metal implants in erbium-YAG laser-prepared bone. *Implant Dent* 1999;8:79-85.

Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: a vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent* 1983;50:101-7.

Eyrich G. Laser-osteotomy induced changes in bone. *Med Laser Appl* 2005;20:25-36.

Gantous A, Phillips JH. The effects of varying pilot hole size on the holding power of miniscrews and microscrews. *Plast Reconstr Surg* 1995;95:1165-9.

Goldman L, Hornby P, Meyer R, Goldman B. Impact of the Laser on Dental Caries. *Nature* 1964;203:417.

Heidemann W, Gerlach KL, Grobel KH, Kollner HG. Influence of different pilot hole sizes on torque measurements and pullout analysis of osteosynthesis screws. *J Craniomaxillofac Surg* 1998;26:50–5.

Heidemann W, Terheyden H, Gerlach KL. Analysis of the osseous/metal interface of drill free screws and self-tapping screws. *J Craniomaxillofac Surg* 2001;29:69–74.

Homolka P, Beer A, Birkfellner W, Nowotny R, Gahleitner A, Tschabitscher M, et al. Bone mineral density measurement with dental quantitative CT prior to dental implant placement in cadaver mandibles: pilot study. *Radiology* 2002;224:247–52.

Huja SS, Litsky AS, Beck FM, Johnson KA, Larsen PE. Pull-out strength of monocortical screws placed in the maxillae and mandibles of dogs. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;127:307–13.

Ivanenko MM, Eyrich G, Bruder E, Hering P. In vitro incision of bone tissue with a Q-switch CO₂ laser. *Laser Life Sci* 2000;9:171–9.

Kim HJ, Yun HS, Park HD, Kim DH, Park YC. Soft-tissue and cortical-bone thickness at orthodontic implant sites. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:177-82.

Kim JW, Ahn SJ, Chang YI. Histomorphometric and mechanical analyses of the drill-free screw as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2005;128:190-4.

Kimura Y, Yu DG, Fujita A, Yamashita A, Murakami Y, Matsumoto K. Effects of erbium,chromium:YSGG laser irradiation on canine mandibular bone. *J Periodontol* 2001;72:1178-82.

Lee SY CJ, Yoon TM, Park YC. The effect of loading time on the stability of mini-implant. *Korean J Orthod* 2008;38:149-58.

Lewandrowski KU, Lorente C, Schomacker KT, Flotte TJ, Wilkes JW, Deutsch TF. Use of the Er:YAG laser for improved plating in maxillofacial surgery: comparison of bone healing in laser and drill osteotomies. *Lasers Surg Med* 1996;19:40-5.

Meredith N. Assessment of implant stability as a prognostic determinant. *Int J Prosthodont* 1998;11:491-501.

Motoyoshi M, Hirabayashi M, Uemura M, Shimizu N. Recommended placement torque when tightening an orthodontic mini-implant. *Clin Oral Implants Res* 2006;17:109-14.

Nam OH, Yu WJ, Kyung HM. Cortical bone strain during the placement of orthodontic microimplant studied by 3D finite element analysis. *Korean J Orthod* 2008;38:228-39.

Oktenoglu BT, Ferrara LA, Andalkar N, Ozer AF, Sarioglu AC, Benzel EC. Effects of hole preparation on screw pullout resistance and insertional torque: a biomechanical study. *J Neurosurg* 2001;94:91-6.

Park HS, Jeong SH, Kwon OW. Factors affecting the clinical success of screw implants used as orthodontic anchorage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:18-25.

Park HS, Yen S, Jeong SH. Histologic and biomechanical characteristics of orthodontic self-drilling and self-tapping microscrew implants. *Korean J Orthod* 2006;36:295-307.

Pogrel MA. The carbon dioxide laser in soft tissue preprosthetic surgery. *J Prosthet Dent* 1989;61:203-8.

Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Ishikawa I. Ultrastructural analysis of bone tissue irradiated by Er:YAG Laser. *Lasers Surg Med* 2002;31:322–32.

Sasaki KM, Aoki A, Ichinose S, Yoshino T, Yamada S, Ishikawa I. Scanning electron microscopy and Fourier transformed infrared spectroscopy analysis of bone removal using Er:YAG and CO2 lasers. *J Periodontol* 2002;73:643–52.

Schwarz F, Olivier W, Herten M, Sager M, Chaker A, Becker J. Influence of implant bed preparation using an Er:YAG laser on the osseointegration of titanium implants: a histomorphometrical study in dogs. *J Oral Rehabil* 2007;34:273–81.

Ueda M, Matsuki M, Jacobsson M, Tjellstrom A. Relationship between insertion torque and removal torque analyzed in fresh temporal bone. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1991;6:442–7.

Wang X, Ishizaki NT, Suzuki N, Kimura Y, Matsumoto K. Morphological changes of bovine mandibular bone irradiated by Er,Cr:YSGG laser: an in vitro study. *J Clin Laser Med Surg* 2002;20:245–50.

Wang X, Zhang C, Matsumoto K. In vivo study of the healing processes that occur in the jaws of rabbits following perforation by an Er,Cr:YSGG laser. *Lasers Med Sci* 2005;20:21–7.

White JM, Chaudhry SI, Kudler JJ, Sekandari N, Schoelch ML, Silverman S, Jr. Nd:YAG and CO2 laser therapy of oral mucosal lesions. *J Clin Laser Med Surg* 1998;16:299–304.

Wigdor HA, Walsh JT, Jr., Featherstone JD, Visuri SR, Fried D, Waldvogel JL. Lasers in dentistry. *Lasers Surg Med* 1995;16:103–33.

Wilmes B, Rademacher C, Olthoff G, Drescher D. Parameters affecting primary stability of orthodontic mini-implants. *J Orofac Orthop* 2006;67:162–74.

Abstract

Effect of laser pre–drilling on insertion torque of orthodontic miniscrews

Geun Hwa Kim

Department of Dentistry

The Graduate School, Yonsei University

(Directed by Professor Chung Ju Hwang, D.D.S., Ph.D.)

The aim of this study is to evaluate the clinical usefulness of laser pre–drilling by using Er,Cr:YSGG laser (Waterlase MD). Laser pre–drilling holes were made on the mandibular bone of a beagle dog with different laser irradiation time and tip diameter. Micro CT was taken to measure the maximum diameter and the depth of the pre–drilling holes. After pre–drilling, 3 miniscrews were placed without pre–drilling as a control group. Among the holes drilled with 0.4 mm, 0.6 mm diameter tip, total 18 miniscrews were placed as experimental groups which were randomly selected from each group. Maximum insertion torque was measured during installation and following results were obtained.

1. Laser pre–drilling holes showed conical shape.
2. To perforate 1 mm thickness cortical bone, it takes at least 9 seconds with 0.6 mm diameter tip and the diameter of the hole was 0.8 mm at that time.

3. The maximum diameter of pre-drilling hole increased with longer laser irradiation time but there were no significant differences. With 0.6 mm diameter tip, it showed larger maximum pre-drilling hole diameter than with 0.4 mm diameter tip ($P < 0.05$).
4. The depth of pre-drilling hole increased with longer laser irradiation time and larger tip diameter ($P < 0.05$).
5. When laser pre-drilling with 0.4 mm diameter tip, insertion torque decreased with longer laser irradiation time ($P < 0.05$), but when using 0.6 mm diameter tip, there was no significant difference by irradiation time.

When miniscrews are inserted by laser pre-drilling with Er,Cr:YSGG laser, it is important to select proper tip diameter and laser irradiation time according to the thickness of cortical bone. The results of this study could be used as reference not only for preliminary data in further research such as laser pre-drilling and corticotomy, but also for the clinical use of laser in orthodontic treatment.

Key words : Miniscrew, Er,Cr:YSGG laser, pre-drilling, insertion torque