

연세대 공과대학부설 의료기기 기술연구소, 제1회 의공학기술세미나 개최

— 레이저의 의학적 응용 —

글: 윤길원 박사/삼성의료원 의공학연구소

연세대학교 공과대학 부설 의료기기 기술연구소에서는 지난 5월, 제1회 의공학기술세미나를 개최했다.

이날 오후 세미나에서는 △전자의료기기산업의 육성방안, △국내·외 의공학기술의 현황과 발전방안, △레이저의 의학적 응용, △연세대 의공학기술 연구의 현황 및 발전전망이 발표되었다. 이중 본보에서는 삼성의료원 의공학연구소 윤길원 박사가 발표한 '레이저의 의학적 응용'을 전재하니, 관심있는 독자재현의 많은 참고 바란다.

- 편집자 주 -

널리 쓰이는 Nd:YAG나 CO₂레이저는 물론, 작게는 수백 micron 크기의 반도체 레이저로 부터 크게는 수십미터가 넘는 free electron laser까지 거의 모든 종류의 레이저가 의학용으로 응용되고 있다. 이 발표에서는 편의상 응용분야를 수술용(surgical), 치료용(low-energy therapeutic), 진단용(diagnostic)으로 나누어 소개하고자 한다.

수술용은 레이저 빔의 intensity가 강하여 인체에 열적이나 기타 기계적 손상을 유발시키는 것으로, 그리고 치료용은 레이저 출력이 가시적인 tissue damage를 야기시키지

않는 범위 내에서의 출력을 사용하는 것으로 정의한다. 우선 레이저빔과 생체와의 interaction에 관련된 physics를 언급하고, 세가지 응용분야를 소개하고자 한다. 끝으로 레이저 기술 현황에 대해서 간단히 언급하고자 한다.

1. 레이저빔과 생체와의 interaction

레이저빔이 인체에 조사되었을 표면에서 수 퍼센트의 빛은 직접 반사되고 통과한 빛은 흡수되고 산란되며 투과하거나 뒤로 산란되어 나온다. 산란되거나 흡수되는 정도는 파장과 특정 생체조직에 따라 다른데 일반적으로 파장이 길어질수록

투과깊이는 깊어진다. 파장이 길어 3micrometer 정도를 넘어 가면 물에 대한 흡수가 높기 때문에 인체 투과 깊이는 수백 micrometer보다 작게 된다.

혈액은 파장에 따른 변화가 심하기 때문에 레이저빔의 인체 반응에 중요한 변수가 된다. 즉 빛이 단색광(monochromatic)이기 때문에 생체의 흡수도는 이 파장에 따라 정해진다. 이를 이용하여 특정 부위만을 손상시킬 수 있는 것이(selective thermolysis) 레이저 수술의 장점이다. 예를 들면 35여년 전 레이저가 발명된 후 처음으로 의학용으로 이용되었던 것 중의 하나가 아르곤 레이

저에 의한 retina detachment 수술이다. 이 경우 retina의 일부분이 choroid layer와 유리되는 것인데, 방치하면 실명의 위험이 있다. 눈을 통하여 조사된 아르곤 레이저 빛은 렌즈와 유리체에서는 흡수되지 않고 통과되어 retina detachment 된 부분에 집속되어 thermal coagulation을 일으키게 한다. 이 몇 분밖에 걸리지 않는 레이저 수술이 이용되기 전에는 안구를 꺼내는 큰 수술이 필요하였다. 다른 예로서 얼굴에 붉은 점인 port wine stain은 겉 피부 아래에 있는 모세혈관이 이상 확장되어 나타나는 것으로, 이를 치료하기 위하여 혈액에는 흡수가 높으나 상피와 진피에는 흡수도가 상대적으로 낮은 파장(577nm이나 585nm)의 빛을 조사하여 상처가 남는 것을 최소로 한다. 레이저 빛의 조사 시간이 길어질 경우 열전달에 의한 열적 손상 부위가 주위 조직으로 퍼지기 때문에 레이저 조사 시간을 수백 microsecond보다 작게 하고 있다.

레이저 빛의 평행성(collimation)은 떨어져 있는 부위를 목표로 조사할 수 있으며, 또한 光fiber를 통하여 빔을 전달할 수 있다. 인체의 내부에 있는 도달하기 어려운 부분(폐, 방광, 요도, 혈관등)에 fiber를 이용 접근을 할 수 있는 것도 레이저 수술만이 가지

는 장점이다. 레이저 빛은 모든 파의 위상이 같은(coherence) 점을 이용 계측, 진단에 이용하고 있다. 인체부위의 미세한 변이를 빛의 위상차에서 생기는 간섭 효과를 이용하여 수치나 홀로그램 영상으로 진단하는 것이 예다.

2. 수술응용

많이 쓰이는 CO2 레이저는 투과 깊이가 0.1mm, Argon 레이저는 2~3mm, Nd:YAG 레이저는 4~5mm 정도이다. Er:YAG 레이저의 경우는 CO2 레이저 보다 적어 수십 micrometer, 자외선인 엑시머 레이저의 경우는 micrometer order의 투과 깊이를 가지고 있다. 이 특성에 따라 적용 분야가 달라진다. 레이저 빛은 공통적으로 혈액을 응고나 기화시켜 지혈 효과가 있고 감염 문제가 없는 이점을 가지고 있다.

이와 마찬가지로 중요한 것은 레이저의 power density이다. power density의 강도에 따라 photo-ablative, electro-mechanical interaction 등 다른 작용을 일으킬 수 있다. 현재 레이저 수술은 대부분이 열적 손상에 의한 thermal interaction에 기반을 두고 있다. 조사시간이 길어지면 정상적인 주위 조직이 열전달에 의한 손상을 받기 때문에 짧은 시간만 조사하는 펄스형을 사용

하여 치료효과를 최대로 한다. 일정지역을 조사하는 스캐너나 컴퓨터 조정에 의한 정밀한 수술이 관심이 되고 있다. 수백 mJ 이하의 CO2 펄스를 이용하여 피부의 겉 layer를 태워없애는 'single layer ablation'도 수술이 정밀화 되어 가는 예가 된다.

photo-ablation은 Er:YAG 레이저의 경우 처럼 매우 높은 물에 대한 흡수도 때문에 power density를 높일 경우 주위의 열적 손상을 거의 입히지 않고 깨끗하게 생체 조직을 vaporization을 시키는 경우와, 엑시머 레이저에서 처럼 자외선의 짧은 파장이 갖는 높은 photon-energy가 생체의 molecular structure를 절단시키기 때문에 열적 손상의 흔적을 남기지 않는 'cold beam surgery'의 경우가 있다. electro-mechanical interaction은 극히 높은 펄스를 가함으로 플라즈마를 생성시키고 이에 따른 acoustic wave를 발생시키는 것으로 결석을 파괴시키는데 이용되고 있다.

내시경을 통한 videoscope를 이용하여 open surgery대신 incision를 최소로 하여 환자의 회복 기간을 줄이는 Minimally Invasive Surgery는 많은 수술 procedure로 확산되고 있다.

3. 치료용 응용

치료용에서는 레이저 빛에 의한 직접적인 손상을 주지 않는 수 백 mW 이하의 low energy를 사용한다. 흡수된 빛 에너지는 microcirculation의 향상, 세포 활동 증진 등을 촉진하게 된다. 많이 이용되는 분야는 통증 치료, 류머티즘, 상처 회복 등이다. 미국의 경우 FDA의 허가를 받지 못한 관계로 low energy therapy에 대한 연구는 상당히 저조한 편이다. 반면 동구나 유럽 등에서는 비교적 활발하게 사용되고 있다. 세포의 빛에 대한 반응을 연구하고 있지만 정확한 치료 원리 등에 대해선 많은 기초연구가 필요하다. 경락에 대한 자극을 유도하는 등 동양의 의학의 원리를 접목시켜 진단, 치료기기로 이용하고 있다.

photo-dynamic therapy는 photo-sensitizer를 이용 암치료를 하는 기법이다. 혈관주사 등을 통하여 photo-sensitizer를 주입하면 대사가 활발한 종양에 선택적으로 많이 붙게 되는데, 이때 레이저를 조사하면 광화학반응에 의하여 singlet oxygen이 발생하여 세포를 죽이게 된다. 초기암의 치료에 효과가 좋으며, 폐, 방광등 종양이 퍼져 있고 접근하기가 어려운 부위 치료에 큰 장점을 가지고 있다. 레이저 빛이 흡수되어 발생하는 온도 상승을 1~2℃

정도로 하나, 의도적으로 온도 상승을 올려 hyperthermia에 의한 synergy 효과를 얻기도 한다. photo-sensitizer가 어떻게 종양에 선택적으로 많이 부착이 되는가 하는 데는 많은 연구가 필요하다. toxic effect를 줄이고 더 긴 파장에서 사용할 수 있는 photo-sensitizer의 개발이 관건이 되고 있다. 현재 캐나다에서 허가받은 PF II의 경우 630nm에서 사용되는데 파장이 길 수록 인체 투과 깊이가 큰 이점이 있어, 630nm보다 긴 파장에서 사용될 수 있는 photo-sensitizer들이 연구되고 있다.

4. 진단용 응용

진단 기술은 분광학이나 optical imaging에 기반을 두고 있는 것으로 상품화보다는 연구가 주를 이루는 분야다. 암세포나 atherosclerotic aorta 등을 진단하기 위하여 레이저 빔을 조사하여 형광의 스펙트럼이나 시간 변화에 따른 변이 등을 분석한다. 혈액속의 성분을 측정하는데 분광학이 이용되고 있다. 대표적인 것이 헤모그로빈(Hb, HbO₂)값을 측정하는 것인데 pulse oximetry, near infrared spectroscopy가 이용되고 있다.

유방암 진단에 이용하기 위한 광영상 장비 개발이 진행되고 있다. 빛은 X-ray와 달리

인체에 유해하지 않아 이점이 있을 것으로 판단되고 있다. picosecond 정도의 짧은 펄스를 조사하여 산란을 거치지 않고 빨리 도착되는 광자를 측정함으로써 빛이 가지는 산란의 결점을 보완하려고 하고 있다. 여러 파장에 대한 영상도 얻을 수 있어 임상적인 분석에 많은 도움이 될 수 있는데, resolution을 1mm 이하로 줄일 수 있을지가 관건이 되고 있다.

5. 레이저 개발 동향

레이저는 보다 안정성 있게, compact하게, 적은 전력 소모를 요하도록 상품화되고 있다. 몇 가지 제품 동향은 반도체 레이저의 고출력화, 고체레이저화, 다파장화 등이다. 반도체 레이저의 고출력화는 여러 반도체 레이저 chip을 묶어 한 fiber에 연결시켜 50~60 watts 급까지 등장하고 있다. 고체 레이저화는 반도체 레이저 여기나 Ho:YAG, Tu:YAG, Er:YAG 등의 희귀 원소류 레이저의 보급등을 통해서 볼 수 있다. 가변 파장의 고체 레이저로는 Ti:sapphire나 Optical Parametric Oscillator 등을 들 수 있다. 또한 비선형소자를 이용하여 고조파 빛을 발생시켜 두 가지 이상의 파장을 내거나, 복수의 레이저 헤드를 사용하여 레이저가 한 파장 이상이 되도록 하여 치료

범위를 확대시키고 있다. 연구 차원에서는 picosecond, femtosecond등 ultra-fast 레이저를 이용하여 진단에 이용

하고 있다. 또 robotics나 virtual reality를 이용한 high precision surgery나 원격 수술(tele-existence) 등이 흥미

로운 연구 분야로 떠오르고 있다.

유식공간

후지포토살롱 사진전

기 간	전 시 회 및 내 용
9월 4일 ~ 9월 7일	제1회 "FAP 인상 사진전" (인상사진)
9월 11일 ~ 9월 16일	"시간과 공간" (디자인)
9월 18일 ~ 9월 23일	"후지 포커스" (시장장터, 풍물, 인물)
9월 25일 ~ 9월 30일	"유동호 개인전" (금수강산)
10월 2일 ~ 10월 7일	창립 10주년 "타임스페이스 전시회" (곤충)
10월 9일 ~ 10월 14일	"한사회 사진전"
10월 16일 ~ 10월 21일	"후지라인 사진전"
10월 23일 ~ 10월 28일	제5회 "녹향회 사진전"
10월 30일 ~ 11월 4일	제12회 "인상 사진전"