

안전한 레이저 사용

(Laser Safety)

글/단국대학교 의과대학 이비인후과 두경부외과학,
과학기술부·과학재단 지정 단국대학교 의학레이저연구센터 이정규

의학용 레이저 사용이 현재까지는 효과적이고 안전한 사용의 역사를 남기고 있지만 외과 영역에서의 사용은 환자, 의사, 간호사 등 많은 의료진에게 심각한 피해를 줄 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 레이저의 위험은 상해, 불구, 심지어는 죽음까지도 가져올 수 있다.

레이저 사고는 대부분의 경우 예정하지 않은 방향으로 보낸 레이저광선 때문에 발생한다. (1) 직사 혹은 반사된 광선은 피부, 머리카락, 혹은 각막과 망막에 화상을 주어 영구적인 피해를 줄 수도 있다. (2) 레이저광선은 잘못 사용하면 외과용 drape와 기관내 튜브 또는 환자의 머리에 불을 일으킬 수 있다. (3) 흔히 레이저-조직 상호반응으로 생기는 연기는 자극성 냄새가 있고 미립자 물질들은 눈, 코, 폐를 자극하고 구토를 유발하며, human papiloma virus 또는 세균의 DNA같은 전염성 물질을 전파시키는 것으로 의심되기도 한다.

이와 같이 레이저와 관계되는 위험이 크지만 대부분은 좋은 수련, 알맞은 보호장비 사용과 안전한 작동을 항상 적용함으로써 예방을 할 수 있다. 레이저 사용이 점점 증가하고, 그 사용에 대한 관심이 높기 때문에 레이저를 사용하는 병원을 포함한 모든 기관에서는 레이저의 안전사용을 특히 강조해야 한다.

The American National Standards Institute (ANSI) 는 레이저를 눈에 해를 줄 수

있는 정도에 따라서 class I-IV 까지 4 가지로 분류했다. Class I은 직접적인 광선에 장시간 노출되어도 눈에 대한 해가 없는 레이저이다. Class IV는 출력 0.5W 이상의 레이저로서 순간적으로 노출되어도 눈뿐만 아니라 피부까지도 해를 받을 수 있다. CO₂ laser와 같이 잠재적으로 위험한 laser로서 직접적인 혹은 반사된 광선에 의해 화재, 화상, 안구손상 등과 같은 피해를 줄 수 있다.

레이저 광선의 위험

눈에 대한 위험

눈은 레이저 광선에 대단히 예민하다. CO₂ 레이저와 같은 far-infrared 레이저는 대부분 각막, 수정체, 유리체 (vitreous)에 의해서 흡수되어 망막에는 손상을 주지 않지만, 각막에 손상을 준다. Nd:YAG, argon, KTP/532, krypton 레이저 같은 가시광선 레이저는 각막과 수정체에 의해서 망막에 초점이 맞추어지고 망막에 손상을 주어 시야에 blind spot을 주거나, 망막와 (fovea)에 손상을 주고 시신경에 손상을 주게 되면 훨씬 더 심각한 시력장애를 준다. 손상은 광선조사 즉시 일어날 수도 있고 저 출력의 레이저 광선에 반복되게 노출됨으로 오는 만성 퇴생성 손상으로 올 수도 있다.

안구손상에 대한 보고는 대부분 보호안경을

쓰지 않는 사람들만이 피해 받은 것으로 보고됐다(Winburn 86). 눈의 손상에 대한 위험을 줄이려면 Class 4의 레이저를 사용 할 때마다, 그 레이저에 맞는 보호안경이나 goggle(측방보호막 side shield가 있는)을 사용해야 한다. 이것은 내시경을 사용할 때도 같다. 이 보호안경은 레이저 광선에 장시간 직접 노출되는 것에서 보호해 주지는 못한다. 환자의 눈도 생리적 식염수로 젖은 sponge나 금속 눈 덮개 또는 적절한 보호안경으로 보호해야 한다.

레이저를 현미경이나 내시경에 부착시켜 사용할 시에는 적합한 filter를 사용해야 한다. 그러나 주위에 있는 모든 수술방 인원들은 적절한 보호안경을 사용해야 하고, 의사는 내시경을 쓰지 않는 다른 눈을 보호안경으로 보호해야 한다. 현미경이나 내시경에 부착된 자동 filter가 작동고장을 일으킬 수 있으니, filter shutter를 평소에 자주 점검해 두어야 한다.

ANSI는 의사와 모든 레이저 사용하는 수술실의 인원들의 고용전의 눈 검사와 사고로 눈이 레이저에 노출되었을 때마다 눈 검사를 권장하고 있다. (Apfelberg 87)

레이저 장시간 노출

레이저에 10초 이상 장시간 노출 될 경우에는 가시광선 파장에서 특히 스펙트럼의 푸른 색 영역에서는 고온에 대한 효과보다는 photchemical effect가 더 큰 위험이 되기 시작한다. 그러나 이점은 외과용 레이저 사용 시에는 보호안경을 쓰기 때문에 문제가 될 수 없다.

피부에 대한 효과

피부도 레이저에 노출되면 손상을 받을 수가 있으며 노출된 면적이 넓으므로 눈보다도 더 자주 손상된다. 그러나 손상이 되더라도 통증을 느끼기는 해도 눈보다는 덜 심각한 피해를 받게 된다. 레이저의 파장, 노출시간, 광선의 밀도

(density of the beam)와 피부의 색에 따라 국소적인 발적으로부터 검게 탄소화 하기까지 피해의 변화가 다양하다. 조직손상의 일차적 원인은 고온에 의한 것이다.

고온은 단백질을 변화시키고 조직을 괴사시키며, 세포성분을 끓이고 조직이 증발되며, 건조된 조직이 타게되어 탄소화(char formation) 시킨다. 따라서 수술부위가 아닌 정상 조직들은 물을 축인 drape 이나 스폰지로 항상 덮어 보호해야 한다.

레이저 연기 (Plume)

레이저로 인하여 발생하는 연기는 독한 냄새가 나고 0.1 micrometer 정도까지 작은 입자들로 구성되어 있어 세기관지(bronchioli), 폐포(alveoli)에 까지 이르러 asbestos나 담배로 인한 변화와 비슷한 피해를 입힌다(Goossens 84, Mihashi 81). 연기의 노출은 눈, 코와 목구멍에 자극을 주며, 오심과 만성 기침도 일으킬 수도 있다(Ball 86). Garden이 레이저 연기에서 HPV DNA를 발견한 이래 레이저 사용 부위에서 연기를 철저히 배기시켜야함이 더 중요시되고 있다. 연기흡입기(evacuator)의 적절한 위치에 따라 효과적인 연기배출이 이루어지는데, 가능하면 레이저 수술부위에서 2-5cm 이내에 둠이 좋다.

반사되거나 잘못 방출된 레이저

레이저 광선이 가시 광선이거나 적외선이든, 수술기구에 반사되거나 주위 물질에 반사되는 등, 항상 반사될 수 있는 위험이 있고 또 이와 같은 과오는 일어날 수는 있는 과오이지만, 일어나서는 안 되는 심각한 과오이다. 모든 반사되는 물건들(내시경등)은 찾아서 대치시키거나, 변형시키거나, 또는 검은 색으로 덮어야 한다.

표적한 조직을 관통하거나 또는 옆으로 스쳐 지나치게 쏜 레이저는 표적하지 않은 조직을 파괴하게 된다. 예를 들면 Nd:YAG는 5 - 7 mm를 침투하는데 이를 모르는 사용자가 이보다 얇은

조직을 치료할 때 목표하지 않은 조직을 파괴시킬 수도 있다. Nd:YAG 보다 약한 침투력을 가진 CO₂ 레이저 혹은 holmium 레이저, 또는 Nd:YAG의 접촉방법 (contact mode) 같은 약한 침투력을 가진 레이저를 사용하면 깊은 침투력을 피할 수 있다.

화재와 전기 위험

잘못 쓰여진 레이저로 인한 화재와 고압전기로 인한 감전사고는 레이저 사용에 있어서 예측하지 못한 무서운 사고들이다. 많은 레이저가 고압전기를 필요로 하는데 레이저 기사나 취급자가 레이저의 보호판을 제거한 후 감전될 수 있다.

레이저 기도수술의 마취관리

가장 자주 쓰이는 두 가지 레이저(CO₂, Nd:YAG)의 다른 과장 때문에 사용되는 부위가 다르다. CO₂ 레이저는 fiberoptics에 의하여 흡수되므로 직접 firing하여 사용하거나 혹은 rigid 기관지경을 사용하여 firing 하여 상기도의 수술에 사용된다. YAG나 KTP 레이저는 광선이 효과적으로 fiberoptics에 의하여 전달되므로 flexible 기관 내시경을 통한 말초기도의 수술에 사용된다. (Hermans 83)

상기도 수술

인두와 후두의 병변을 레이저로 절제하는 데에는 여러 가지 수술기법이 있다. 기도삽관이 절대적으로 필요하지 않다면 insufflation technique를 사용할 수도 있다. 그러나 마취의사가 환자의 호흡을 조절할 수 없고 기도가 aspiration의 위험에서 예방될 수 없다는 위험이 있다. 또 수술실도 마취의 gas로 오염되고 마취의 깊이를 조절할 수 없다. 이러한 이유로 이 방법은 자주 쓰이지 않는다. (Norton 76 Talmage 81)

Jet ventilation은 후두경을 통하여 사용할 수

있다. 이때 후두경의 위치가 정확히 잡히지 않으면 산소가 기관지로 들어가지 않고 식도와 위장을 팽배시킬 수 있다. 기흉, 기종격증(pneumomediastinum), 기타 압력상해(barotrauma)가 발생할 수 있으므로 이 방법은 일차적인 마취방법으로는 자주 쓰이지는 않는다. (Norton 76)

기관내삽관 방법이 가장 많이 쓰이는 방법이다. 기관내 튜브는 외과의의 시야를 좁히므로 비교적 작은 기관내 튜브를 통하여 마취의사와 같이 일해야 한다. 보통 내경 5-6mm의 관이면 기도의 조절도 적당히 되고 외과의도 관의 주위로 수술하기에는 적당하다. 기관내 튜브의 사용은 레이저에 의한 기관내 화재의 위험이 증가된다. 이 위험은 metallic 기관내 튜브의 사용으로 감소될 수 있다. 그러나 rigid tube는 기관 점막의 손상, 기관지의 파열 등 기도외상의 위험이 있다 (Hershman 80).

연한 기관내 튜브의 종류로는 red rubber, silicon rubber 와 polyvinyl chloride (PVC)가 있는데 이들은 모두 발화성이 있는 물질들이다. 이들 관의 발화성 비교 연구에 의하면 PVC는 다른 두 물질에 비해 비교적 낮은 온도에서 녹고 발화한다 (Wolf 87).

최근에 Bivona tube, Xomed tube, Xomed tube, Mallinkrodt 튜브들과 같이 상기한 문제들을 보강하는 튜브들이 판매되어 쓰이고 있다. PVC 튜브가 발화 될 때 gas의 압력으로 불꽃이 퍼지게 되는데 metal 튜브는 이 현상을 막아 준다. 레이저가 튜브 벽을 완전히 통과하면 gas가 새어 나오게 되고 발화가 시작될 수 있으며, gas의 압력에 의하여 불꽃 (blowtorch)이 생기게 된다. 그러므로 gas의 산소 배당률이 중요하고 그율이 40% 이하여야 한다. (Spiess 90)

하기도 수술

성대하부의 병소는 기관내 튜브 없이 하는 때가 많다. CO₂ 레이저도 rigid 기관지경을 통하여

사용할 수 있고, 이때 마취 gas는 내시경의 side port를 통하여 주게 된다. 기관내 튜브의 발화는 문제가 안되지만 그래도 산소의 배율은 조직이나 조직 조각의 발화를 예방하기 위하여 가능한 한 낮아야 한다. 기관지경 주위를 젖은 gauze로 씌워서 밀폐된 상태에서 더 효과적인 환기를 할 수 있다. 기관지경을 사용함으로써 더 깊은 말초까지 수술이 가능하다. YAG나 KTP 레이저는 flexilbe 기관지경을 통하여 수술할 수 있으며, 이때 기관내 튜브를 사용하므로 기관지경의 끝은 튜브보다 더 밑에 있으므로 발화의 위험은 더 크다.

병원과 Staff 문제

이 문제는 현재 우리나라의 병원에서는 실시되지 않고 있는 제도이지만 모든 레이저를 사용하는 병원에서는 실행함이 바람직하다.

레이저 committee의 역할

레이저 committee의 레이저 안전에 대한 첫째 목적은 병원의 레이저 사용에 대한 의학적인 기술적인 뒷바침을 해주는 기능이다. 그 committee의 의무는 policy와 prodedure의 채택과 수정, 레이저 안전에 대한 지침과 protocol의 채택, 장비와 인원에 대한 결정, 레이저를 사용할 수 있는 의사의 자격에 대한 심사 등이다. 레이저 사용에 대한 자격심사에는 레이저 교육의 정도와 과거의 경력 및 경험을 심사근거로 할 수 있다. Committee는 또한 정기적으로 레이저 환자진료에 대한 Quality를 심사하고 필요한 교육을 실시할 수도 있다.

레이저 훈련과 요원의 구성

병원은 고용된 의사와 고용원들이 레이저 사용에 대한 충분한 지식을 가졌고 충분한 자격을 갖추었는지에 대하여 책임이 있다. 미수한 의사나 의료요원들에 의하여 레이저 기술이 행해질 경우에 환자에게 심각한 손상을 가져 올 수 있

다. 마취의사와 마취간호사는 레이저의 특수한 면에 대하여 충분한 지식과 경험이 있어야 한다. 한 팀으로 같이 일하는 간호요원도 충분한 경험을 쌓아야 하고 안전교육을 받아야 한다. 병원은 레이저 팀 요원들이 최소한의 레이저 교육과 안전교육을 받아야만 레이저 기술에 참여할 수 있도록 해야 한다. 레이저 기계의 작동과 작동중의 안전에 대한 책임은 특별히 훈련된 요원들에게만 주어져야 한다.

레이저 기자재의 orientation과 시운전

새로운 레이저가 구매되었을 때에는 이 레이저를 사용할 모두 임상사들과 레이저 요원들이 참석할 수 있는 orientation을 시행해야 한다. 이 시술에서 이 장비에 대한 중요한 정보와 모든 문제점을 발견할 수 있고 각종 장비의 배치, 레이저의 실제 사용에 있어서의 기능, 충분한 숫자의 전기 outlet, 충분한 전류량의 존재 등을 찾아 낼 수 있다.

통제구역에서의 사용

레이저는 통제된 구역에서만 사용되어야 한다. 레이저 사용구역 내에는 필수요원만 출입해야 하고 그들도 보호안경을 쓰고 입실해야 한다. 레이저 사용지역에 있는 유리창은 비 반사적이고 과도한 레이저가 레이저실 밖으로 방출되지 않게 적절한 물질로 차단시켜야 한다. 레이저 사용 중에는 각종의 표시와 sign을 사용하여 주위의 모든 사람들에게 주의를 환기시켜야 한다.

검사와 예방 유지

레이저 사용 전 검사가 레이저 안전요원에 의하여 행해져야 한다. 사용전의 검사는 레이저 fiber의 calibration과 fiber, handpiece, waveguide의 결손 여부, aiming beam과 therapeutic beam의 일치 여부, 레이저 조절의 작동여부 등이다.