

## Er:YAG 레이저를 이용한 치아삭제 효과

최남기 · 양규호 · 박상원\* · 김옥준\*\*

전남대학교 치과대학 소아치과학교실, 보철과학교실\*, 구강병리학교실\*\* 및 치의학 연구소

### 국문초록

Er:YAG 레이저는 파장이 물의 주흡수 정점과 일치하는 2.94 $\mu$ m의 방출파장을 가지기 때문에, 물분사를 하면서 사용했을 때, 다른 레이저보다 열손상은 더 작으면서 치아경조직을 보다 효과적으로 삭제한다고 알려져 있다. Er:YAG 레이저의 상아질 삭제 효과를 평가하고자 발거된 소구치와 대구치를 대상으로 상아질 시편을 제작하고 2.94 $\mu$ m의 pulsed Er:YAG 레이저 (SDL-300EN, 삼성전자, 한국)를 handpiece형의 전달계를 이용한 비접촉식 방법으로, 물에 담겨진 시간과 레이저 조사시간에 따른 삭제량과 형태를 조사, 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 건전 상아질에 대한 조사 결과 물에 담근 시간이 증가할수록 삭제율이 증가 하였다
2. 건전 상아질과 우식 상아질에 150mJ, 10Hz의 조건으로, 30초간 레이저를 조사했을 때, 우식상아질에 비해 건전 상아질에서 surface irregularity가 증가하고 상아세관이 열리는 경향이 있었으며 crack이 관찰되었다. 또한 우식 상아질에 비해 많은 탄조각(ash flecks), crack이 관찰되었고 상아세관의 불연속성(inconsistency)이 관찰 되었다.
3. 우식 상아질에서 30초로 조사한 경우에는 dark zone이 와동에 국한되어 나타났으며 작은 fleck들이 관찰되었고, 1분간 조사한 경우에는 30초의 경우보다도 와동이 더 넓었으며, crack이 상아세관 주행방향과 직각으로 형성된 것을 관찰 할 수 있었다. 2분간 조사한 경우는 와동이 가장 넓었으며 crack이 더 많이 형성된 것을 볼 수 있었다.

**주요어** : Er:YAG 레이저, 상아질, 삭제량, 조직학적 소견

### I. 서 론

치과용 핸드피스를 이용한 재래식 치아삭제는 공포와 통증을 유발하게 되는데 이는 주사에 대한 공포나 소음 진동 때문이다. 따라서 치과용 드릴을 이용한 치아삭제를 대신해서 레이저를 이용하여 치아를 삭제하려는 시도가 지금까지 수 많은 선행들에 의해 이루어졌다.

1960년 Mainman이 ruby laser를 발견한 이후, 1964년 Goldman 등<sup>1)</sup>이 ruby laser를 이용하여 치아우식을 제거하려는 시도하였으며 그 뒤 많은 학자들이 argon, CO<sub>2</sub>, Nd:YAG laser가 치아 경조직과 우식에 미치는 영향에 대해 연구하였다<sup>2-4)</sup>. 그러나 이 레이저들은 치아 경조직을 삭제하기 위해서는 비교적 높은 에너지가 필요했으므로 범랑질과 상아질의 melting,

Crack 혹은 탄화, 치수손상 같은 부작용을 초래하여 치아 경조직 삭제에는 불충분함을 보여줬다<sup>5-9)</sup>. 따라서 이 레이저들은 레이저 조사를 받은 범랑질의 분해저항성(dissolution resis-

tance)을 증가시킴으로써 우식을 예방하고<sup>10,11)</sup>, 초기우식의 제거<sup>12,13)</sup>, 광중합 수복물의 중합<sup>14)</sup>등에만 제한적으로 효과를 나타냈다.

Nd:YAG 레이저를 사용할 때는 범랑질과 상아질의 삭제효율을 높이기 위해 검정색의 dye를 사용했다<sup>15)</sup>. Excimer 레이저<sup>16)</sup>와 Nd:YLF(neodymium-doped:yttrium-lithium-fluoride) 레이저<sup>17)</sup>와 같은 새로운 형태의 레이저들은 in vitro에서 거의 열손상 없이 깨끗한 와동을 형성할 수 있는 가능성을 보여줬으나, 경조직 삭제 효율은 아직까지 임상적으로 증명되지는 않았다.

Er:YAG(erbium-doped:yttrium-aluminum-garnet)laser는 물과 하이드록시아파타이트에 흡수가 잘 되므로 경조직 치료에 훌륭한 효과가 있다<sup>18,19)</sup>. 이는 Er:YAG 레이저의 파장이 물의 주흡수 정점과 일치하는 2.94 $\mu$ m의 방출파장을 가지기 때문에, 범랑질과 상아질을 포함하는 치질내 수분에 흡수되어 증기를 발생 시킴으로써 미세 폭발(microexplosion)에 의해 치질이 제거되기 때문이라고 알려져 있다. Hibst와 Keller<sup>20,21)</sup>가 치아경조직 치

료를 위해 처음으로 Er:YAG 레이저를 치과에 도입한 이후 여러 연구가들이 Er:YAG 레이저가 특히 물분사를 하면서 사용했을 때<sup>18,24)</sup>, 다른 레이저보다 열손상은 더 작으면서 치아 경조직을 보다 효과적으로 삭제한다고 보고하였다<sup>9,22,23)</sup>.

또한 치주분야에도 Er:YAG 레이저가 이용되었고<sup>25,26)</sup>, Er:YAG 레이저로 외동형성 후 레진 수복을 했을 때 매우 고무적인 효과들이 있다고 보고되었지만<sup>27-29)</sup>, 치아우식증에 대한 효과와 치아 경조직 치료시 구조변화등에 대한 상세한 연구는 거의 보고되지 않았다.

근래에 Er:YAG 레이저가 기존의 articulated arm 형태의 전달시스템으로부터 optic fiber 형태로 개선, 개발되므로써 치의학계에 본격적으로 소개되었고 Er:YAG 레이저를 이용한 치아삭제효과에 대해 관심을 갖게 되었다. 우리나라에서도 최근에 삼성전자에서 Er:YAG 레이저를 개발, 완료하여 최종단계에 들어가 있으며 조만간 시판될 예정이다.

현재는 기술적인 문제때문에 치아우식증 치료에 Er:YAG 레이저를 적용하는 데는 한계가 있다. 국내에서는 Er:YAG 레이저에 대해 이<sup>30)</sup>의 연구가 있으나 우식 상아질과 건전상아질에 대한 비교 연구는 거의 없으므로 이에 착안하여 현재까지 경조직에서 다양한 목적으로 추천되고있는 Er:YAG 레이저를 이용하여 건전상아질, 우식 상아질을 대상으로 레이저의 치아 삭제 효율과 레이저가 조사된 외동의 형태적 특징과 절제특성을 비교, 분석하여 치아우식증치료에 대한 Er:YAG 레이저의 적절한 조사조건을 설정함으로써 향후 치아우식증을 치료시 이를 활용하기위해 본 연구를 시행하게 되었다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 시편의 제작

발거된 소구치와 대구치중 교합면 혹은 협설면에 치아우식증이 있는 치아 절편 110개를 대상으로 하였다. 치아는 4% formalin 에 밤새 고정하고 치아를 협설 방향으로 경조직 절단기 (Isomet™ low speed saw, Buhler Co., U.S.A.)를 사용하여 1mm 두께로 절단하였다. 절단면에 존재하는 도말층을 제거하기 위해 치아 절편을 10분간 초음파 세척하고 건조기에서 건조시켰다. 레이저 조사 후에는 광학 현미경 관찰을 위해 15μm 두께로 치아를 연마하였다.

### 2. 레이저 조사

본 연구에 사용한 레이저는 근적외선 파장을 갖는 2.94μm의 pulsed Er:YAG 레이저(SDL-300EN, 삼성전자, 한국)(Fig. 1)로 조사조건을 다음과 같이 하였다. 레이저 조사는 핸드피스 를 이용한 비접촉식 방법으로 하였으며 치아를 30분간 물에 담근 후 핸드피스와 조사 될 치아부위사이의 거리를 8mm가 되게 고정하고 한 점에 조사되게 하였으며 이 때 조사 beam의 직경

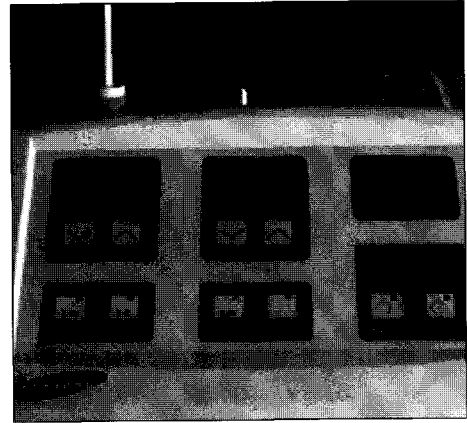


Fig. 1. Er:YAG laser(SDL-300EN, Samsung Electronics, Korea) used in this study.

은 650μm 였다. 조사세기는 pulse당 150mJ, pulse repetition rate는 10Hz로 하고, 물의 분사량은 5ml/min로 설정하였다. 우식상아질 부위에 30초, 1분, 2분씩 조사시간을 달리 하였고, 건전 상아질의 질량손실을 평가하기 위해 1분 동안 레이저를 조사하였다.

### 3. 물 함량에 따른 질량손실 조사

제작된 시편은 건조, 10분, 30분, 1시간 및 24시간 균으로 구분하고 조사세기는 150mJ, 10Hz로, 조사시간은 1분으로 고정하여 물에 담근 시간에 따른 질량손실을 평가했으며 상아질의 밀도인 1.9g/cm<sup>3</sup>를 고려하고 부피=질량/밀도를 이용하여 삭제 부피를 산출하였다.

### 4. 광학현미경 관찰 및 Image Analysis

광학현미경을 사용하여 레이저 조사면의 조직학적 소견을 관찰하고, 삭제량 혹은 삭제 부피를 Image Analyzer(KSlite2.0 CARL ZEISSVISON Co. LTD)를 이용하여 산출하였다. 150mJ 10Hz로 30초간 레이저를 조사한 후 우식 상아질과 건전 상아질의 삭제량을 비교 하였고, 우식 상아질부위에서는 30초, 1분, 2분씩 조사시간을 달리하면서 삭제량과 조직학적 소견을 관찰하였다.

### 5. 통계분석

치아를 물에 담근 시간에 따라 구분해서 레이저 삭제량을 비교 평가하기 위해서는 원래 반복측정분산분석을 해야하지만 동일 치아를 대상으로 측정하지 않았기 때문에 SAS를 사용하여 일원 배치 분산분석으로 유의성을 검증하였고 사후검정으로 Duncan을 시행하였다.

Ⅲ. 실험성적

1. 물에 담군 시간에 따른 질량손실과 부피

조사세기는 150mJ, 10Hz로, 조사시간은 1분으로 하여 건전 상아질을 물에 담군 시간에 따라 질량 손실율을 비교한 결과 물에 담군 시간이 증가할수록 질량 손실율과 삭제부피가 커졌다(Fig. 2)(Table 1, 2).

24시간 군(group)과 건조군은 다른 모든 군과 유의한 차이가 있었으며, 1시간 군은 10분 및 건조군과, 30분 군은 건조군과, 10분 군은 1시간 및 건조군과 유의한 차이를 보였다.

2. 우식 상아질과 건전 상아질의 삭제량과 와동 형태

조사조건을 pulse당 150mJ, pulse repetition rate는 10Hz로 설정하고 30초간 레이저 조사시 우식 상아질에 형성된 와동에서는 상아세관의 margin이 다소 smooth 하였다. 또한

삭제된 인접 상아질과의 margin이 완만하였다(Fig. 3, 3-1). 건전 상아질인 경우 상아세관 주행방향과 직각으로 crack이 관

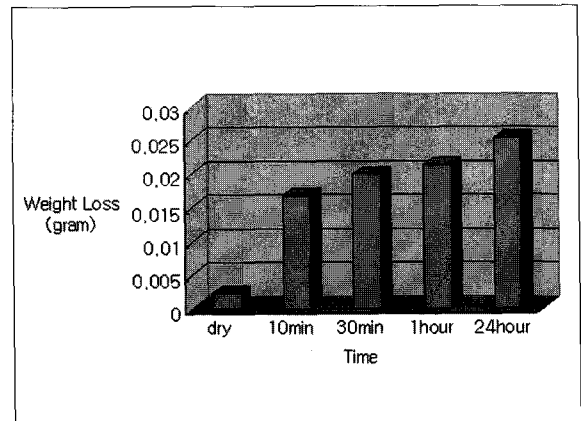


Fig. 2. Mean weight loss of sound dentin according to time in water.

Table 1. Weight loss (gram) of sound dentin according to time immersed in water

sample	time	dry	10 min	30 min	1 hr	24 hr
1		$0.24 \times 10^{-3}$	$2.06 \times 10^{-2}$	$2.02 \times 10^{-2}$	$2.79 \times 10^{-2}$	$2.78 \times 10^{-2}$
2		$0.12 \times 10^{-3}$	$1.35 \times 10^{-2}$	$2.42 \times 10^{-2}$	$1.88 \times 10^{-2}$	$2.02 \times 10^{-2}$
3		$0.57 \times 10^{-3}$	$2.00 \times 10^{-2}$	$1.58 \times 10^{-2}$	$2.06 \times 10^{-2}$	$2.80 \times 10^{-2}$
4		$0.65 \times 10^{-3}$	$2.55 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-2}$	$1.64 \times 10^{-2}$	$2.40 \times 10^{-2}$
5		$0.41 \times 10^{-3}$	$0.88 \times 10^{-2}$	$2.23 \times 10^{-2}$	$2.02 \times 10^{-2}$	$2.86 \times 10^{-2}$
6		$0.15 \times 10^{-3}$	$1.96 \times 10^{-2}$	$1.86 \times 10^{-2}$	$2.00 \times 10^{-2}$	$2.26 \times 10^{-2}$
7		$0.25 \times 10^{-3}$	$1.99 \times 10^{-2}$	$2.16 \times 10^{-2}$	$1.74 \times 10^{-2}$	$2.69 \times 10^{-2}$
8		$0.20 \times 10^{-3}$	$1.87 \times 10^{-2}$	$1.91 \times 10^{-2}$	$2.30 \times 10^{-2}$	$2.64 \times 10^{-2}$
9		$0.98 \times 10^{-3}$	$1.29 \times 10^{-2}$	$1.69 \times 10^{-2}$	$2.75 \times 10^{-2}$	$2.24 \times 10^{-2}$
10		$0.19 \times 10^{-3}$	$0.79 \times 10^{-2}$	$1.92 \times 10^{-2}$	$2.21 \times 10^{-2}$	$2.61 \times 10^{-2}$
Mean		$0.24 \times 10^{-3}$	$1.67 \times 10^{-2}$	$2.00 \times 10^{-2}$	$2.14 \times 10^{-2}$	$2.53 \times 10^{-2}$
SD		$0.28 \times 10^{-3}$	$0.57 \times 10^{-2}$	$0.26 \times 10^{-2}$	$0.39 \times 10^{-2}$	$0.28 \times 10^{-2}$

p value : 0.0001, F value : 55.27

Table 2. Ablation volume(mm<sup>3</sup>) of sound dentin according to time immersed in water

volume sample	dry	10 min	30 min	1 hr	24 hr
1	$1.26 \times 10^{-4}$	$1.08 \times 10^{-2}$	$1.06 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-2}$	$1.46 \times 10^{-2}$
2	$0.63 \times 10^{-4}$	$7.12 \times 10^{-3}$	$1.27 \times 10^{-2}$	$9.88 \times 10^{-3}$	$1.06 \times 10^{-2}$
3	$0.30 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$8.31 \times 10^{-3}$	$1.09 \times 10^{-2}$	$1.47 \times 10^{-2}$
4	$3.42 \times 10^{-4}$	$1.34 \times 10^{-2}$	$1.17 \times 10^{-2}$	$8.64 \times 10^{-3}$	$1.26 \times 10^{-2}$
5	$2.18 \times 10^{-3}$	$4.63 \times 10^{-3}$	$1.17 \times 10^{-2}$	$1.07 \times 10^{-2}$	$1.51 \times 10^{-2}$
6	$7.95 \times 10^{-4}$	$1.03 \times 10^{-2}$	$9.79 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$1.19 \times 10^{-2}$
7	$1.34 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$1.14 \times 10^{-2}$	$9.13 \times 10^{-3}$	$1.41 \times 10^{-2}$
8	$1.07 \times 10^{-3}$	$9.85 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-2}$	$1.21 \times 10^{-2}$	$1.40 \times 10^{-2}$
9	$5.17 \times 10^{-3}$	$6.78 \times 10^{-3}$	$8.92 \times 10^{-3}$	$1.45 \times 10^{-2}$	$1.18 \times 10^{-2}$
10	$1.02 \times 10^{-3}$	$4.14 \times 10^{-3}$	$1.01 \times 10^{-2}$	$1.16 \times 10^{-2}$	$1.37 \times 10^{-2}$
Mean	$1.24 \times 10^{-3}$	$8.80 \times 10^{-3}$	$1.05 \times 10^{-2}$	$1.13 \times 10^{-2}$	$1.33 \times 10^{-2}$
S.D	$1.53 \times 10^{-3}$	$2.99 \times 10^{-3}$	$1.37 \times 10^{-3}$	$2.04 \times 10^{-3}$	$1.50 \times 10^{-3}$

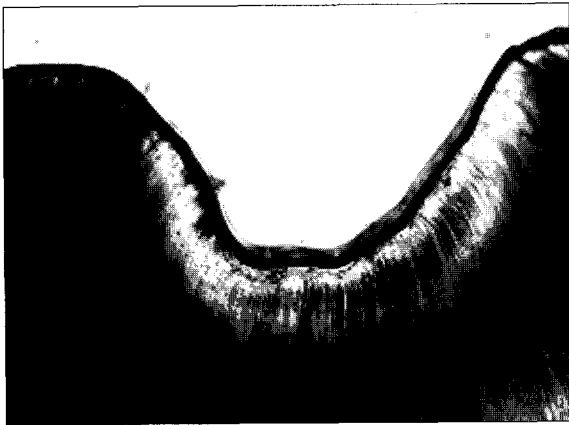
찰되었고, 우식 상아질에 비해 삭제 부위가 더 적고, 인접상아질과의 margin이 더 sharp했다(Fig. 4, 4-1). Image analyzer를 이용한 삭제 면적은 우식 와동은 11,083.9 $\mu\text{m}^2$ , 건전 와동은 9151.45 $\mu\text{m}^2$ 였다(Table 3).

**Table 3.** Mean and S.D. of ablation rate in carious and sound dentin

	Carious dentin group	Sound dentin group
cavity width	11,083.9 $\mu\text{m}^2$ ( $\pm 5,381\mu\text{m}^2$ )	9151.45 $\mu\text{m}^2$ ( $\pm 4,834\mu\text{m}^2$ )

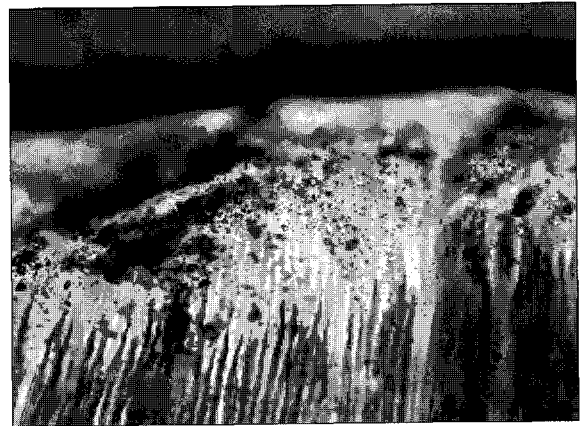
3. 우식상아질의 조사시간에 따른 삭제량과 와동 형태

우식상아질을 대상으로 조사조건을 pulse당 150mJ, pulse repetition rate는 10Hz로 고정하고 조사시간을 30초, 1분, 2분으로 달리 했을 때의 삭제량을 비교해 보았다. Image analyzer를 이용한 삭제면적은 30초에서 11,083.9 $\mu\text{m}^2$ , 1분에서 17,327.07 $\mu\text{m}^2$ , 2분에서 24,515 $\mu\text{m}^2$ 였다(Table 4). 와동형태를 살펴보면 30초로 조사한 경우에는 dark zone이 와동에 국한되어 나타났으며, 작은 flecks들이 관찰되었다(Fig. 5, 5-1)(Table 5). 1분간 조사한 경우에는 30초의 경우보다도 와



**Fig. 3.(left) & 3-1.(right).** Caries dentin, 150mJ, 10Hz, 30sec

**Fig. 3.** revealed that cavitation was formed by Er:YAG in carious dentin group. Dentinal tubules were more or less intact and the margin with adjacent normal sound dentin was smooth( original magnification  $\times 40$  ).

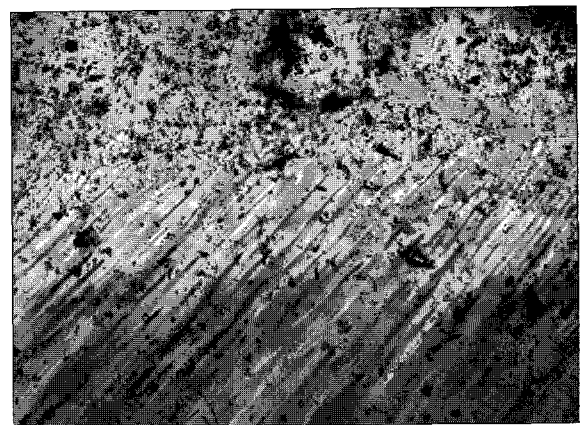


**Fig. 3-1.** revealed higher magnification of Fig. 3( original magnification  $\times 100$  ).



**Fig. 4.(left) & Fig. 4-1.(right).** Sound dentin, 150mJ, 10Hz, 30sec.

**Fig. 4.** revealed that cavitation was formed by Er:YAG in sound dentin group. Ash of flecks were noted in cavitation. Vertical cracks were also noted in dentin. Dentinal tubules were destroyed to ash of flecks. Comparing with Figure 3, involved area by Er:Yag was swallower and slender. Margin with adjacent dentin was sharper(original magnification  $\times 40$ ).



**Fig. 4-1.** revealed that higher magnification of Figure 4( original magnification  $\times 100$  ). Dentinal tubules were destroyed and their flecks were scattered.

동이 더 넓었으며, Crack이 상아세관의 주행방향에 수직으로 형성된 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 6, 6-1). 2분간 조사한 경우는 와동이 가장 넓었으며 crack이 더 많이 형성된 것을 볼 수 있었고 고배율 관찰시 수많은 작은 flecks들이 상아세관 입구에서 관찰 되었다(Fig. 7, 7-1).

**Table 4.** Mean and S.D. of ablation rate in cavities formed in carious dentin

	30 sec group	1 min group	2 min group
cavity width	11,083.9 $\mu\text{m}^2$ ( $\pm 5,381\mu\text{m}^2$ )	17,327.07 $\mu\text{m}^2$ ( $\pm 4,725\mu\text{m}^2$ )	24,515 $\mu\text{m}^2$ ( $\pm 6,627\mu\text{m}^2$ )

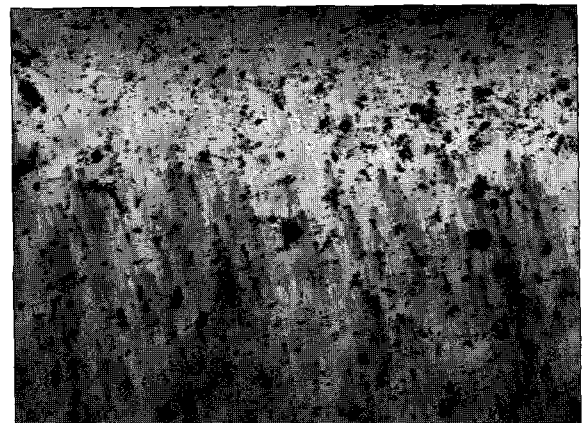
**Table 5.** Surface characteristics according to time irradiated in carious dentin

	30 sec group	1 min group	2 min group
surface irregularity	rough	a little rough	more or less smooth
surface consistence	irregular	a little consistence	more consistence
involved area	limited area	a little increase	more increase
ash flecks	many	a few	few
cavity base form	slender, pointed	moderate, around right angle	wide, obtuse angle



**Fig. 5.(left) & Fig. 5-1.(right).** Carious dentin 150mJ, 10Hz, 30sec.

**Fig. 5.** revealed that cavitation was formed by Er:YAG( 30sec, 150mJ ) in caries dentin group. Dark zone was limited to the cavity.



**Fig. 5-1.** revealed higher magnification of Figure 5. Small flecks were observed in the area of involved area.



**Fig. 6(left) & Fig. 6-1(right).** Carious dentin 150mJ, 10Hz, 1min.

**Fig. 6.** revealed that cavitation was formed by Er:YAG( 1min, 150mJ ) in carious dentin group. Cavitation was wider than figure 5. Crack perpendicular to running dentinal tubules were observed( original magnification  $\times 40$ ).



**Fig. 6-1.** revealed higher magnification of Fig. 6( original magnification  $\times 100$ ).

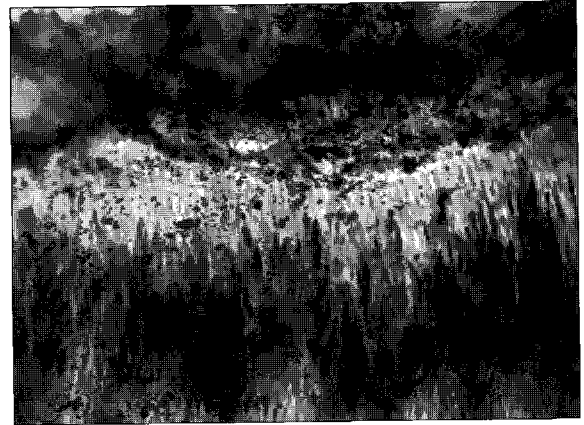
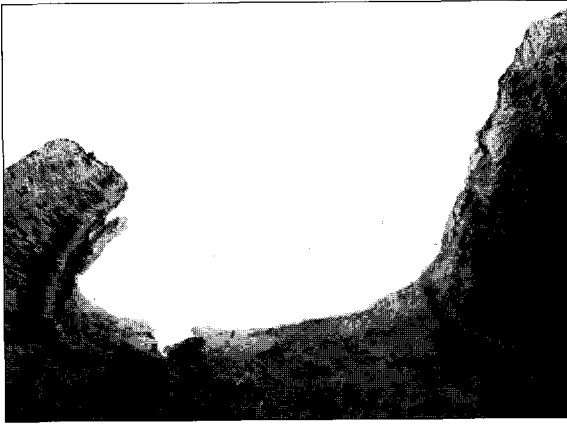


Fig. 7.(left) & Fig. 7-1(right). Carious dentin 150mJ, 10Hz, 2min.

Fig. 7. revealed that cavitation was formed by Er:YAG( 2, 150mJ ) in carious dentin group. Cavitation was the widest in all experimental groups. More cracks were observed. And the involved area by Er:YAG was the widest in all groups( original magnification × 40).

Fig. 7-1. revealed higher magnification of Fig. 7( original magnification × 100). A number of small flecks were found at the end of dentinal tubules.

#### IV. 총괄 및 고찰

Stern과 Sognaes<sup>31)</sup>, Goldman 등<sup>5)</sup>이 1960년대에 레이저를 이용해 치아의 삭제를 시도함으로써 치과용 드릴로서의 사용 가능성을 최초로 보고한 이래, 1970년대에는 Nd와 CO<sub>2</sub> 레이저를 경조직에 이용했을 때의 효과에 대한 연구들이 뒤따랐다. Vahl<sup>32)</sup>은 ruby 레이저를 이용했을 때 우식부위가 광범위하게 삭제되지만 crater가 형성되고 상아질의 melting이 나타난다고 보고하였으며, Kantola<sup>33)</sup>는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용했을 때 법랑소주의 cracking과 disruption, 상아세관 유기물의 소각(incineration), 치질상실이 일어나며 유기물이 제거됨으로써 광화(mineralization)가 증가되면서 carbonization과 fissuring이 발생한다고 하였고, Wigdor 등<sup>9)</sup>은 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하면 odontoblastic cellular layer가 상실된다고 보고했다. 그리고 Lenz 등<sup>34)</sup>은 Nd:YAG 레이저를 이용한 실험에서 치면이 봉쇄되고 우식 초기부위(incipient caries-like lesion)가 억제되지만, 치수내 온도가 상승하여 이를 적절히 조절하지 않으면 치수손상을 일으킨다는 사실을 밝혀냈다. 또한 이 레이저는 pigmented tissue와 친화력(affinity)이 있어서 건전 상아질을 삭제하려면 topical pigmented initiator가 필요하다고 했다. 또한 Wigdor 등<sup>9)</sup>은 intertubular dentin이 녹으면서 조상아세포층(odontoblastic cell layer)이 주로 파괴되고 염증세포침윤(inflammatory cell infiltration)도 발생한다고 하였다.

한편 고출력의 레이저를 사용하는 것이 경조직 삭제에 이상적인 것은 아닌데 그 이유는 치아구조를 파괴하고 바람직하지 못한 병적 상황을 만들기 때문이다. 1974년 Stern<sup>3)</sup>은 상아질에 대해 열과 관련된 구조변화와 손상을 줄일 수 없다면 레이저가 기존의 고속 핸드피스를 대체할 수 없다고 결론을 내렸으며 그때까지 여러 학자들이 레이저를 이용하여 치아의 삭제를 시

도한 결과 법랑질 표면의 crack과 탄화를 유발할 뿐만 아니라 열 발생에 따른 치수손상을 초래하였다고 보고함으로써 레이저를 이용해 치아를 삭제하려는 시도는 학자들의 더 이상의 관심을 끌지 못하였다.

그러나 1988년에 Paghdiwala<sup>35)</sup>가 미국에서 Er:YAG 레이저로 치아경조직을 삭제하는 실험을 최초로 시도하여 낮은 에너지로도 법랑질과 상아질에 구멍을 뚫는데 성공하였으며 이때 와동형성시 물분사를 하지 않았으나 와동은 crack이 없고 탄화가 거의 없었으며 치수강내의 평균 상승온도는 4.3℃ 정도였다. 또한 Hibst 등<sup>36)</sup>과 Keller 등<sup>37)</sup>이 Er:YAG 레이저가 인접 경조직과 연조직에 손상 없이 치아우식 부위를 제거할 수 있다고 하였으며, Keller 등<sup>38)</sup>은 와동 형성시, 삭제 시간이 핸드피스를 사용했을 때보다 약 2배정도 소요되지만 냉각(cooling)을 위해 적절한 물분사와 함께 사용된다면 비교적 통증도 거의 느껴지지 않고 치수에도 해가 없으므로 기존의 기계적 삭제방법을 대체할 수 있다고 보고 하였다. Er:YAG 레이저는 그 파장 때문에 얇은 구멍을 만들면서 건전 법랑질과 상아질, 우식 법랑질과 상아질을 정확히 제거가 가능한데, 2.79μm의 파장을 가지고 있는 erbium, chromium(Er,Cr):Yttrium-scandium-gallium-garnet(YSGG)레이저도 이와 동일한 성질을 가지고 있으며, 치수온도가 비가역적인 치수염이 일어날 수 있는 한계 이상으로는 다이상 증가하지 않고 탄화도 나타나지 않는다. 이러한 장점 때문에 1997년 5월 Er:YAG laser가 미국 FDA로부터 판매 승인을 받게 되었다. 본 연구는 건전 상아질과 우식 상아질에 Er:YAG laser를 조사했을 때 치아를 증류수에 담근 시간에 따른 삭제량, 레이저 조사시간에 따른 삭제부피와 삭제된 면의 조직학적인 소견을 광학현미경으로 관찰하기 위하여 시행되었다.

Er:YAG 레이저를 이용해 법랑질과 상아질의 삭제효과에 대

해 현재까지 많은 연구 보고가 이루어 졌는데 주로 Er:YAG 레이저의 치질 삭제 능력과 이때의 온도변화, 즉 치수에 미치는 영향에 대한 것이 주된 관심사였다. 치질삭제는 주로 레이저의 열작용에 의한 조직의 증발에 의해 이루어 지는데 이와 같이 조직이 증발되기 위해서는 레이저 파장이 조직에 효과적으로 흡수되어야 한다. 따라서 치질의 삭제 효과는 레이저의 파장 즉, 레이저의 기종에 따라 다르다고 할 수 있는데, 현재 사용되고 있는 적외선파장(infrared spectral range)를 가진 레이저들 중 Er:YAG 레이저는 파장이 2.94 $\mu\text{m}$ 로서 물 흡수대와 일치하기 때문에 물에 대한 흡수력이 가장 높으며, 대략 CO<sub>2</sub> 레이저 보다는 10배, Nd:YAG 레이저 보다는 20,000배 정도 흡수력이 더 높다<sup>31)</sup>. 또한 Er:YAG 레이저는 하이드록시아파타이트에서 비교적 높은 흡수율을 보이므로<sup>39)</sup>, 열에 의해 경조직을 삭제하는 다른 레이저들 보다, 물분사를 동반하여 사용된다면 경조직 제거에 더 높은 효율을 나타내며 레이저로 제거된 치질 주위에 crack이나 탄 흔적도 남지 않는 깨끗한 와동을 형성한다고 하였다.

한편 Nd:YAG, Ho:YAG, Er:YAG 레이저의 절제역치를 비교한 이상호의 연구<sup>30,40)</sup>와 CO<sub>2</sub> 레이저의 치질삭제효과 등에 관한 연구<sup>4,34)</sup>, Nd:YAG나 Ho:YAG 레이저의 삭제능력을 평가한 여러 연구들을 근거해 볼 때 Er:YAG 레이저는 기존의 다른 레이저보다 치질 삭제능력이 높고 형성된 와동의 변연이 명확하므로 임상활용의 가능성이 높다고 평가된다. 이와 같이 삭제 능력이 높고 명확한 와동 경계부를 보이는 이유는 Er:YAG 레이저의 파장이 물의 주흡수 정점과 일치하는 2.94 $\mu\text{m}$ 의 방출파장을 가지기 때문에, 법랑질과 상아질을 포함하는 치질내 수분에 흡수되어 증기를 발생시킴으로써 미세 폭발(microexplosion)에 의해 치질이 제거되기 때문이라고 알려지고 있다. 한편 Burkes<sup>24)</sup> 등은 Er:YAG 레이저의 삭제효과는 물을 분사할 때 더 커지며 그 이유로 수분이 레이저 파장의 흡수를 촉진시켜 미세폭발을 도와주기 때문이라고 하였으며 또한 물을 분사할 경우 물의 분사압력 때문에 미세폭발에 의해 각여진 치질이 와동 상부로 이동하기가 용이하기 때문이라고 하였다. Hossain 등<sup>41)</sup> (1999)은 물분사를 한 경우와 하지 않은 경우에 Er:YAG 레이저를 인간의 법랑질과 상아질에 조사한 후 삭제 깊이와 형태 변화를 연구했는데, cooling을 위해 사용되는 물분사와 삭제부위에 있는 tooth debris를 제거한다고 해서 삭제율이 크게 감소되는 것은 아니며 주변 치아경조직에 어떤 탄화(carbonization)나 용해(melting)도 일으키지 않았다고 하였다. 본 연구에서도 건전 상아질에 대한 조사 결과 물에 담근 시간이 증가할수록 삭제율이 증가 하였다. 이는 Er:YAG 레이저가 물의 함량이 많을수록 잘 삭제 된다는 것을 증명하는 것이라 사료된다.

보통 연화된 우식 상아질은 탈회(demineralization)로 인해 수분 함량이 많기 때문에 삭제가 더 잘 되지만, 건전 상아질을 완전히 삭제 하기에는 아직도 부족한 점이 있으며 Er:YAG 레이저를 치아우식 치료에 사용할 때 이 레이저가 상아질을 무분별하게 제거하기 때문에 부주의한 레이저 기술을 하게되면 우

식 상아질이 불충분하게 삭제되고 건전 상아질은 과도하게 삭제될 수 있는 문제점이 발생할 수 있다. Hibst 와 Keller<sup>20)</sup>는 Er:YAG 레이저(10Hz, 50J/cm<sup>2</sup>)의 법랑질 절제속도가 0.33mm<sup>2</sup>/sec 이며, 우식병소가 건전치질에 비해 훨씬 빠르게 제거되는데 그것은 우식 부위의 인장강도가 건전 치질에 비해 매우 약하므로 보다 낮은 온도와 압력에 쉽게 제거될 수 있기 때문이라고 하였으며 본 연구에서도 레이저를 조사시 우식 상아질이 건전 상아질보다 더 잘 삭제되었다. 또한 Er:YAG 레이저의 건전한 경조직 제거율은 펄스당 30 $\mu\text{m}$ 이상이라는 것이 밝혀졌고, 치아 우식증에 대해서는 구멍 깊이가 다소 컸는데 이것은 ArF-excimer 레이저보다 약 2배정도 강도가 높은 수치이며, TEA CO<sub>2</sub> 레이저는 펄스당 9.6 $\mu\text{m}$ 였다<sup>21,35,36)</sup>. 각 300mJ의 펄스에서 질량손실은 법랑질에서 40 $\mu\text{m}$ 이었으며 상아질에선 그것의 2배였다. 각 조직의 밀도인 2.9g/cm<sup>3</sup>, 1.9g/cm<sup>3</sup>를 고려해볼 때 각 300mJ의 73pulse가 법랑질 1mm<sup>2</sup>을 절제하는데 필요하며, 25 pulse가 상아질 1mm<sup>2</sup>을 절제하는데 필요한 것으로 계산되고 4Hz의 반복율로는 20초미만이 필요하다고 하였다<sup>42)</sup>. Aoki 등<sup>43)</sup>은 치근우식치료에 있어서 Er:YAG 레이저의 효과에 대해 연구하였는데 전통적인 핸드피스 방법보다 더 낮은 온도 상승을 나타내면서 치아에 어떤 열손상도 발생시키지 않고 우식 상아질을 효과적으로 제거할 수 있다고 보고하였다.

본 연구에서 30초간 레이저를 조사했을 때 우식 와동은 11,083.9 $\mu\text{m}^2$ , 건전 와동은 9151.45 $\mu\text{m}^2$ 로 우식와동이 삭제가 더 잘된다는 보고들과 일치했다. 또한 우식 상아질에 있어서 삭제면적은 30초에서 11,083.9 $\mu\text{m}^2$ , 1분에서 17,327.07 $\mu\text{m}^2$ , 2분에서 24,515 $\mu\text{m}^2$ 로 조사시간에 비례하여 증가하였다.

레이저가 경조직 제거에 이용될 때 열에 의한 부작용이 문제인데, 레이저 조사는 치아에 탄화(carbonization), 용해(melting), crack을, 치수에는 염증과 괴사를 초래한다<sup>44)</sup>. 따라서 레이저를 치아 경조직에 적용하는데 있어 가장 중요하게 고려해야 할 사항은 레이저 조사에 따른 치질의 온도상승 여부라 할 수 있다. 일반적으로 치수조직의 가역적 반응을 유발하는 온도상승 범위는 5 $^{\circ}\text{C}$ 이며, 5 $^{\circ}\text{C}$  이상의 온도상승이 1분 이상 지속되면 치수는 비가역적인 변화를 겪는다고 알려져 있다<sup>45)</sup>. Hoke 등<sup>46)</sup>은 Er:YAG 레이저를 치면에 조사할 때 동시에 물을 분사시켜줄 경우 약 2.2 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도상승이 유발된다고 하였으며 이를 근거로 할 때 건조상태로 조사할 경우는 이보다 훨씬 더 높은 온도상승이 초래될 것으로 추정하였고, 여러 연구에서 Er:YAG 레이저로 치질을 삭제할 때 치질의 온도상승은 야기되나 다른 레이저에 비해 괄목할만하게 적게 상승한다고 하며 물을 분사해 줄 경우 치수손상을 초래할 수 있는 온도까지 상승하지 않는다고 알려져 있다<sup>18,24,34)</sup>.

Tokonabe 등<sup>47)</sup>은 Er:YAG 레이저로 인한 치아의 형태변화 연구에서 인접조직에는 열손상을 최소화시키면서 법랑질과 상아질삭제가 가능하며 표면cracking 또는 탄화(carbonization)와 같은 바람직하지 않은 열부작용이 관찰되지 않았다고 하였다. 그리고 레이저 조사된 상아질의 superficial basophilic

layer를 hematoxylin 혹은 fuchsin으로 염색했을 때 Er:YAG 레이저조사로 인해 약간 denatured된 것을 관찰할 수 있다고 하였다. 또한 이전의 연구자들은 Er:YAG로 bone을 삭제했을 때 열손상대가 인접조직 5~15 $\mu$ m라고 했고<sup>23)</sup>, 상아질에서도 같은 정도의 열 손상대가 관찰되었으며<sup>43)</sup>, 이 부위는 obliquely cross-sectioned specimen에서 조사되었다. 최근에는 Er:YAG를 주수하에서 사용하므로 치아의 열손상은 거의 나타나지 않으나, 조직학적 소견에서는 레이저가 조사된 와동바닥의 상층부(superficial layer)에 최소한의 손상은 나타난다. cross-sectional SEM소견에서 레이저 조사된 상아질의 표층부에 가끔 thin dark zone이 발견되는데 Er:YAG 레이저의 열기계 효과 뿐만 아니라 조직학적소견에서 관찰되는 깊게 염색된 층을 고려할 때, dark zone은 레이저가 조사된 상아질의 온도와 미세구조의 변성에 기인한 것으로 사료되며 본 연구에서도 약간의 dark zone이 관찰되었다.

레이저가 조사된 와동의 micromorphological change에 대해서는 과거에는 레이저 조사된 상아질구조의 전형적인 특징을 scaly 혹은 flasky<sup>21)</sup>, 또는 불규칙한 serrated surface<sup>23)</sup>라고 했다. cross-sectional로 관찰하면 때때로 microfissure와 더불어 superficial micro-fragmentation이 관찰되는데, 이러한 micro-fragmentation은 Er:YAG 레이저의 경조직 삭제 기전으로 알려진 미세폭발(micro-explosion) 효과와 관련이 있는 것으로 생각된다<sup>18,20,48)</sup>. 즉 Er:YAG 레이저는 처음에 물과 조직 속에 있는 수분과 다른 hydrous organic contents의 기화를 일으키고, 기화 이후에는 조직내의 내부압력이 생겨 용융점에 도달하기 전에 무기물의 폭발에 의한 파괴가 일어나게 된다. 이러한 폭발에 의한 제거과정은 열기계 효과(thermo-mechanical effect), photo-acoustic effect, 혹은 cavitation effect로도 알려졌다<sup>49)</sup>. 따라서 상아질 표층부에 microfissure가 퍼져있는 것은 내부압력의 증가로 인해 상아질이 microfragment 형태로 방출되었음을 나타낸다. 그러므로 CO<sub>2</sub> 레이저 조사부위에서 관찰되는 melting drops 와 spheres와는 대조적으로, 상아질과 법랑질에 Er:YAG 레이저 조사시 crystalline microparticle들이 방출된다고 보고 되었다<sup>50)</sup>. 본 연구에서도 이러한 microparticle들이 관찰 되었으며, 건전 상아질과 우식 상아질에 150mJ, 10Hz의 조건으로, 30초간 레이저를 조사했을 때, 우식상아질에 비해 건전 상아질에서 surface irregularity가 증가하고 상아세관이 열리는 경향이 있었으며 crack이 관찰되었다. 또한 우식 상아질에 비해 많은 ash flecks 및 crack이 관찰되었고 상아세관의 inconsistency도 나타났다. 이는 건전 상아질에 비해 우식 상아질이 다소 많은 수분을 함유하고 있어, 건전 상아질에서 관찰되는 ash fleck 및 crack이 관찰되지 않은 것 같다. 우식 상아질에 시간을 달리하여 레이저를 조사하였을 때 30초로 조사한 경우에는 dark zone이 와동에 국한되어 나타났으며, 작은 flecks들이 관찰되었고, 1분간 조사한 경우에는 30초의 경우보다도 와동이 더 넓었고, crack이 상아세관에 수직방향으로 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 2분간 조사한 경우

는 와동이 가장 넓었고 crack이 더 많이 형성된 것을 볼 수 있었으며 고배를 관찰시 수많은 작은 flecks들이 상아세관 말단부에서 관찰 되었다. 한편 본 연구에서 crack이 거의 생기지 않는다는 지금까지의 보고<sup>35,39,51)</sup>와는 상이한 결과를 보인 것은 실험 방법의 차이 때문이라 사료되며 앞으로 좀더 많은 치아를 대상으로한 연구가 필요하리라 사료된다.

최근 Er:YAG 레이저는 기존의 구강내로의 에너지 전달 시스템인 articulated arm 으로부터 광섬유화 되어 구강내 조작이 다소 편해지기는 하였지만 silica 광섬유를 이용하는 아르곤 레이저, Nd:YAG, Ho:YAG에 비해 zirconium fluoride나 사파이어를 광섬유로 이용하고 있어 깨지기 쉽고 수명이 짧은 것이 문제점으로 지적되고 있다. 향후 Er:YAG 레이저가 치과임상 분야에서 보다 적극적으로 사용되기 위해서는 이와 같은 문제점들이 계속적으로 개선되어야 하며, 법랑질과 상아질 삭제에 대한 더욱 더 많은 연구와 개발이 이루어진다면 Er:YAG 레이저의 국산화가 조기에 이루어질 수 있으리라 사료된다.

### V. 결 론

Er:YAG 레이저의 상아질 삭제효과를 평가하고자 발거된 소구치와 대구치를 대상으로 상 아질 시편을 제작하고 2.94 $\mu$ m의 pulsed Er:YAG 레이저(SDL-300EN, 삼성전자, 한국)를 handpiece형의 전달계를 이용한 비접촉식 방법으로 물에 담겨진 시간에 따른 건전 상아질의 삭제량, 조사시간에 따른 우식 상아질의 삭제량과 형태를 조사, 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 물에 담겨진 시간에 따른 건전상아질의 삭제량은 물에 담군 시간이 증가할수록 삭제율이 증가 하였다
2. 우식 상아질에서 30초로 조사한 경우에는 dark zone이 와동에 국한되어 나타났으며, 작은 flecks들이 관찰 되었고, 1분간 조사한 경우에는 30초의 경우보다도 와동이 더 넓었으며, crack이 상아세관에 수직방향으로 형성된 것을 관찰할 수 있었다. 2분간 조사한 경우는 와동이 가장 넓었으며 crack이 더 많이 형성된 것을 볼 수 있었다.
3. 건전 상아질과 우식 상아질에 150mJ, 10 Hz의 조건으로, 30초간 레이저를 조사했을 때, 우식상아질에 비해 건전 상아질에서 surface irregularity가 증가하고 상아세관이 열리는 경향이 있었으며 crack이 관찰되었다. 또한 우식 상아질에 비해 많은 ash flecks와 crack이 관찰되었고 상아세관의 inconsistency도 나타났다.

### 참고문헌

1. Goldman L, Hornby P, Meyer R, et al. : Impact of the laser on dental caries. Nature 203:417, 1964.
2. Kinsersly T, jarabak JP, Phatak NM, et al. : Laser



- effects on tissue and materials related to dentistry. *J Am Dent Assoc* 70:593-600, 1965.
3. Stern RH, Vahl J, Sorganaes RF : Lased enamel: ultrastructural observations of pulsed carbon dioxide laser effects. *J Dent Res* 51:455-460, 1972.
  4. Melcer J, Chaumette MT, Melcer F, et al. : Treatment of dental decay by CO<sub>2</sub> laser beam: Preliminary results. *Lasers Surg Med* 4:311-321, 1984.
  5. Goldman L, Gray JA, Goldman J, et al. : Effects of laser beam impact on teeth. *J Am Dent Assoc* 70:601-606, 1965.
  6. Lobene RR, Bhussry BR, Fine S : Interaction of carbon dioxide laser radiation with enamel and dentin. *J Dent Res* 47:311-317, 1968.
  7. Scheinin A, Kantola S : Laser-induced effects on tooth structure. II. Microradiography and polarized light microscopy of dental enamel and dentin. *Acta Odontol Scand* 27:181-192, 1969.
  8. Frentzen M, Koort HJ : Lasers in dentistry : New possibilities with advancing laser technology ? *Int Dent J* 40:323-332, 1990.
  9. Wigdor HA, Abt E, Ashrafi S, et al. : The effect of lasers on dental hard tissues. *J Am Dent Assoc* 124(Jul):45-51, 1993.
  10. Yamamoto H, Sato K : Prevention of dental caries by Nd:YAG laser irradiation. *J Dent Res* 59:2171-2177, 1980.
  11. Fox JL, Yu D, Otsuka M, et al. : Initial dissolution rate studies on dental enamel after CO<sub>2</sub> laser irradiation. *J Dent Res* 71:1389-1398, 1992.
  12. White JM, Goodies HE, Setcos JC, et al. : Effects of pulsed Nd:YAG laser energy on human teeth: a three-year follow-up study. *J Am Dent Assoc* 124:45-51, 1993.
  13. Bassi G, Chawla S, Patel M : The Nd:YAG laser in caries removal. *Br Dent J* 177:248-250, 1994.
  14. Powell GL, Kelsey WP, Blankenau RJ, et al. : The use of an argon laser for polymerization of composite resin. *J Esthet Dent* 1:34-37, 1989.
  15. Jennett E, Motamedi M, Rastegar S, et al. : Dye-enhanced ablation of enamel by pulsed lasers. *J Dent Res* 73:1841-1847, 1994.
  16. Frentzen M, Koort HJ, Thiensiri I : Excimer lasers in dentistry: Future possibilities with advanced technology. *Quintessence Int* 23:117-133, 1992.
  17. Niems MH : Cavity preparation with the Nd:YLF picosecond laser. *J Dent Res* 74:1194-1199, 1995.
  18. Paghdiwala AF : Er:YAG laser hard tissue effects. In: *Lasers in dentistry*. Westford Massachusetts:Penn Well Publishing Co., pp 63-75, 1991.
  19. Wigdor HA, Walsh JT Jr, Featherstone JD, et al. : Lasers in Dentistry. *Lasers Surg Med* 16:103-133, 1995.
  20. Hibst R, Keller U : Experimental studies of application of the Er:YAG laser on dental hard substances: I. Measurement of the ablation rate. *Lasers Surg Med* 9:338-344, 1989.
  21. Keller U, Hibst R : Experimental studies of application of the Er:YAG laser on dental hard substances: II. Light microscopic and SEM investigations. *Lasers Surg Med* 9:345-351, 1989.
  22. Kayano T, Ochiai S, Kiyono K, et al. : Effect of Er:YAG laser irradiation on human extracted teeth. *J Clin Laser Med Surg* 9:147-150, 1991.
  23. Li ZZ, Code JE, Van de Merwe WP : Er:YAG laser ablation of enamel and dentin of human teeth: Determination of ablation rates at various fluences and pulse repetition rates. *Lasers Surg Med* 12:625-630, 1992.
  24. Burkes EJ, Hoke J, Gomes E, Wolbarsht M : Wet versus dry enamel ablation by Er:YAG laser. *J Prosthet Dent*, 67:847-857, 1992.
  25. Aoki A, Ando Y, Watanabe H, et al. : In vitro studies on laser scaling of subgingival calculus with an erbium:YAG laser. *J Periodontol* 65:1097-1106, 1994.
  26. Watanabe H, Ishikawa I, Suzuki M, et al. : Clinical assessments of the erbium:YAG laser for soft tissue surgery and scaling. *J Clin Laser Med Surg* 14:67-75, 1996.
  27. Keller U, Hibst R : Effects of Er:YAG laser on enamel bonding of composite materials. *Proc SPIE* 1880:163-168, 1993.
  28. Kumazaki M : Removal of hard dental tissue(cavity preparation)with the Er:YAG laser. In: 4th International Congress on Lasers in Dentistry. p151-157, 1995.
  29. Matsumoto K, Nakamura Y, Mazeki K, et al. : Clinical dental application of Er:YAG laser for class V cavity preparation. *J Clin Laser Med Surg* 14:123-127, 1996.
  30. 이상호 : Nd:YAG, Ho:YAG, Er:YAG 레이저 조사에 의

- 한 상아질의 물리적 변형 및 절제역치에 관한 연구. 대한소아치과학회지. 23:964-967, 1996.
31. Stern RH, Sognnaes RF : Laser beam on dental hard tissues. J Dent Res 43:873, 1964.
  32. Vahl J : Der laser und seine bisherige Anwendung in der Zahnmedizin. Hippokrates 42:488-506, 1971.
  33. Kantola S : Laser-induced effects on tooth structure: V. Electron probe microanalysis and polarized light microscopy of dental enamel. Acta Odontol Scand 30:475-484, 1972.
  34. Lenz P, Gilde H, Walz R : Untersuchungen zur Schmelz-versiegelung mit dem CO<sub>2</sub> laser. Dtsch Zahnarzt Z 37:469-478, 1982.
  35. Paghdwala A : Application of the erbium:YAG laser on hard dental tissue: Measurements of the temperature changes and depths of cut. Laser Res Med Surg Dent ICALEO 64:192-201, 1988.
  36. Hibst R, Heller V, Steiner R : The effect of pulsed Er:YAG laser irradiation on dental tissue. Laser Med Surg 4:163-165, 1988.
  37. Keller U, Hibst R, Geurtsen W, et al. : Erbium:YAG laser application in caries therapy: Evaluation of patient perception and acceptance. J Dent 26:649-656, 1998.
  38. Keller U, Hibst R, Steiner R : Experimental studies on the application of the Er:YAG laser on dental hard substances. Laser Med Surg 8:145, 1988.
  39. Frentzen M, Koort HJ : Histologic investigation of mid-infrared laser ablation of dental hard tissues. Presented at Third International Congress on Lasers in Dentistry, Salt Lake City, UT, 1992.
  40. 임광호, 이창섭, 이상호: Er:YAG 레이저의 상아질 삭제효과 및 이에 따른 온도변화. 대한소아치과학회지. 28:32-44, 2001.
  41. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, et al. : Ablation depths and morphological changes in human enamel and dentin after Er:YAG laser irradiation with or without water mist. Lasers Surg Med 17:105-109, 1999.
  42. Franetzki M : Laser in der Zahnmedizin. Magazin fr ZMK3:9-14, 1991.
  43. Aoki A, Ishikawa I, Yamada T, et al. : Comparison between Er:YAG laser and conventional technique for root caries treatment in vitro. J Dent Res 77:1404-1414 June, 1998.
  44. Adrian JC, Bernier JL, Sprague WG : Laser and dental pulp. J Am Dent Assoc 83(Jul):113-117, 1971. 31. Robertson CW, Williams D : Lambert absorption coefficients of water in the infrared. Opt Soc Am 61:1316-1320, 1971.
  45. Selzer S, Bender I : The dental pulp : Biologic considerations in dental procedures. Lippincott Co., Philadelphia, p200-201, 1990
  46. Hoke JA, Burkes EJ, Comes ED : Er:YAG(2.94 $\mu$ m) laser effects on dental tissues. J Laser Appl 2:61-65, 1990.
  47. Tokonabe H, Kouji R, Watanabe H, et al. : Morphological changes of human teeth with Er:YAG irradiation. Lasers Surg Med 17:7-12, 1999.
  48. Nelson JS, Orenstein A, Law LH, et al. : Midinfrared erbium:YAG laser ablation of bone: The effect of laser osteotomy on bone healing. Lasers Surg Med 9:362-374, 1989.
  49. Gimbel CB : Hard tissue laser procedures. Dent Clin North Am 44:931-948 October, 2000.
  50. Keller U, Hibst R : Tooth pulp reaction following Er:YAG laser application. Lasers in orthopedic, dental, and veterinary medicine. Proc SPIE, 1424:127-133, 1991.
  51. Palghdiwa la AF : Evaluation of Er:YAG laser radiation on hard dental tissue: Analysis of temperature changes, depth of cuts and structural effects, Scanning Microscopy, 7:989-997, 1993.

Abstract

EFFECTS OF ER:YAG LASER ABLATION ON THE DENTIN

Nam-Ki Choi, Kyu-Ho Yang, Sang-Won Park\*, Ok-Joon Kim\*\*

*Department of Pediatric Dentistry, Department of Prothodontic Dentistry\*,  
Department of Oral Pathology\*\*, Dental Science Research Institute,  
College of Dentistry, Chonnam National University*

The purpose of this study was to evaluate the effects of Er:YAG laser on cutting efficacy and its histologic findings. Dentin specimens of human premolars and molars were used and irradiated by Er:YAG laser with non-contact handpiece type delivery system under different treatment condition of irradiation time. Cavity pattern and volume were evaluated to determine the cutting efficacy and following results were obtained.

1. Cutting volume of sound dentin was getting larger with time immersed in water increase
2. With the condition of irradiation (150mJ, 10Hz, 30sec), surface irregularity was more increased in sound dentin comparing to carious dentin. For the light microscopic examination, dentinal tubules were opened and ash flecks and cracks were noted with inconsistency of dentinal tubules.
3. In case of 30 sec. irradiation in carious dentin, dark zone was limited to small focus whereas 1 min. irradiation, more wider, and cracks were noted in the perpendicular to direction of dentinal tubules. For the 2 min. irradiation, cavity was the widest and more cracks were found.

**Key words** : Laser, Er:YAG, Dentin, Cutting volume, Histologic finding