Er:YAG 레이저를 이용한 법랑질과 상아질의 절삭율 연구

부산대학교 치과대학 구강내과학교실

김근아 · 안용우 · 고명연 · 박준상

이 연구의 목적은 어븀 야그 레이저의 상아질과 법랑질에서의 절삭율을 조사하고 레이저 절삭후의 형성된 와동의 미세구조적 변화를 전통적인 핸드피스 드릴을 이용한 와동의 미세구조적 변화와 비교하기 위함이다. 사용된 어븀 야그 레이저는 20 Hz, 15 Hz의 주파수에서 200 mJ, 250 mJ, 300 mJ의 에너지 레벨로 나누어 조사하였다.
다음과 같은 결과가 얻어졌다.

1. 3 W-6 W의 에너지 세기로 조사한 상아질 그룹에서의 절삭율은 약 1.103~2.639 mm^3/sec 이었고 4.5 W~6 W의 에너지 세기에서는 유의한 절삭율의 차이가 없었다.
2. 3 W-6 W의 에너지 세기로 조사한 법랑질 그룹에서의 절삭율은 약 0.413~0.969 mm^3/sec 이었고 4 W~6 W의 에너지 세기에서는 유의한 절삭율의 차이가 없었다.
3. 전통적 고속핸드피스 드릴로 삭제된 와동을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 도말층으로 덮인 비교적 편평한 표면을 보였다.
4. 레이저로 삭제된 상아질 와동을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 도말층이 없으며 상아세관이 열려있는 것이 관찰되었다. 하지만 3 W 이상의 에너지 세기로 조사한 와동에서는 표면이 불규칙하며 파편들이 헐겁게 붙어있는 것이 관찰되었다.
5. 레이저로 삭제된 법랑질 와동을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 심하게 파괴된 면이 6 W에서 보였으며 3 W의 에너지 세기에서는 용융된 구상물질이 관찰되었다. 하지만 4 W의 에너지 세기로 조사한 그룹에서는 깨끗하게 절삭된 면이 관찰되었다.

따라서 어븀야그 레이저를 이용하여 치아를 삭제할 때에 가장 효과적이며 열적 손상을 줄일 수 있는 에너지 세기는 상아질에서는 3 W, 법랑질에서는 4 W가 될 수 있을 것이다. 하지만 더 많은 연구와 추가적인 자료들이 필요할 것으로 사료된다.

주제어 : 절삭율, 전통적 고속핸드피스, 어븀야그레이저, 열적 손상

Ⅰ. 서 론

Goldman 등이 최초로 Ruby 레이저를 사용하여 우식 제거의 가능성을 제시한 이후 과거 수 십 년 간 치아 경조직에 대한 여러 레이저의 생체외적 실험이 이루어져 왔으나 결과는 그리 좋지 못하였다[1-5]. 레이저를 이용하여 치아 경조직을 제거하기 위해서는 높은 강도의 에너지를 필요로 하였으며 이로 인해 발생한 열로 인해 치질의 탄화나 용융, 미세 균열, 치수의 열손상 등의 부작용이 나타나게 되었다[6-8].

Er:YAG 레이저는 미국 식품 의약국(FDA)에서 인간의 생체 치아를 삭제하도록 판매를 허용한 최초의 레이저이다. Er:YAG 레이저는 물의 주 흡수 정점과 일치하는 2.94 μm의 파장을 가지기 때문에 법랑질과 상아질에서의 레이저 빔의 흡수가 우수해 치아 경조직 삭제에 적합하다[9]. 1989년 Hibst와 Keller[9,10]가 처음으로 Er:YAG 레이저를 이용하여 치아 삭제를 시도한 이후 현재까지 Er:YAG 레이저의 치아삭제에 대한 여러 연구가 이루어지고 있다. Hibst와 Keller[11]는 Er:YAG 레이저는 CO_2 레이저와 달리 열에 의해 치질을 용해시키거나 소작시키지 않고 치질 내 수분

교신저자: 박준상
부산시 서구 아미동 1가 10번지
부산대학교 치과대학 구강내과학교실
E-mail: jsangpark@pusan.ac.kr

원고접수일: 2004년 12월 15일
교정완료일: 2005년 2월 3일 / 심사통과일: 2005년 2월 23일

Fig. 1. Making grooves on tooth sample by Er:YAG laser handpiece using 800 μm sapphire tip.

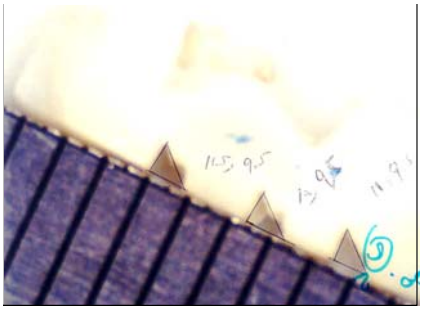

Fig. 2. Measuring method of the width and depth of grooves.

을 가열하여 증기압으로 치질을 폭발시켜 제거하기 때문에 다른 종류의 레이저에 비해 와동 변연부가 명확하고 깨끗할 뿐 아니라 미세균열이나 탄화된 부위가 없다고 하였다.

Paghidiwala등[12]은 1-4 Hz, 100-400 mJ의 조건에서 Er:YAG 레이저를 이용하여 치질에 와동을 형성한 결과 crack이나 탄화 현상이 없었다고 보고하였다. Hibst와 Keller[13]는 Er:YAG 레이저의 경우 200 mJ, 2 Hz의 조사조건에서는 2 ml/분의 물을 분사해 줄 경우, 200 mJ, 10 Hz의 조사조건에서는 5 ml/분의 물을 분사해 줄 경우 치수에 손상을 유발하지 않는다고 하였다.

기존의 Er:YAG 레이저를 이용한 치아 삭제 연구들은 대부분 현재 Er:YAG 레이저가 낼 수 있는 최대 출력보다 낮은 에너지 세기에서 실험이 행해졌으며 보고된 삭제율도 기존의 고속 핸드피스 드릴보다 많이 뒤떨어지는 삭제율을 보였다. 실제 임상에서는 보다 더 높은 삭제 효율을 가지면서도 열손상이 일어나지 않는 레이저 조사조건을 찾는 것이 필요하다.

본 연구의 목적은 높은 주파수와 에너지 레벨의 조사조건에서 Er:YAG 레이저를 이용한 법랑질과 상아질의 삭제율을 조사함과 동시에 열손상의 여부도 관찰해 보고자 함이다.

Ⅱ. 연구재료 및 방법

1. 연구 재료

발거된 건전 성인 구치 38개를 NaOCl 소독액에 보관한 뒤 세척하여 실험 전 24시간 동안 식염수에 보관하였다. 12개의 치아는 법랑질을 삭제하기 위해 치아의 협면 또는 설면을 이용하고 12개의 치아는 상아질을 삭제하기 위해 교합면에 평행하게 절단 디스크로 주수 하에 삭제하여 상아질면을 노출시켰다. 나머지 14개의 치아는 고속핸드피스 드릴과 레이저를 이용하여 형성한 와동을 주사 전자 현미경으로 관찰하기 위해 준비하였다. 와동형성을 위한 법랑질 시편은 충분한 법랑질 두께를 얻기 위해 치아 교두사면을 이용하였고 상아질 시편은 협면 또는 설면의 법랑질을 절단 디스크로 주수 하에 삭제하여 상아질면을 노출시켰다.

2. 연구 방법

1) 삭제율 측정

(1) 레이저 조사

2.94 μm 파장의 Er:YAG 레이저(SDL-300EN, B&B system, 수원, 한국)를 이용하여 조사조건을 다음과 같이 달리하여 조사하였다. 레이저 조사는 접촉식 방식으로 하였으며 800 μm 직경의 사파이어 팁을 이용하였다. 조사세기는 pulse당 200 mJ, 250 mJ, 300 mJ의 세가지 에너지 레벨로 조사하였으며 pulse repetition rate는 20 Hz와 15 Hz의 두 가지 종류를 사용했다.

(2) 삭제방법

각각의 치아 시편에 5 mm 길이의 직선을 3개씩 그은 뒤 레이저 핸드피스를 이용하여 치아표면에 구(groove)를 형성하였다. 레이저 핸드피스를 물분사와 함께 800 μm 직경의 사파이어 팁을 이용하여 접촉식으로 각각의 직선에 0.5 mm/초의 속도로 이동시켰다(Fig. 1). 형성된 구(groove)의 임의의 세 곳에서 절단 디스크를 이용하여 수직으로 절단하였다. 절단된 치

아시편을 자와 함께 광학 현미경으로 촬영하였다. 비례를 이용하여 삭제단면의 너비와 깊이를 구하였다(Fig. 2). 삭제율(mm^3/초)은 레이저를 이용한 삭제단면이 삼각형을 이루는데 착안하여 다음의 식을 이용하여 구하였다[15].

식 : 1/2×너비(mm)×깊이(mm)×길이(mm)/시간(s)

2) 와동 형성 및 관찰

(1) 레이저 조사

삭제율 측정 실험 시의 레이저 조사조건과 동일하며 조사 시간을 물분사와 함께 한 점에 7초간 조사하였다.

(2) 와동 형성

14개의 치아 중 12개의 치아는 레이저를 이용하여 와동을 형성하였다. 800 μm 직경의 사파이어 팁을 이용하여 접촉식으로 물 분사와 함께 7초간 한 점에 조사하였다. 나머지 2개의 법랑질과 상아질 시편은 각각 직경 1 mm의 No.2 round bur (Kornet, Germany)를 이용하여 물 분사와 함께 7초간 와동을 형성하였다.

(3) 와동 관찰

와동이 형성된 시편을 주사전자 현미경(S-4200, Hitachi, Japan촬영 전 2 kV와 20 mA의 전압과 4×10^{-2} bar/pa의 진공상태에서 백금으로 피복 처리하였다. 와동 변연부를 60-90배 확대소견으로 촬영하고 와동측벽을 900배 확대소견으로 촬영하였다.

3. 통계처리

측정 data는 Window용 SPSS package version 10.0 중 Student t-test와 ANOVA Test를 이용하여 통계 처리하였다. 그리고 에너지 세기 간의 삭제율을 비교하기 위해서 multiple comparison t-test가 사용되었다. 95%의 유의수준으로 검증을 하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 삭제율 측정

Er:YAG 레이저의 법랑질과 상아질에서의 삭제율을 알아본 결과 에너지 레벨이 증가할수록 치질의 삭

Table 1. The ablation rate of detin and enamel at 20 Hz group according to various energy levels (mm^3/s)

groups	energy level			p-value
	200mJ	250mJ	300mJ	
dentin (n=6)	1.555 ± 0.244	2.219 ± 0.525	2.639 ± 0.540	*
enamel (n=6)	0.797 ± 0.197	0.960 ± 0.251	0.969 ± 0.263	*
p-value	*	*	*	

* $p<0.05$

Table 2. The ablation rate of detin and enamel at 15Hz according to various energy levels (mm^3/s)

groups	energy level			p-value
	200mJ	250mJ	300mJ	
dentin (n=6)	1.103 ± 0.378	1.454 ± 0.323	2.049 ± 0.330	*
enamel (n=6)	0.413 ± 0.112	0.621 ± 0.167	0.902 ± 0.176	*
p-value	*	*	*	

* $p<0.05$

제율이 증가하였으며 상아질에서의 삭제율이 법랑질의 삭제율보다 통계적으로 유의하게 높았다(Table 1, 2). 에너지 레벨 간의 삭제율의 비교에서 pulse repetition rate 20 Hz에선 상아질의 경우 200 mJ과 250 mJ 사이에서 통계적으로 유의한 차이가 있었고 250 mJ과 300 mJ에서는 유의한 차이가 없었다. 법랑질의 경우 200 mJ과 250 mJ사이 250 mJ과 300 mJ 사이에선 통계적 유의성이 없었다. pulse repetition rate 15 Hz에선 상아질의 경우 200 mJ과 250 mJ 사이에선 통계적으로 유의한 차이가 없었고 250 mJ과 300 mJ에서는 통계적으로 유의한 차이가 있었다. 법랑질의 경우 200 mJ과 250 mJ 사이 250 mJ과 300 mJ 사이에선 삭제율의 유의한 차이가 없었다(Table 4, 5)

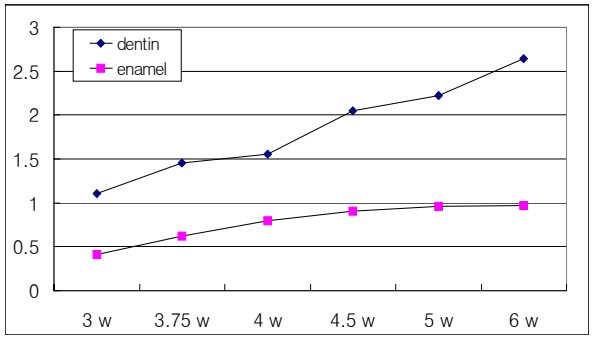

Fig. 3. The ablation rate of detin and enamel at various power levels (mm^3/s).

에너지 세기의 증가에 따른 상아질과 법랑질의 삭제율을 조사한 결과 상아질과 법랑질 모두 에너지 세기가 증가할수록 삭제율이 증가하는 경향을 띠었으며 상아질에서 법랑질에서보다 더 높은 삭제율의 증가를 보였다(Table 3, Fig. 3).

상아질, 법랑질에서 각각의 에너지 세기 간의 삭제율 차이의 통계적 유의성을 알아보기 위한 multiple comparison test 결과 상아질의 경우 4 W와 4.5 W사이를 제외한 3 W와 3.75 W, 3.75 W와 4 W, 4.5 W와 5 W, 5 W와 6 W 간의 삭제율은 통계적인 유의한 차이가 없었다. 3 W, 3.75 W, 4 W의 경우 4.5 W 이상의 에너지 세기의 삭제율과 비교 시 삭제율의 유의한 차이가 있었고 4.5 W의 경우 6W에서의 삭제율과 비교

Table 3. The ablation rate of detin and enamel at various power levels(mm^3/s)

groups	power						p-value
	3 W	3.75 W	4 W	4.5 W	5 W	6 W	
dentin (n=6)	1.103 ± 0.378	1.454 ± 0.323	1.555 ± 0.244	2.049 ± 0.330	2.219 ± 0.525	2.639 ± 0.540	*
enamel (n=6)	0.413 ± 0.112	0.621 ± 0.167	0.797 ± 0.197	0.902 ± 0.176	0.960 ± 0.251	0.969 ± 0.263	*
p-value	*	*	*	*	*	*	

* $p<0.05$

Table 4. Result of multiple comparison t-test for ablation rate of dentin groups

power	3 W	3.75 W	4 W	4.5 W	5 W	6 W
3 W						
3.75 W						
4 W						
4.5 W	*	*	*			
5 W	*	*	*			
6 W	*	*	*	*		

* $p<0.05$

Table 5. Result of multiple comparison t-test for ablation rate of enamel groups

power	3 W	3.75 W	4 W	4.5 W	5 W	6 W
3 W						
3.75 W						
4 W	*					
4.5 W	*	*				
5 W	*	*				
6 W	*	*				

* $p<0.05$

시 삭제율의 유의한 차이가 있었다. 법랑질에서는 3 W와 3.75 W, 3.75 W와 4 W, 4 W와 4.5 W, 4.5 W와 5 W, 5 W와 6 W 간의 삭제율에는 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 4 W 이상의 에너지 세기에서는 에너지 세기간 삭제율 비교 시 통계적으로 유의한 차이가 없었다(Table 4, 5).

2. 삭제 단면 관찰

1) 와동 변연부

고속 핸드피스 드릴을 이용하여 삭제한 경우 법랑질, 상아질 모두에서 변연이 명확하고 날카롭게 형성되었다(Fig. 4, Fig. 12). 상아질의 경우 같은 에너지

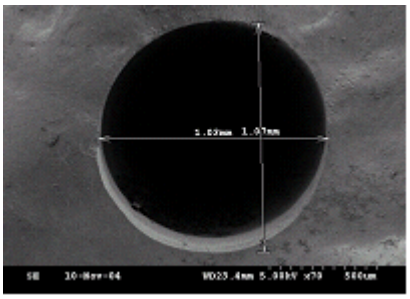

Fig. 4. Enamel treated by bur (×70)

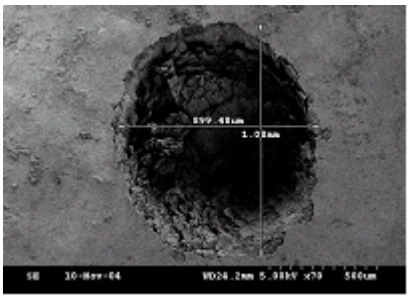

Fig. 5. Enamel treated by 300 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (×70)

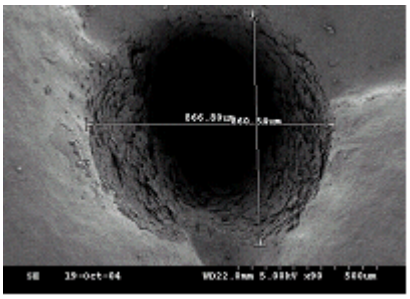

Fig. 6. Enamel treated by 200 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (×90)

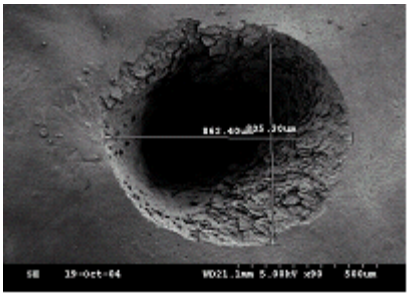

Fig. 7. Enamel treated by 200 mJ,15 Hz Er: YAG laser (×90)

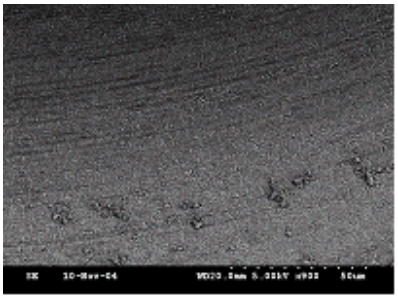

Fig. 8. Enamel treated by bur (×900)

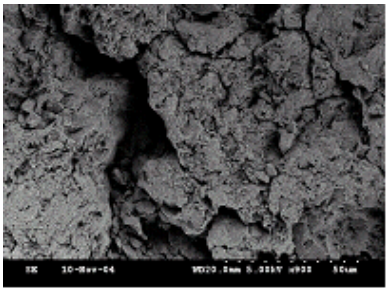

Fig.9. Enamel treated by 300 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (× 900)

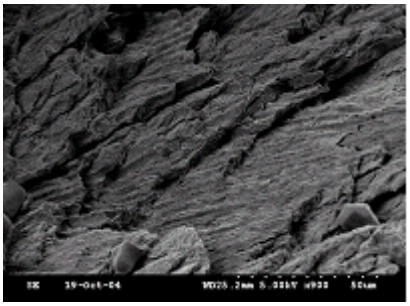

Fig. 10. Enamel treated by 200 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (×900)

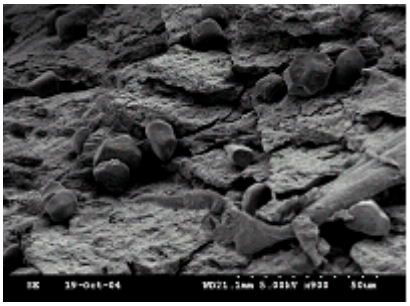

Fig. 11. Enamel treated by 200 mJ,15 Hz Er: YAG laser (×900)

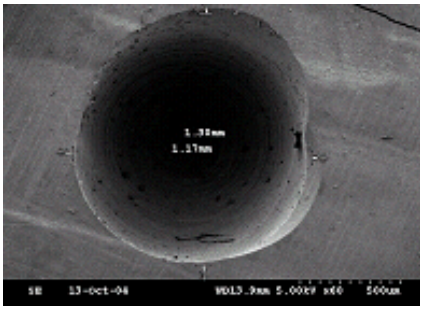

Fig. 12. Dentin treated by bur(×60)

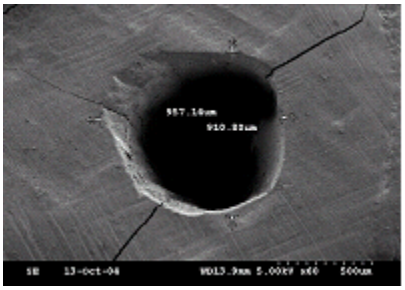

Fig. 13. Dentin treated by 300 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (×60)

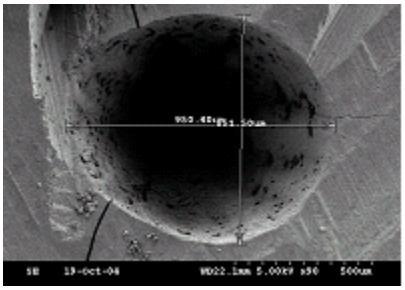

Fig. 14. Dentin treated by 200 mJ, 20 Hz Er: YAG laser (×90)

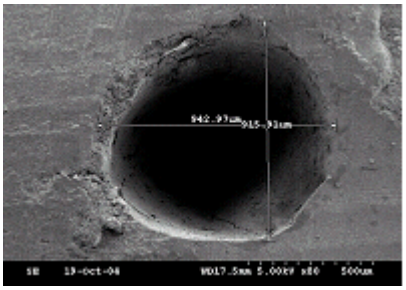

Fig. 15. Dentin treated by 200 mJ,15 Hz Er: YAG laser (×80)

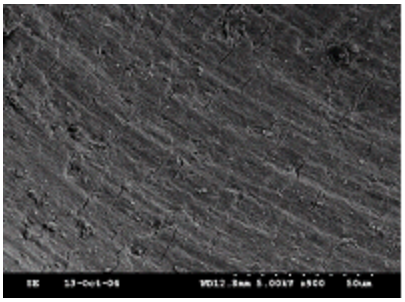

Fig. 16. Dentin treated by bur(×900)

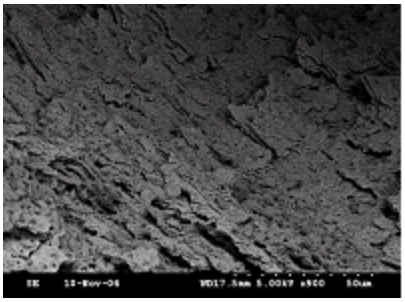

Fig. 17. Dentin treated by 300 mJ, 20Hz Er: YAG laser (×900)

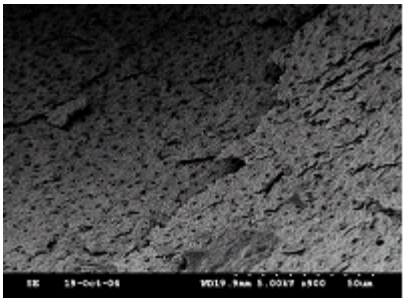

Fig. 18. Dentin treated by 200 mJ, 20 Hz Er: YAG laser(×900)

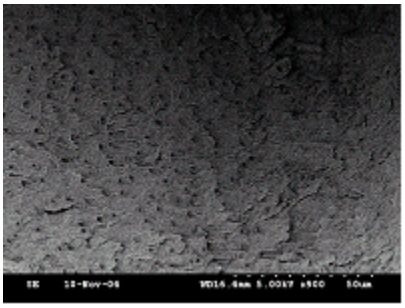

Fig. 19. Dentin treated by 200 mJ,15 Hz Er: YAG laser (×900)

레벨에서 와동상부의 직경이 법랑질에서보다 더 컸다.

레이저를 이용한 경우 와동 상부의 직경은 조사에너지 세기가 증가할수록 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 고속 핸드피스 드릴을 이용한 경우와 마찬가지로 같은 에너지 세기에서 법랑질보다 상아질의 경우 와동 상부의 직경이 더 컸다. 와동 변연은 고속 핸드피스 드릴을 이용한 경우보다 비교적 거칠고 불규칙적으로 형성되었다(Fig. 5-7, Fig. 13-15). 레이저

를 이용한 상아질 와동변연 관찰 시 주변으로 방사되는 몇 개의 균열을 볼 수 있는데 이것은 SEM 관찰을 위한 시편처리 시 압력으로 인한 것으로 사료된다 (Fig. 13,14).

2) 와동 벽

고속 핸드피스 드릴을 이용하여 삭제한 경우 회전식 바에 의한 줄무늬의 비교적 부드러운 표면을 보이고 있었다. 법랑질의 경우 와동 입구 주변으로 삭제 후 잔사가 부분적으로 남아 있었다 (Fig. 8). 상아질의 경우 전 표면에 걸쳐 도말층이 덮여 있어 상아세관의 입구가 막혀 있었고 삭제 잔사가 부분적으로 보였다 (Fig. 17).

레이저를 이용하여 삭제한 경우 법랑질의 경우 법랑질 소주가 쪼개어져 있는 듯한 양상을 띠고 있었다. 6 W와 같은 높은 에너지 레벨에서는 부분적으로 심하게 파괴된 듯한 곳이 있었으며 불규칙한 면을 보였다. 4 W의 경우에는 층판모양으로 삭제된 비교적 깨끗한 삭제면을 보였다. 3 W의 경우에는 구상체의 무결정 물체가 발견되었다(Fig. 11). 상아질의 경우 도말층은 없었고 상아세관의 입구가 개방되어 있었다. 전체적으로 정도의 차이는 달랐지만 불규칙하며 특히 떨어지기 쉬운 비늘 모양으로 치질이 파편 조각처럼 들떠 있는 모양이었으며 부분적으로 미세 균열이 발견되었다. 반면에 3 W의 경우에는 비교적 부드러운 표면을 보였다(Fig. 17-19).

Ⅳ. 총괄 및 고찰

조직이 기화되기 위해서는 레이저 파장이 조직에 효과적으로 흡수되어야 한다. 치질의 삭제효과는 레이저의 파장에 따라 다른데, 이와 같은 관점에서 볼 때 치질의 주성분인 hydroxyapatite와 물에 제일 잘 흡수되는 2.94 μm의 Er:YAG 레이저가 다른 레이저에 비해 치질 삭제능력이 가장 효과적이다[15]. 이런 Er:YAG 레이저의 물에서의 흡수 정도는 CO_2 레이저의 10배, Nd:YAG 레이저의 2만 배나 된다[16]. 또한 Er:YAG 레이저는 hydroxyapatite에서의 흡수율도 높다. 다른 레이저가 열작용을 이용해 치질을 기화시켜 치아를 삭제한다면 물을 매개로 한 Er:YAG 레이저는 폭발적인 치질 삭제를 일으켜 효과적으로 치질을 삭제한다. 하지만 Er:YAG 레이저 역시 치아 삭제 시 치아 열손상의 위험에서 안전하다고는 할 수 없다. 레이저 조사 시의 열 발생은 치질의 탄화나 용융, 균열 등을 일으키고 치수의 염증과 괴사를 일으킨다[17]. 하지만 적절한 물 분사는 이런 열을 냉각시키고 과도한 레이저 에너지를 흡수한다. 또한 물 분사는 치질을 항상 젖은 상태로 유지시켜주므로 레이저 에너지의 흡수를 도와 삭제를 더 용이하게 만들어 준다[12,18,19].

이번 연구에서는 기존의 연구들에서보다 높은 에너지 레벨에서 Er:YAG 레이저(SDL-300EN, B&B system, 수원, 한국)를 이용하여 법랑질과 상아질의 삭제율에 대해 조사해 보았다. 연구 결과로부터 상아질에서의 삭제율이 법랑질의 삭제율보다 통계적으로 유의하게 높음을 확인할 수 있었는데 이것은 Burkes[18]의 연구에서와 같이 상아질의 높은 수분함량이 효과적인 치질 삭제를 가져온다는 결과와 일치한다. 에너지 세기와 삭제율과의 그래프에서 볼 수 있듯이 상아질의 경우에는 선형관계를 법랑질의 경우엔 로그함수 관계를 나타내었다. 법랑질, 상아질 모두에서 에너지 세기가 증가할수록 삭제율은 증가하는 경향을 보였다. 법랑질의 경우는 상아질의 경우보다 삭제율의 증가가 미약하였다. 이것은 법랑질의 낮은 수분함량, 유기물 함량으로 인해 에너지 세기가 증가할수록 조사 에너지가 효율적으로 삭제에 이용되지 못하고 열로 전환된 것을 의미하는 듯하다. 에너지 세기간의 삭제율의 비교에서 상아질의 경우는 4.5 W 이상의 에너지 세기에서부터 삭제율의 유의한 차이가 없었고 법랑질의 경우 4 W 이상의 경우에서부터 삭제율의 유의한 차이가 없게 나타났는데 이것은 상아질에서는 4.5 W이상의 에너지 세기에서 법랑질에서는 4 W 이상의 에너지 세기에서 치아를 삭제하는 것은 삭제효율을 높이는 것보다 열 발생을 더 많이 시킨다고 볼 수 있겠다.

Levy등[15]이 행한 Er:Cr:YSGG 레이저와 고속 핸드피스 드릴을 이용한 법랑질 삭제율 비교 연구에서 20 Hz, 2 W~8 W의 조사 조건에서 법랑질의 삭제율과 삭제면을 관찰한 결과 치아 삭제면 관찰 시 열손상을 발견하지 못했다고 하였고 전체 에너지 레벨에서 에너지 세기(W)당 일정한 삭제율은 어떤 에너지도 열에너지로 소모되지 않는다는 것을 의미하는 것 같다고 하였다. 또한 레이저에 의한 삭제율은 법랑질의 경우 8 W에서 0.2556 mm^3/초 이었고 6 W에서는 0.1558 mm^3/초 이었고 고속 핸드피스 드릴의 경우는 0.945 mm^3/초 라고 하였다. 이번 연구에서 얻은 상아질의 최대 삭제율은 20 Hz, 6 W에서 약 2.639 mm^3/초, 법랑질의 최대 삭제율은 20 Hz, 6 W에서 약 0.969 mm^3/초 로 나타났다. 이것은 이전 실험들의 절삭율

과 비교 시 확연히 높은 삭제율을 보인다. 특히 법랑질의 삭제율이 위의 실험 중 고속 핸드피스 드릴을 이용한 경우보다 더 높게 나타났는데 이것은 고속 핸드피스 드릴의 조건 설정 시 가해지는 힘의 크기나 바의 종류에 따라 많이 바뀔 수 있는 것이며 Er:Cr:YSGG 레이저 조사 시 조건 설정도 많은 차이가 있기 때문에 절대적인 비교자료는 될 수 없다.

이번 연구에서 Er:YAG 레이저를 이용하여 3 W~6 W의 조사조건에서 삭제한 치아 면을 관찰 시 법랑질의 경우 6 W에서는 열에 의해 심하게 파괴된 곳이 관찰되었으며 3 W의 경우엔 구상체의 무결정 물체가 관찰되었다. 반면에 4 W의 경우엔 비교적 깨끗한 층판모양의 삭제면이 관찰되었는데 이것은 법랑질에서 3 W와 같은 낮은 에너지 세기에서는 삭제된 치질의 배출이 신속히 이루어지지 않아 남아있던 삭제치질이 레이저 에너지를 흡수하여 용융된 것으로 보이며 6 W와 같은 높은 에너지 세기에서는 삭제량은 증가하나 높은 열에너지로 인해 치질의 열손상이 많은 것으로 보인다. 따라서 4 W 정도의 에너지 세기에서 법랑질을 삭제하는 것이 열에 의한 손상도 줄이면서 효과적인 법랑질의 삭제도 가져올 것으로 사료된다.

상아질의 경우 레이저로 삭제 시 얻어지는 미세 불규칙 면과 도말층의 잔존 없는 열린 상아세관 등이 수복물과의 접촉력을 향상시킨다고 하였으나 이번 연구에서 상아질 삭제면 관찰 시 많이 발견되었던 느슨하게 붙어있는 불규칙한 미세파편들은 오히려 수복물과의 접촉력을 떨어뜨릴 것으로 보인다[20,21]. 이것은 너무 높은 에너지 세기에서의 상아질 삭제는 오히려 수복물과의 접착 시 방해 요소들을 만들어 낼 수 있다는 것을 알려준다. 6 W, 4 W의 에너지 세기에서는 이런 불규칙한 미세파편들이 많이 발견되었으나 3 W의 에너지 세기에서는 비교적 깨끗한 면을 보여주어 상아질 삭제 시는 3 W 정도의 에너지 세기를 사용하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

치질 삭제율 연구와 삭제면 관찰 연구 결과를 통합해보았을 때 법랑질 삭제 시 적절한 에너지 세기는 약 4 W, 상아질 삭제 시 적절한 에너지 세기는 약 3 W로 사료된다. 아무리 삭제 능력이 우수하다고 해도 치질의 온도를 상승시켜 치수가 손상될 경우 삭제능력은 의미를 잃게 된다. 따라서 최대의 삭제효율을 가지면서도 최소의 열손상을 가지는 레이저 조사조건을 찾는 것이 필요하다.

본 연구에서는 기존의 연구들에서보다 높은 에너지 레벨에서 Er:YAG 레이저를 이용하여 Er:YAG 레이저의 치질 삭제율을 구하였다. 레이저로 치질 삭제 시 삭제 단면이 삼각형을 이룬다는 점에 착안하여 일정한 속도로 레이저를 조사하여 삭제율을 구하였다. 하지만 실제 실험 시 정밀한 기계를 이용한 것이 아니므로 속도의 정확성의 부족으로 인한 오차가 있을 것으로 사료된다. 3 W 이상의 에너지 세기에서만 레이저 조사조건을 설정하였고 삭제 방식도 접촉식으로만 설정하여 실험하였으므로 치아 삭제 시 변수로 작용할 수 있는 레이저 에너지의 주파수와 에너지 레벨, 물 분사의 속도와 양, 접촉 방식 등 다양한 조건에서의 연구가 더 필요하다. 또한 삭제면 관찰만으로는 치아의 열손상 여부를 단정 지을 수 없으므로 치아 삭제 시 치수의 온도상승에 관한 연구도 함께 하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 치아의 열 손상을 줄이면서도 삭제율을 높일 수 있는 최적의 조건을 찾기 위한 더 많은 연구가 행해져야 할 것이다.

V. 결 론

Er:YAG 레이저를 이용하여 3 W~6 W의 에너지 세기에서 법랑질과 상아질의 삭제율을 조사하고 Er:YAG 레이저를 이용하여 형성한 와동과 고속 핸드피스 드릴을 이용하여 형성한 와동을 주사전자 현미경을 통하여 관찰비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상아질의 삭제율은 3 W~6 W 에서 약 1.103~2.639 mm^3/초 이었으며 4.5 W 이상의 에너지 세기에서는 삭제율의 유의한 차이가 없었다.
2. 법랑질의 삭제율은 3 W-6 W 에서 약 0.413~0.969 mm^3/초 이었으며 4 W 이상의 에너지 세기에서는 삭제율의 유의한 차이가 없었다.
3. SEM 관찰에서 고속 핸드피스 드릴을 이용한 삭제면을 관찰한 결과 비교적 부드럽고 평탄한 삭제면이 관찰되었으며 삭제잔사와 도말층이 관찰되었다.
4. 레이저를 이용한 상아질의 삭제면 관찰 시 삭제 잔사나 도말층이 없었으며 상아세관이 열려있었다. 3 W에선 비교적 깨끗한 삭제면이 관찰되었으나 더 높은 에너지 세기로 조사한 경우는 느슨하게 붙어있는 불규칙한 파편과 미세 균열 등이 관찰되었다.
5. 레이저를 이용한 법랑질의 삭제면 관찰 시 6 W에선 열에 의해 심하게 파괴된 면이 부분적으로 관

찰되었으며 3 W에선 열에 의해 용융된 구상물질들이 관찰되었다. 4 W에선 비교적 깨끗하게 층판형으로 삭제된 면이 관찰되었다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 효과적인 치질 삭제율을 가지면서도 최소한의 열손상을 가지는 레이저 세기는 상아질에서는 3 W, 법랑질에서는 4 W일 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Goldman L, Hornby P, MeyerR, Goldman B. Impact of the laser on dental caries. Nature. 1964;203:417.
2. Keller U, Hibst R : Effects of Er:YAG laser in caries treatment : A clinical pilot study. Laser Surg Med 1997;20:32-38.
3. Moritz A, Gutknecht N, Schoop U et al. Alternatives in enamel conditioning :A comparison of conventional and innovative methods. J Clin Laser Med Surg 1996;14:133-136.
4. Meleer J. CO_2 laser beam : preliminary results. Laser Surg Med 1984;4:311-321.
5. Yamada Y, Hossain M, Joe T, et al.. Removal effects of the Nd:YAG laser and Carisolv on caries dentin. J Clini Laser Med Surg 2000;18:241-245.
6. Shoji S, Nakamura M, Horiochi H. Histopathological changes in dental pulps irradiated by CO_2 laser: A preliminary report on laser pulpotomy. J Endod 1985;11:379-384.
7. Harvey W. Elliot A, Shahid A et al. The effect of lasers on dental hard tissue. J Am Dent Assoc 1993;124:65-70.
8. Wigdor HA, Walsh JT, Featherstone JD, et al. Lasers in dentistry. Laser Surg Med 1995;16:103-133.
9. Hibst R. Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances : I. Measurement of the ablation rate. Lasers Surg Med 1989;9:338-344.
10. Hibst R. Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on dental hard substances : II. Light microscopic and SEM investigations. Lasers Surg Med 1989;9:345-351.
11. Hibst R, Keller U. Experimental studies of the application of the Er:YAG laser on the dental hard substances : I. Measurement of the ablation rate. Laser Surg Med 1989;9:338-344.
12. Paghdiwala AF, Vaidyanahan TK. Evaluation of Er:YAG laser radiation of hard dental tissue: analysis of temperature change, depth of cuts and structural effects. Scanning Micros.1993;7:989-997.
13. Hibst R, Keller U. Effect of water spray and repetition rate on the temperature elevation during Er:YAG laser ablation of dentin. SPIE 1995;2623:139-144.
14. 박준상, 김기석. 레이저 치의학. 서울, 1984, 덴탈기획, pp. 32-74.
15. Levy G, Koubi GF Miserendino LJ. Cutting efficiency of a mid-infrared laser on human enamel. J Endod 1998;24(2):97-101.
16. Koort HJ, Frentzen M.YAG-lasers in restorative dentistry: A histological investigation. Proc SPIE 1992;1643:403-411.
17. Adrian JC, Bernier JL, Sprague WG. Laser and the dental pulp. J Am Dent Assoc 1971;83(Jul):113-117.
18. Burkes EJ Jr. Hoke J. Gomes E. Wolbarsht M. Wet versus dry enamel ablation by Er:YAG laser. J Prosthet Dent 1992;67:847-851.
19. Visuri SR. Walsh JT Jr. Wigdor HA. Erbium laser ablation of dental hard tissue:Effect of water cooling. Lasers Surg Med 199618:294-300.
20. Hibst R. Keller U. Effects of Er:YAG laser on enamel bonding of composite materials. Proc SPIE 1993;1880:163-168.
21. A. Aoki. I Ishikawa., T. Yamada et al. Comparison between Er:YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. J Dent Res 1998;77(6):1404-1414.

- ABSTRACT -

Comparative Study of the Ablation Rates of Er: YAG Laser Irradiation on Dentin and Enamel

Kun-A Kim, D.D.S., Yong-Woo Ahn, D.D.S.,M.S.D.,Ph.D.
Myung-Yun Ko, D.D.S.,M.S.D.,Ph.D., June-Sang Park, D.D.S.,M.S.D.,Ph.D.

Department of Oral Medicine, College of Dentistry, Busan National University

The purpose of this study was to examine the ablation rate of Er: YAG laser irradiation on dentin and enamel and to observe the microscopic structures of cavities formed after ablation of enamel and dentin in using a bur and cavities formed after ablation using laser. Er:YAG laser irradiated at 200 mJ, 250mJ, 300mJ at the frequency of 20Hz, 15Hz. The following res ults were obtained :

1. The ablation rate of dentin groups at power of 3 W-6 W was about 1.103~2.639mm^3/sec and there were no significant differences between power of 4.5 W~6 W.
2. The ablation rate of enamel groups at power of 3 W-6 W was about 0.413~0.969mm^3/sec and there were no significant differences between power of 4 W~6 W.
3. With SEM examination of the cavity surface treated with the conventional high speed bur revealed relatively flat appearance almost covered with a debris like smear layer.
4. With SEM examination of the lased surface of dentin groups revealed no smear layer and no debris and openings of dentinal tubules were clearly opened. But the lased surfaces of the groups over 3 W were irregular and particles were loosely attached on it.
5. With SEM examination of the lased surface of enamel groups revealed severely destructed surface at the 6 W group and melting drop materials at the 3 W group. But the lased surface of 4 W group revealed clearly ablated surface.

Therefore when cutting teeth using Er:YAG laser, the lasing power which can make effective ablation rate and minimize the thermal effect could be 3W at dentin and 4W at enamel. But, further studies and additional data collection will be necessary for appropriate lasing condition of Er:YAG laser.

Key words : ablation rate, conventional high speed bur, Er:YAG laser, thermal effect