

투고일 : 2011. 10. 25

심사일 : 2011. 10. 26

게재확정일 : 2011. 11. 11

Current concepts of Laser dentistry

로덴예인치과원장
은 희 종

ABSTRACT

Current concepts of Laser dentistry

Roden-yein dental clinic
Hee-jong Eun, DDS, Ph.D

Various sorts of dental devices for the dental treatment have been introduced and adopted during past several years. Dental Laser, among all devices, seems to be possible for applying to over the whole treatments and widely employed. Furthermore, this article is to introduce that Dental Laser is intended to care patients secured with the effectual treatment against Conventional procedures based upon its studies. The advantages of Dental Laser treatment-along with LLLT (Low Level Laser Therapy) effect, biostimulation effect, and minimal invasive technique - make the patients reduce their fear of the operation, lighten the inconvenience of post operation, and shorten the treatment period. In particular, it is worth considering that the use of laser-assisted therapies is associated with a marked reduction in the use of analgesics and anti-inflammatory medications compared with conventional procedures. This article is to state advantages and differences of Dental Laser treatment compared with Conventional procedures, and to emphasize to become well-acquainted with the precautions for safety and effective Dental Laser treatment. In case of operating Dental Laser with lack of the instructions, it will cause the unpredicted fatal results; therefore this treatment requires special care in its operation. Henceforward, it is anticipated that infinite treatment protocols will be introduced by applying Dental Laser, and this is to address the utilization of Dental Laser.

Key words : LLLT, Biostimulation effect, minimal invasive technique, conventional procedure

I. 서론

1990년대 들어서 Er:YAG 레이저의 등장으로 치과용 레이저의 활발한 임상적용과 함께 일반 환자에게 안과, 피부과에서만 레이저치료를 받는 것이 아니라 치과에서도 충치치료와 함께 다양한 레이저치료가 가능하다는 것을 더 많이 알리게 되는 계기가 되었다.

또한 차별화된 레이저치료 기법과 함께 치과치료 시

에 통증을 감소시키면서 치과치료에 대한 공포를 줄인다는 측면에서도 상당한 효과와 함께 치과전체의 Hot Issue가 되기도 하였다. 그러나, 몇몇 치과의사들에 의해 과도하게 마케팅에 이용되어 버린 치과레이저 시장은 최근 들어 침체된 경제적인 상황과 맞물려 조금은 위축되어 버린 실정이다. 오히려 진정한 레이저치료의 가치에 대한 평가도 제대로 받지 못한 채 이제는 레이저치료에 대한 관심조차도 시들해져 버린듯한 느

낌이다. 이런 현실에서 레이저치료에 대한 정확한 이해와 임상활용에 대하여 보다 적극적이고 활발한 연구가 필요하다고 생각한다.

UCLA 치과대학의 Stern과 Sognaes에 의해 시작된 치과영역의 초창기 레이저 연구는 치아 경조직(법랑질과 상아질) 및 수복재에 대하여 루비 레이저의 열 효과에 집중적으로 관심을 가졌다. 루비 레이저를 치아에 적용한 대부분의 실험들은 결과가 좋지 못하였으며 따라서 0.694 μ m 파장이 치아 경조직에는 파괴적인 작용을 한 탓이라고 주장하였다. 또한 레이저광의 산란 때문에 인접조직과 치아에 손상을 초래하여 치과의 도구로서는 바람직스럽지 못하다는 결론에 도달하였으며 1960년대 말까지는 대부분의 치과임상연구자들은 루비 레이저로 치아 경조직을 제거하는 데에는 많은 양의 에너지가 필요하므로 구강조직에 심한 열손상을 야기한다고 보고하였다. 1960년대에 Goldman과 Stern이 레이저가 치아에 미치는 영향을 규명하기 위한 기초적인 연구가 시행되었으며 1970년대에는 Nd:YAG 레이저와 CO₂ 레이저를 이용한 연구가 실시된 결과, 치수의 손상, 상아질의 탄

화, 법랑질의 균열 등과 같은 당시로서는 피할 수 없는 문제점들이 발견되었으며 따라서 레이저가 와동 형성에 사용되지 않았다. 1974년 Stern은 레이저의 열에 의한 구조적 변화와 치아주위조직에 대한 손상을 개선할 수 있는 새로운 레이저가 개발되지 않는 한 전통적 치아 삭제방법을 레이저가 대신할 수 없다고 결론지었다. 그 이후 치 의학 분야의 레이저 기술의 지속적인 발전이 이루어져 왔으며 오늘날에 이르러서는 10종 이상의 레이저가 치의학 연구에 응용되고 있다.

치과영역에서 레이저 적용 시 가장 대두되는 문제는 연조직과 경조직 특히, 치아와 함께 치조골에 얼마나 효율적으로 레이저를 적용할 수 있는냐가 관건이다, 이를 해결하기 위해 수많은 레이저기기들이 동원되었고 적지 않은 시행착오를 거듭하였다. 이러한 과정에서 레이저기기들의 특성과 차이점을 정확히 이해하지 않으면, 오히려 예상치 못한 치료 결과와 함께 치명적인 손상을 시술자와 환자 모두에게 줄 수 있기에 레이저치료에 앞서 충분한 교육과 숙련이 매우 중요하다고 강조하고 싶다. 레이저 사용은 무엇보다도 안전성이 확보된 상태에서 시행되어야 한다. 그러기 위해선 시

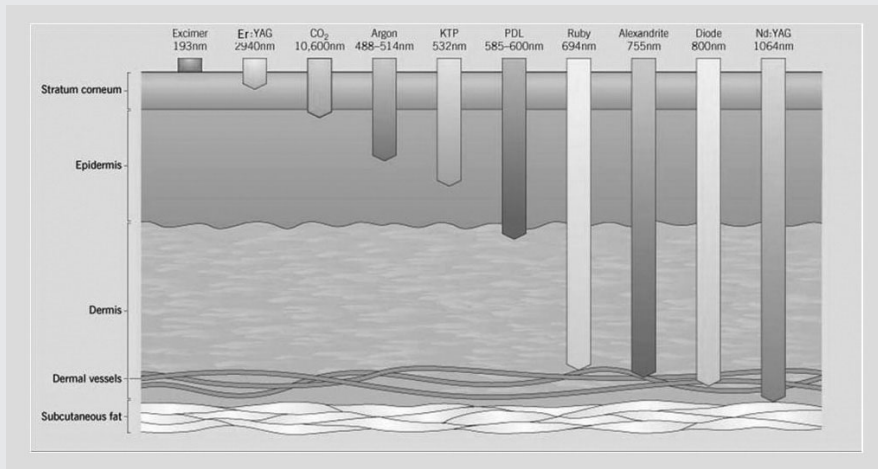


표1. Depth of Penetration by Various Lasers

술에 앞서 레이저에 대한 적절한 안전 교육과 함께 충분한 레이저 지식을 습득하여야 한다고 생각한다. 특히, 레이저기기들마다 서로 각기 다른 파장과 조직에 침투되는 고유한 penetration depth가 존재하는 데도 불구하고 이러한 간단하고 기본적인 지식조차도 제대로 이해하지 않고 임상에 임하는 것은 위험한 발상이라 생각된다. 레이저들마다 각각 penetration depth가 다르기 때문에 조직에 대한 반응과 함께 레이저가 조직에서 반사되어 나오는 반사광에 대한 적절한 대비도 필요하다. 그러므로 반드시 환자와 시술자 모두 보안경을 착용할 것을 권장하며, 시술 시 주변에 불필요한 물건이나 관계자 이외 접근을 통제하는 것도 중요하다. 특히, Diode 레이저나 Nd:YAG 레이저의 경우는 표1.에서 보는 바와 같이 조직에 대한 penetration depth가 다른 레이저와 비교했을 때 몇 배 이상 되기 때문에 반사광 또한 많아질 수 밖에 없다. 그러므로 이런 레이저를 사용시에는 반드시 시술자와 환자 모두 보안경 착용 등의 각별한 주의와 함께 적절한 안전조치가 필요하다. 다양한 레이저들의 고유한 파장과 함께 조직에 대한 penetration depth를 정확히 숙지하여 임상에 활용하는 것을 다시 한번 강조하고 싶다.

II. 본론

레이저로 치아의 법랑질과 상아질을 제거 후 조직학적으로 치수를 관찰할 때 조상아 세포핵의 존재는 매우 중요하다. 손상을 초래하는 에너지 밀도를 넘지 않는다면 레이저 방사 후에도 정상적인 조상아 세포층과 기질, 살아있는 상피근초가 관찰된다고 보고되었다. 만약 치수 내 온도가 5℃ 이상 증가되면 조상아 세포층이 없어지거나 조상아 세포의 배열이 급격히 무너져 수직상이나 층상구조를 보일 수도 있다.

대부분의 연구가 레이저의 열 효과와 특정 파장과 조직간의 상호작용에 집중되어 있으며 치수 내에서 열

의 대류가 중요한 문제점이 되고 있다. 또한 조직의 흡수능력 및 레이저 스펙트럼과 조직의 상호작용이 중요하고 대개 390nm 이상의 파장에서는 고유의 발열특성을 갖고 있으며 특히 CO₂ 레이저는 치수조직을 제거할 때 상당량의 열을 발생시켜 치수조직에 손상효과를 가져온다. 488nm와 514.5nm의 파장인 레이저가 석회화 조직을 침투하면 전상아질, 보상성 상아질, 상아교형성을 유도한다. 세포 내 조직에 열이 장기간 지속된다면 표면 층이나 심층부의 세포간 기질의 밀도는 유지되기 어렵고 따라서 과도한 에너지 밀도의 레이저를 방사하는 것은 치수조직, 특히 조상아 세포에 심각한 손상을 초래한다고 보고 하였다.

Turkmen(2000)¹⁾, Gow(1999)²⁾, Gaspirc(2001)³⁾, Mehl(1997)⁴⁾ 등 많은 연구자들이 잘못 선택되어진 레이저에 의한 열로 인해 발생된 structural damage 등 치아의 손상을 보고하였다.

1990년대 중반 Paghdiwala(1993)⁵⁾, Burkes(1992)⁶⁾, Dostalova(1993)⁷⁾, Hoke(1990)⁸⁾, Li Z(1992)⁹⁾ 등 많은 연구에서 Er:YAG 레이저를 이용하여 열손상없이 안전하게 hard tissue에서 ablation 효과를 보고하였다.

그 이후 개발된 Er,Cr:YSGG 레이저를 이용하여 bone과 치아 경조직에서 보다 더 안전하고 효율적인 사용을 Rizoiu(1994)¹⁰⁾, Kimmel(1996)¹¹⁾, Eversole(1995)¹²⁾, Rizoiu(1996)¹³⁾ 등이 보고하였다.

이러한 연구들을 바탕으로 1997년 FDA에서 Er:YAG 레이저를 유일하게 Dental hard tissue 영역에서 승인하게 되고, Hibst(2002)¹⁴⁾는 Er:YAG를 이용하여 caries removal, cavity preparation, conditioning of the tooth을 보고하였다.

치과 영역에서의 레이저활용은 환자들이 치료를 받을 때 통증을 감소시켜주고 또한 치유를 빠르게 해준다는 점에서 장점을 찾을 수 있다.

치주치료에 있어서 레이저를 활용한 다양한 치료들은 환자들에게 직접적인 반응과 함께 유용한 결과를

경험하게 해준다. 치주수술에서 흔히 시술하는 치은 박리술처럼 외과적인 처치가 이뤄지는 경우 무엇보다도 레이저를 이용한 시술은 출혈을 획기적으로 줄일 수 있다는 것이 큰 장점이다. 이는 시술 시에 시야확보에도 도움을 주고 시술시간을 단축할 수 있고 술후 부종이나 불편감을 줄여주는 효과가 있다, 또한 국소마취의 사용을 상당량 줄일 수 있고 술후 2차 감염 등 기타 술후 부작용의 기회를 감소시키는 장점이 있다.

이는 바로 레이저치료의 장점인 bactericidal effect와 minimal invasive technique에 의한 인접조직의 최소한의 손상과 무관하지 않음을 다시 한번 강조하고 싶다. 가장 큰 변화는 환자가 느끼는 치유기간의 단축과 함께 통증의 감소 또한 무시할 수 없는 차이로 하겠다.

Hakki(2010)¹⁵⁾ 등은 root planing시에 hand instrument와 Er,Cr:YSGG laser와의 SEM 비교를 통해서 Er,Cr: YSGG Laser를 이용한 치료에서는 Thermal changes, melting, carbonization 등이 관찰되지 않았으며, root 표면의 mineral content도 Laser 치료시 hand instrument를 이용한 치료보다 더 유사한 것으로 관찰되었다. Noori(2007)¹⁶⁾ 등은 scaling시에 ultrasound instrument(DENSPLY CAVITRON)와 Er,Cr:YSGG laser를 사용하였을 때 치근면의 변화를 광학현미경을 통해 비교한 결과 레이저를 사용하였을 때보다 ultrasound instrument를 이용하여 scaling 치료 시에 치근면의 crack 등이 더 많이 관찰되는 것을 보고하였다.

또한 Nd:YAG, CO₂레이저를 치근면에 조사하였을 경우 Burning, melting, carbonization과 같은 손상을 초래할 수 있음을 지적하였다.

최근에는 교정 치료 시 레이저의 이러한 장점을 이용하여 치료에 응용하는 증례를 볼 수 있는데, 이는 바로 LLLT(Low level laser therapy) 효과를 응용한 것이다.

과거 단순한 연조직 절개나 외과적인 시술에서 보조적인 역할에서 벗어나 치료 술식의 다양화와 차별화된

치료방법으로 레이저 치료는 진화하고 있다.

교정 치료 시 발치CASE의 경우 레이저를 이용하여 치아를 발거할 경우 빠른 지혈효과와 치유과정을 경험하게 되는데, 이는 시술자와 환자 모두에게 만족할만한 결과로써 기존의 치료방식과 비교하여 차별화된 치료를 가능하게 한다.

또한 레이저를 교정치료에 적절하게 사용하게 될 경우 환자의 불편감 감소와 치료 기간단축에도 영향을 줄 수 있다.

이것은 LLLT(Low level laser therapy) 효과를 통해 미토콘드리아의 oxidative phosphorylation을 자극하여 염증반응을 조절하고, 동통감소 및 wound healing 촉진 등이 일어나기 때문이다.

Kim(2009)¹⁷⁾ 등은 LLLT(Low level laser therapy)를 이용하여 Corticision 후 Tooth movement와 Paradental Remodeling을 비교하였다.

Seifi(2007)¹⁸⁾, Youssef(2008)¹⁹⁾ 등도 교정치료 시 LLLT 효과에 대해 보고하였다.

Nuket(2008)²⁰⁾ 등은 bonding of molar tubes 에서 conventional acid etching과 laser etching을 비교하여 레이저를 이용하였을 때의 장점을 제시하였다.

Vissuri(1996)²¹⁾ 등은 enamel surface에 laser etching이 보다 더 caries에 유용하다는 것을 보고하였다.

N.Hamamci(2009)²²⁾ 등은 brackets bonding시 두 가지 etching 방법을 비교하여 각각의 microleakage를 관찰하여 laser etching시 장점을 보고 하였다.

또한, 교정치료 시 통증완화에도 레이저치료가 효과적이라고 Koji(2008)²³⁾ 등은 임상실험을 통해 보고하였다.

Lin(1999)²⁴⁾ 등, Hossain(2001)²⁵⁾ 등, Uşümez(2001)²⁶⁾ 등을 비롯한 많은 연구가들이 Er계 레이저를 치아에 조사한 후 도말층이 남지 않음을 보고하였

고, 최근 Esteves-Oliveirae(2007)²⁷⁾ 등은 범랑질과 상아질에 bur, Er:YAG와 Er,Cr:YSGG로 표면처리 후 수종의 접착시스템과의 tensile bond strength를 측정된 결과 bur로 prep한 경우 도말층이 존재하나, Er:YAG와 Er,Cr:YSGG로 처리한 경우 도말층은 남지 않는다는 것을 보고하였다.

이러한 결과들을 종합해볼 때 치과치료 시 레이저를 이용한 치료방법이 환자와 시술을 하는 치과의사 모두에게 보다 더 효율적이면서도 많은 장점을 가져다 준다는 것을 가능하게 해준다고 사료된다.

Implant 치료 시에도 레이저의 활용은 적잖은 도움이 된다. 특히 peri-implant disease 치료 시 기존의 술식을 대체할 만한 좋은 치료 결과들이 보고되고 있으며, 더 나아가 implant 표면에 레이저를 조사하여 골 형성에 도움이 되는가 여부도 흥미로운 주제이다.

Kreisler(2002)²⁸⁾ 등은 Er:YAG 레이저가 implant surface에서도 항균작용이 있음을 보고하였고, Schwarz(2006)²⁹⁾ 등은 plaque biofilm 제거에 Er,Cr:YSGG 레이저가 효과가 있음을 보고하였다. Romanos(2006)³⁰⁾ 등은 titanium disk에 osteoblast attachment와 골 형성에 레이저가 도움이 됨을 보고하였다.

Takasaki(2007)³¹⁾ 등은 Er:YAG laser를 이용하여 peri-implant disease를 치료시 기존의 치료 방법보다 효율적이고, 조직학적으로도 new bone

formation에 유리하다고 보고하였다.

필자의 경험으로 peri-implant disease 치료 시 무엇보다도 Implant 표면에 직접 레이저를 조사하였을 때 Implant 표면의 온도변화가 중요하다고 생각한다. 그러므로 레이저를 Implant 표면에 조사시 열에 의한 조직손상과 골세포에 미치는 영향을 고려하여 충분한 Cooling effect를 가진 환경에서 시술하는 것이 무엇보다 중요하다고 하겠다. Gómez-Santos(2010)³²⁾ 등은 CO₂ laser와 ErCr:YSGG laser를 사용하여 Implant 표면에 조사할 때 물 분사를 이용하여 Cooling 효과를 달리 했을 때의 표면의 온도변화를 조사하여 조직에 손상을 주지 않으면서 적절하게 사용할 수 있는 방법을 보고 하였다.

Ⅲ. 결론 및 고찰

이와 같이 다양하게 레이저치료가 응용되고 있는 현실에서 시술자가 보다 더 정확하고 적절한 치료방법을 시술하기 위해서는 무엇보다도 각 임상 CASE마다 충분한 경험과 임상데이터를 축적하여 진료 staff들도 올바르게 사용하게 하는 것이 중요하다 하겠다

다음으로는 레이저를 이용한 치과 진료 시 안전과 위험성에 대하여 알아 보겠다. 치과 진료 시 나타날 수 있는 위험성은 눈의 손상, 조직손상, 호흡 위해, 화염

표2. 미국국립표준연구소(ANSI)와 미국노동부의 직업건강 및 안전위원회(OSHA) 표준에 따른 레이저 위험성에 대한 분류

분 류	위 험 성
I	눈으로 보아도 안전한 저출력 레이저
IIa	1,000초 이상 직접 보았을 때만 위험한 저출력 가시광 레이저
II	0.25초 이상 보았을 때 위험한 저출력 가시광 레이저
IIIa	확대 렌즈없이 0.25초 이하 보았다면 정상적으로는 해가 없는 중출력 레이저
IIIb	직접 보았을 때 해가 될 수 있는 중출력 레이저(최대 0.5W)
IV	눈, 피부, 화염에 위험성이 있는 고출력 레이저(0.5W 이상)

과 폭발, 전기적 충격 등이 있다. 표2.에 레이저 위험성에 따른 분류를 기술하였다.

미국 FDA의 CDRH(Center for Devices and Radiological Health)와 미국국립표준기구(OSHA)의 분류에 따라 Class IV 레이저는 직접적 또는 광범위한 반사에 의한 생물학적 위험성을 초래할 수 있는 레이저 장비로 분류된다. 일반적으로 지속적인 파장을 가진 0.5W이상의 에너지를 방출할 수 있는 레이저가 이 분류에 해당된다. 치과에서 사용되는 대부분의 수술용 레이저는 연기를 생성하며 유해한 기체와 화학물질을 발생한다. 안과에서 주로 사용되는 엑시머 레이저는 florine이나 염산과 같은 유독기체와 혼합된 아르곤, krypton 또는 크세논을 활성매질로 사용하고 있다. 수술 동안 발생한 레이저 연기는 시술자와 환자에게 해를 줄 수 있다. 이를 Plume이라 하는데, 유해하고 감염성이 있는 분무체와 같은 작은 입자모양의 물질 흡입은 호흡기 계통에 손상을 줄 수 있다. 그림1.과 그림2.에 Plume Components와 위험성에 대해 설명되어 있다. 진료 staff들은 이런 Plume제거를 위해 적절한 suction 등 각별한 주의가 필요하다.

특히, 아말감은 제거 도중에 나오는 연기에 수은이 고농도로 포함되어있어 레이저를 이용하여 제거해서

는 절대로 안 된다.

레이저의 임상적 또는 실험적 적용에 앞서 임상가와 연구가들은 그들의 안전을 책임져줄 수 있는 경험 많은 교육자로부터 포괄적인 레이저 교육을 받아야 한다. 충분한 교육과 주의가 이루어진 후에 레이저는 환자와 치과진료 종사자에게 안전하게 사용될 수 있다. 우리나라에서도 학회차원의 체계적인 안전교육과 관리가 시급하다고 사료된다. 무엇보다도 잘못 선택된 기기로 인해 오히려 치유가 지연되고 원하지 않는 치료결과를 낼 수 있다는 사실을 우리는 명심해야 할 것이다.

아직도 이러한 부족한 레이저의 물리화적인 지식과 생체역학적인 관계를 잘못 이해하고 치료에 임하는 임상가들을 종종 보게 되는데 이는 단순하게 레이저 제조 회사의 추천 protocol이나 부정확한 임상정보만으로 이를 환자에게 적용할 경우 전혀 예상하지 못한 임상결과를 낳게 할 수도 있다. 또한 여러 임상결과에서 보는 바와 같이 특정 레이저기기 하나만으로는 이런 모든 결과를 기대할 수는 없을 것이다. 각각 적절한 상황에 맞춰서 선택된 레이저를 이용해서 보다 더 효율적이면서도 차별화된 치료효과를 기대할 수 있을 것이다. 그러므로 정확하고 확실한 임상데이터와 신뢰할만한 임상결과들을 우리는 참조해야 한다. 그러기

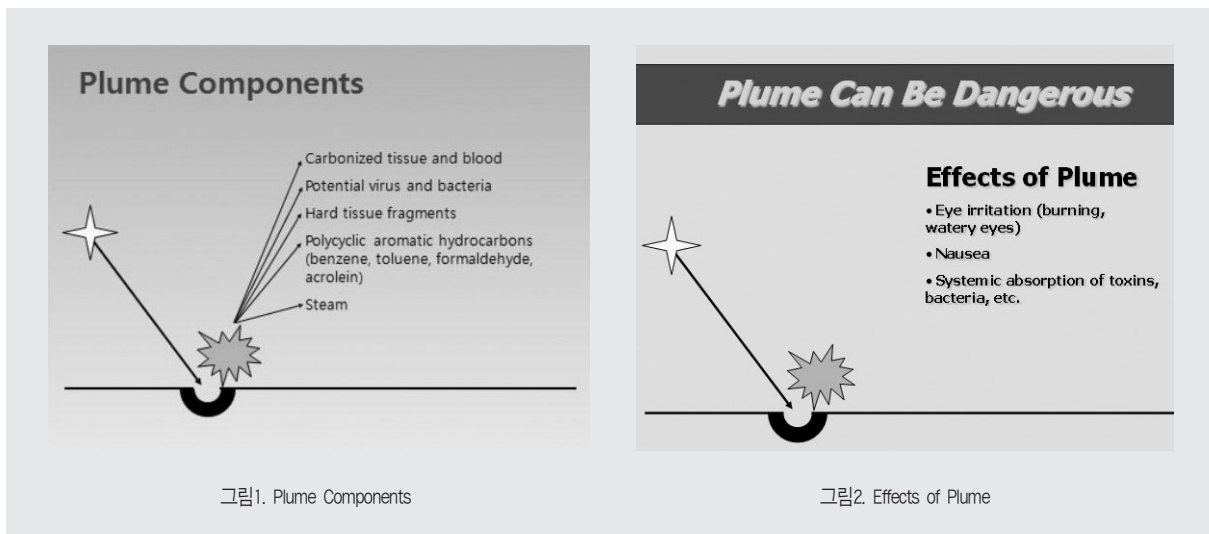


그림1. Plume Components

그림2. Effects of Plume

위해선 충분한 시간투자와 임상경험을 축적할만한 여유가 필요하다고 하겠다. 치과대학에서 우리가 처음 하이스피드 핸드피스를 이용해 치아 삭제를 할 때도 수많은 시간과 노력이 필요했듯이 레이저를 이용해서 임상에 적용하기 위해선 그와 같은 시간과 노력이 필요한 것이다. 이미 피부과, 안과를 비롯한 의과영역에서는 레이저를 제외하고는 치료가 힘들다 할 정도로 레이저에 대한 의존도가 높은 게 현실이다. 그러나, 아직까지 우리 나라 의료현실에서 치의학 분야의 레이저치료가 보편화되기에는 많은 어려움이 있는 것이 사실이다, 그럼에도 불구하고 많은 환자들의 요구와 함께 다양한 치료 방식의 출현은 계속되리라 생각된다. 또한 관련분야의 논문과 축적된 임상데이터들이 뒷받침된다면 향후 레이저 치의학의 발전은 빠른 속도로 진행되리라 생각한다. 향후 치의학 분야에서 가장 발전할 수 있는 부분도 바로 레이저를 활용한 치료방법이 기존의 치료방식에서 한계라고 생각되던 부분을 대

체 할 수 있을 것으로 사료된다.

치과진료 특성상 High technology와 밀접한 연관이 있을 수 밖에 없다고 생각한다. 그러므로 새로운 기자재의 출현은 치의학 발전과 함께 환자들의 욕구충족, 새로운 의료시장의 확대 등 많은 영향을 주는 것이 사실이다. 그런 상황에서 검증되고 안전성이 보장된 치료법은 의사와 환자 모두에게 만족을 줄 수 있고, 이러한 노력들이 결국 우리 모두에게 도움이 된다고 생각한다. 레이저에 대한 잘못된 오해와 관심부족으로 인해 치료에 적극 활용하는데 주저하거나, 부정적인 시각을 가진 분들이 아직도 많다는 사실에 안타까움을 느낀다. 지금부터라도 레이저 시술에 대해 관심을 가지고 레이저를 임상에 적극 활용한다면 아마도 이러한 생각들이 바뀌지 않을까 기대해본다. 레이저 치의학의 발전을 위해서 우리 임상가들이 보다 많은 관심을 가지고 임상에 적용하고 이를 바탕으로 예지성있는 레이저치료가 가능하도록 더 많은 노력과 연구가 필요하

참 고 문 헌

1. Turkmen C, Gunday M, Karacoriou M, Basaran B. Effect of CO₂, Nd:YAG and ArF excimer lasers on dentin morphology and pulp chamber temperature: an in vitro study. *J Endod* 2000;26:644-8.
2. Gow AM, McDonald AV, Pearson GJ, Setchell DJ. An in vitro investigation of the temperature rise produced in dentine by Nd:YAG laser light with and without water cooling. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 1999;7:71-7.
3. Gaspirc B, Skaleric U. Morphology, chemical structure and diffusion processes of root surface after Er:YAG and Nd:YAG laser irradiation. *J Clin Periodontol* 2001;28:508-16.
4. Mehl A, Kremers L, Salzmann K, Hickel R. 3D volume-ablation rate and thermal side effects with the Er:YAG and Nd:YAG laser. *Dent Mater* 1997;13:246-51.
5. Paghdwala AF, Vaidyanathan TK, Paghdwala MF. Evaluation of erbium:YAG radiation of hard dental tissues: analysis of temperature changes, depth of cuts and structural effects. *Scanning Microsc* 1993;7(3):989-97.
6. Burkes EJ, Hoke J, Gomes E, Wolbarsht M. Wet versus dry enamel ablation by Er:YAG laser. *J Prosthet Dent* 1992;67:847-51.
7. Dostalova T, Krejsa O, Jelinkova H, Hamal K. The evaluation of the cavity margins after Er:YAG laser ablation of the enamel and dentin. In: Bown SG, Escourrou J, Frank F, editors. Medical applications of lasers II. *Proc SPIE* 1993;1880:132-9.

• 참 고 문 헌 •

8. Hoke JA, Burkes EJ Jr, Gomes ED, Wolbarsht ML. Erbium:YAG(2.94 μ m) laser effects on dental tissue. *J Laser Appl* 1990;2:61-5.
9. Li Z, Code JE, Van De Merwe WP. Er:YAG laser ablation of enamel and dentin of human teeth :etermination of ablation rates at various fluences and pulse repetition rates. *Laser Surg Med* 1992;12:625-30.
10. Rizioiu IM, DeShazer LG. New laser-matter interaction concept to enhance hard tissue cutting efficiency. *Laser Tissue Interaction V* 1994;2134A:309-17.
11. Rizioiu IM, Kimmel AI, Eversole LR. The effects of an Er, Cr:YSGG laser on canine oral tissues. *Laser applications in medicine and dentistry. Proc SPIE* 1996;2922:74-83.
12. Eversole LR, Rizioiu IM. Preliminary investigations on the utility of an erbium, chromium:YSGG laser. *J Calif Dent Assoc* 1995;23:41-7.
13. Eversole LR, Rizioiu IM, Kimmel A. Osseous repair subsequent to surgery with an erbium hydrokinetic laser system. Presented at the International Laser Congress, International Proceedings Division. Athens, Greece, September 25-28, 1996.
14. Hibst R. Lasers for caries removal and cavity preparation: state of the art and future directions. *J Oral Laser Applic* 2002;2:203-12.
15. Sema S, Hakki, Gizem Berk, Niyazi Dundar ,Mehmet Saglam , Nukhet Berk Effects of root planing procedures with hand instrument or erbium, chromium:yttrium-scandium-gallium-garnetlaser irradiation on the root surfaces: a comparative scanning electron microscopy study *Lasers Med Sci* (2010) 25:345-353
16. Zohre Tabibzadeh Noori ,Fekrazad ,BehnamEslami ,ArdavanEtemadi ,Shabnam Khosravi, Maziar Mir Comparing the effects of root surface scaling with ultrasound instruments and Er,Cr:YSGG laser *Lasers Med Sci* DOI 10.1007/s10103-007-0480-8
17. Kim SJ, Moon SU, Kang SG, Park YG. Effects of Low-Level Laser Therapy After Corticision on Tooth Movement and Paradental Remodeling. *Lasers in Surgery and Medicine* 41:524-533(2009)
18. Seifi M, Shafeei HA, Daneshdoost S, Mir M. Effects of two types of low-level laser wave leghts (850 and 630 nm) on the orthodontic tooth movements in rabbits. *Lasers Med Sci* 2007;22:261-264.
19. Youssef M, Ashkar S, Hamade E, Gutknecht N, Lampert F,Mir M. The effect of low-level laser therapy during orthodontic movement: A preliminary study. *Lasers Med Sci* 2008;23:27-33.
20. Nuket Berk, Guvenc Bas,aran and Torun Ozer Comparison of sandblasting, laser irradiation, and conventional acid etching for orthodontic bonding of molar tubes. *European Journal of Orthodontics* 30 (2008) 183-189
21. Vissuri S R, Gilbert J R, Wright D D, Wigdor H A, Walsh Jr J T Shear strength of composite bonded to Er:YAG laser-prepared dentin. *Journal of Dental Research* 75 : (1996) 599-605
22. Hamamc i N, Akkurt A, Bařaran G. In vitro evaluation of microleakage under orthodontic brackets using two different laser etching, self etching and acid etching methods. *Lasers Med Sci* 12 June 2009
23. Koji Fujiyamaa, Toru Deguchib, Takashi Murakamic ,Akihito Fujiic, Kazuhiko Clinical Effect of CO2 Laser in Reducing Pain in Orthodontics. *Angle Orthodontist*, Vol 78, No 2, 2008
24. Lin S, Caputo AA, Eversole LR, Rizioiu I. Topographical characteristics and shear bond strength of tooth surfaces cut with a laser-powered hydrokinetic system. *J Prosthet Dent.* 1999;82:451-5
25. Hossain M, Nakamura Y, Yamada Y, Suzuki N, Murakami Y, Matsumoto K. Analysis of surface roughness of enamel and dentin after Er,Cr:YSGG laser irradiation. *J Clin Laser Med Surg.* 2001;19:297-303.
26. Uřümez S, Orhan M, Uřümez A. Laser etching of enamel for direct bonding with an Er,Cr:YSGG hydrokinetic laser system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;122:649-56
27. Esteves-Oliveira M, Zezell DM, Apel C, Turbino ML, Aranha AC, Eduardo Cde P, Gutknecht N. Bond Strength of Self-Etching Primer to Bur Cut Er,Cr:YSGG and Er:YAG Lased Dental Surfaces. *Photomed Laser Surg.* 2007;25:373-80
28. Kreisler M, Kohnen W, Marinello C, Götz H, Duschner H, Jansen B, d'Hoedt B. Bactericidal effect of the Er:YAG laser on dental implant surfaces: an in vitro study. *J Periodontol.* 2002;73:1292-8.
29. Schwarz F, Nuesry E, Bieling K, Herten M, Becker

참 고 문 헌

- J. Influence of an erbium, chromium-doped yttrium, scandium, gallium, and garnet (Er,Cr:YSGG) laser on the reestablishment of the biocompatibility of contaminated titanium implant surfaces. *J Periodontol.* 2006;77:1820-7
30. Romanos G, Crespi R, Barone A, Covani U. Osteoblast attachment on titanium disks after laser irradiation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2006;21:232-6
31. Aristeo Atsushi Takasaki & Akira Aoki & Koji Mizutani & Shigenari Kikuchi & Shigeru Oda & Isao Ishikawa Er:YAG laser therapy for peri-implant infection: a histological study. *Lasers Med Sci* (2007) 22:143-157
32. Laila Gómez-Santos, José Arnabat-Domínguez, Alejandro Sierra-Rebolledo, Cosme Gay-Escoda Thermal increment due to ErCr:YSGG and CO2 laser irradiation of different implant surfaces. A pilot study. *Med Oral Patol Oral Cir*, 2010