

# 의료용 광학분야의 종류와 현황

이 글에서는 빛과 생체조직 사이에 일어날 수 있는 현상들을 간단히 설명하고 빛을 이용하여 얻을 수 있는 여러가지 치료와 진단방법 중 몇 가지를 개괄적으로 소개해 보고자 한다. 김법민

의 광학(Biomedical Optics)이란 말 그대로 빛이 생체조직과 일으키는 상호작용을 이용하여 환자의 치료나 진단 또는 의학 기초분야의 발전에 효과적으로 사용하는 데 필요한 학문이라 정의할 수 있다. 이때 쓰이는 광원(light source)으로는 레이저를 비롯하여 LED(light emitting diode), 백색광원(white light source), 흑체 복사기(blackbody radiator) 등을 들 수 있다. 따라서 일반적으로 잘 알려져 있는 의료용 레이저 학은 의광학의 한 부분만을 말하는 것이라 할 수 있다. 의공학(Bioengineering)이라는 분야가 일반적으로 갖는 특성과 마찬가지로 의공학 역시 기계·전자 공학뿐만 아니라 생물학, 물리·화학 등 기초과학분야 지식의 접목이 필요한 학문으로 세계적으로 의료 임상에서뿐만 아니라 나노기술(nanotechnology), 조직공학(tissue engineering) 등 첨단 분야에도 쓰이고 있는 상황이다. 미국, 일본, 유럽 등에 비해 우리

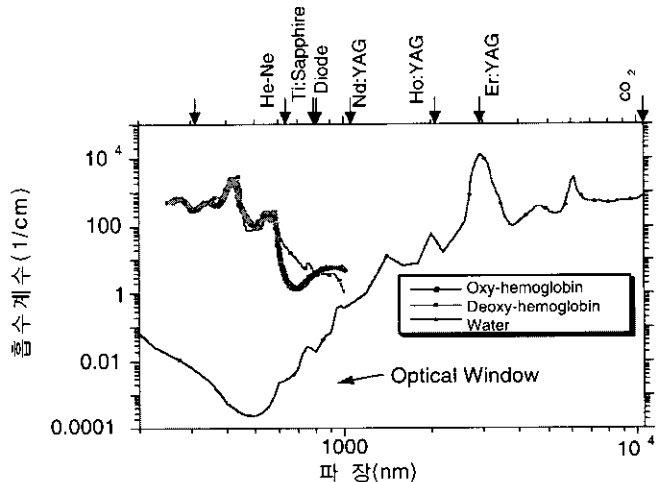


그림 1 파장에 따른 헤모글로빈과 물의 흡수계수 변화. 600 nm~1,100 nm의 영역을 optical window라 한다.

나라가 비교적 많이 뒤쳐져 있는 새로운 분야이며, 그만큼 가능성이 많은 분야라고도 할 수 있다.

빛의 입자, 즉 광자(photon)가 생체조직과 만나게 되면 흡수(absorption), 산란(scattering) 등이 일어나게 되고, 부차적으로 형광(fluorescence), 인광(phosphorescence), 열광(thermal radiation), 라만 산란(Raman

scattering) 등이 일어난다. 그중 빛의 흡수에 따른 열적·기계적·화학적 효과 등을 이용하여 치료 효과를 기대할 수 있고, 그 외의 여러 현상들을 이용하여 기존의 진단방법으로 얻을 수 있는 정보 외의 추가적인 정보를 얻어 진단에 쓰기도 한다. 이 글에서는 빛과 생체조직 사이에 일어날 수 있는 현상들을 간단히 설명하고

빛을 이용하여 얻을 수 있는 여러 가지 치료와 진단방법 중 몇 가지를 개괄적으로 소개해 보고자 한다.

### 생체조직의 광학계수

특정 생체조직에서 빛이 흡수되거나 산란되는 정도를 전체 광감소계수( $\mu_t$ )라 하고  $\mu_t = -\ln(T)/L$ 로 정의되며, 이때  $T$ 는 빛이 조직 내에서 일정 길이를 진행할 때의 투과율(transmission)을 그리고  $L$ 은 그 진행 길이를 나타낸다. 그중 흡수되는 정도를 흡수계수(absorption coefficient,  $\mu_a$ )라 하고 산란되는 정도를 산란계수(scattering coefficient,  $\mu_s$ )라 한다. 따라서  $\mu_t = \mu_a + \mu_s$ 의 관계를 가지며  $\mu_t, \mu_a, \mu_s$  모두  $\text{cm}^{-1}$  또는  $\text{mm}^{-1}$ 의 단위를 가진다. 일반적으로 생체 조직에서는 흡수와 산란이 함께 일어나지만 보통 산란계수가 흡수계수보다 월등히 높다. 흡수, 산란계수와 함께 중요한 광학계수의 하나는 광자가 산란될 때의 산란각도에 대한 것으로서 비등방 계수(anisotropy,  $g$ )라 부르며, 산란전 광자의 진행방향과 산란후의 진행방향이 이루는 각도의 평균치를 나타낸다.  $g$ 가 0이면 모든 방향으로 동일하게 산란됨을 뜻하며, 1이면 완전한 전방향(forward directed)으로의 산란만이 일어남을 말한다. 보통 생체조직의 비등방 계수는 0.9 정도의 값을 갖는다. 이와 같이  $\mu_t, \mu_a, \mu_s, g$ 는 각각 독립적인 생체조직의 가장 기본적인 광학계수이며

때로는  $\mu_s$ 와  $g$ 를 합쳐서  $\mu'_s (= \mu_s(1-g))$  즉, 감소 산란계수(reduced scattering coefficient)라 부르기도 한다. 그림 1은 생체조직 구성성분 중 주된 흡수체인 혈액과 물의 흡수계수를 자외선, 가시광선과 근적외선 영역에서 나타낸 것이다. 일반적으로 짧은 파장의 빛은 주로 단백질이나 헤모글로빈에 의해 강하게 흡수되며, 긴 파장의 빛은 주로 물에 의해 흡수된다. 반면 약 600 nm ~ 1,100 nm 사이의 빛은 생체조직에 의해 비교적 적게 흡수되어 조직으로의 침투가 용이하므로 두꺼운 조직의 치료·진단시 많이 쓰이는 파장이다. 이 파장 영역을 광학창(optical window)이라 한다.

### 빛을 이용한 치료법

치료용 광원으로는 주로 레이저가 쓰이며, 레이저의 특징은 다

음과 같다.

- (1) 가간섭성(coherent) : 나란히 진행되는 빛 파동들의 위상이 시·공간적으로 일정하다;
- (2) 직진 평행성(collimated) : 빛의 진행이 평행하다.
- (3) 단색성(monochromatic) : 백색광이나 LED 등과 달리 단색성을 갖는다.

레이저는 이와 같은 특성으로 인해 높은 세기로 빛의 에너지를 집적하는 것이 가능하기 때문에 치료용으로 가장 먼저 사용되기 시작하였다.

흔히 레이저 수술하면 강한 빛으로 조직을 태워서 절단하는, 다시 말해서 외과수술용 메스를 대체하여 시술하는 과정으로 오해하기 쉬우나 이는 레이저를 사용한 시술의 극히 일부분에 속하며, 도리어 기존의 장비 즉 전기 메스 등과의 경쟁이 힘든 분야라 할 수 있다. 이보다는 레이저만의 독특

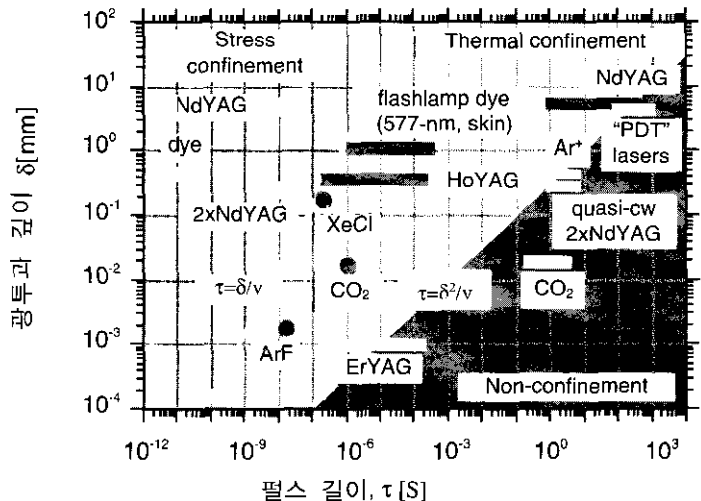


그림 2 빛의 투과 깊이와 펄스의 길이에 따른 빛-조직의 상호작용 변화.

한 성질을 이용하여 각종 분야의 임상치료를 이용되고 있는데, 가장 큰 특징은 다음과 같다.

- (1) 광섬유로 에너지를 전달할 수 있어 절개부분이 작아질 수 있다.
- (2) 조직을 이루는 각 성분의 흡수정도 차이에 따라 적절한 파장을 사용하여 원하는 조직만을 선택적으로 제거할 수 있다.
- (3) 전기 메스를 사용할 때처럼 인체에 대한 전기충격의 가능성이 없다는 것들을 들 수 있다.

레이저를 이용하여 행해지고 있는 치료는 광원의 종류에 따라 보통 다음과 같은 세 가지의 효과를 이용한다.

### 광열적 효과

빛이 생체조직과 만나게 되면 흡수나 산란이 일어나게 되고, 일단 흡수된 빛에너지의 일부는 열적 에너지로 변환되며, 따라서 생체조직의 온도를 증가시키게 된다. 온도증가가 일정치를 넘게 되면 광응고(photocoagulation)가 일어나고, 조직 표면에서의 온도 상승이 특히 심한 경우에는 탄화(carbonization)가 일어나 검은 색을 띄게 된다. 적외선 영역의 빛인 경우, 표피의 바로 아랫부분에서 물의 열적 팽창과 기화가 일어나 조직의 탄성한계를 초과하게 되면 팽윤을 튀길 때와 같은 작은 폭발현상이 일어나기도 한다. 한편, 탄화가 일어나면 대부분의 빛에너지가 표면에서 흡수되므로 빛이 투과하지 못하고 표

면온도만 상승한다. 따라서 큰 조직을 열적으로 괴사시켜야 할 경우 목적을 달성하기 힘들어진다. 그러므로 저온의 물이나 액화질소를 스프레이로 만들어 표면의 온도를 일정하게 유지하여 빛의 투과깊이를 유지하면서 큰 조직을 광응고시키는 방법이 많이 쓰이고 있다. 이때 주의할 점은 조직이 응고됨에 따라 광학계수와 조직 주위의 혈류량이 변하여 빛과 온도분포가 실시간으로 변화하므로 응고될 부피를 예상하는데 어려움이 따른다는 것이다. 광열적 효과를 이용한 광응고 치료법은 전립선 비대증, 각종 암조직 응고, 망막치료 등에 사용될 뿐만 아니라, 주위 조직에는 많이 흡수되지 않지만 제거하고자 하는 성분만이 흡수하는 파장을 써서 피부과에서의 모세혈관 확장성 모반(port wine stain)의 치료, 문신·털 제거 등에 걸쳐 광범위하게 사용된다.

### 광기계적 효과

광기계적 효과(photomechanical effect)란 조직에 흡수된 빛에너지가 과도한 경우, 특히 이 에너지가 빠른 시간 내에 조직의 일부지역에 집중적으로 축적될 경우, 빛을 흡수하는 흡수체(chromophore)의 온도가 임계점을 넘어 기화되면서 주위조직이 폭발적으로 제거(ablation)되는데 따르는 부수적인 현상들을 말한다. 빛의 파장이 적외선 영역에 있는 경우 주된 흡수체는 물이므로, 물이 기화되어 기포를 형성하고 그 에너지가 주위조직의 탄

성한계를 넘어서면 ablation이 일어난다. 이때 폭발로 인한 반동압(recoil pressure)과 기포가 깨지면서 생기는 충격파(shock wave)로 인해 주위 조직에 추가적인 기계적 손상이 가해지게 되는데, 많은 경우 원하지 않던 큰 손상이 갈 수도 있으므로 레이저의 파라미터를 정하는데 주의가 요망된다. 레이저의 파장, 펄스길이, 에너지, 빔의 크기 등의 파라미터에 따라 광기계적 효과가 달리 나타날 수 있는데, 이를 그림 2에 나타내었다. 보통 레이저 펄스의 투과 깊이가 레이저 빔의 반지름보다 작으면, 열이 주위조직으로 확산되기 전에 작은 조직부피에 집적되어 효과적인 광열적 또는 광기계적 ablation이 가능하다(thermal confinement). 반면 펄스길이가 매우 짧아 압력과(pressure wave)의 진행속도보다도 빠르게 조직에 집적되면, 더 많은 에너지가 집적되어 높은 광기계적 조직 제거율을 얻을 수 있다. 그림 2에는 나타나 있지 않지만 펄스길이가 더욱 짧아져 100 펨토초 ( $10^{-13}$  sec)나 피코초 ( $10^{-12}$  sec)의 영역에 이르게 되면 조직 표면에 플라즈마(전자와 이온 가스)를 생성하여 ablation을 수행하며, 이 경우 주위 조직에 거의 손상을 주지 않는다는 사실이 알려져 있다. 그림 3에 물속에 담겨진 광섬유를 통해서 전달된 레이저 펄스가 만들어 내는 압력파(pressure wave, 그림 3(a))와 연이은 기포의 생성(bubble formation, 그림 3(b))이 나타나있다. 광기계적 효과를

이용한 임상 치료로는 Er:YAG 레이저를 이용한 치아 등 경조직 제거, Ho:YAG 레이저 등을 이용한 뼈조직 제거, 레이저에 의해 생성된 충격파를 이용한 결석 치료(lithotripsy)와 뇌졸중 환자에 대한 혈전 파괴 치료, 그 외 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 경심근 절제술(transmyocardial resection, TMR) 등 연조직을 제거하는 데에도 광범위하게 쓰이고 있다. 요즘에는 펄스레이저를 통하여 세포내의 특정한 구성성분만을 선별적으로 파괴하거나, 세포막에 작은 구멍을 레이저로 만들어 내어 특정 화학물질의 전이를 연구하는 등 기초생물학에도 그 적용영역을 넓히고 있다.

### 광화학적 효과

빛의 광화학적 효과(photochemical effect)는 보통 두 가지 다른 의미로 설명된다. 첫째는 XeCl 레이저와 같은 자외선 영역의 레이저로 조직을 제거하는 현상을 설명한 것으로서, 이때 광자는 그 높은 에너지로 인해 라디칼을 형성하거나 분자 자체를 쪼개어 플라즈마를 형성하여 제거한다. 자외선 영역의 빛은 단백질이나 핵산(nucleic acid)에 의해 주로 흡수되며 광열적인 효과보다는 이러한 플라즈마로 인한 조직제거가 주를 이루기 때문에 주위조직에 열적 손상을 덜 일으킨다는 것이 알려져 있다. 따라서 Eximer 레이저와 같은 자외선 영역의 빛은 열적 손상을 적게 하며, 각막 등을 효과적으로 제거하기 때문에 요즘 라식 수술 등에

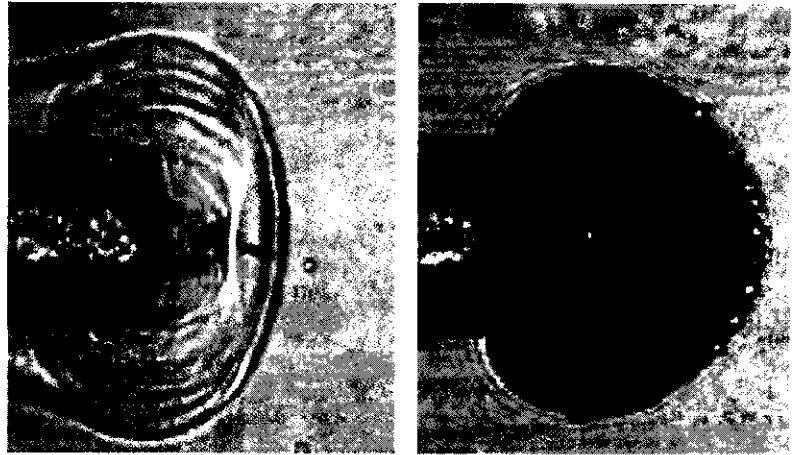


그림 3 nanosecond의 길이를 갖는 레이저 펄스가 만들어 낸 (a) 압력파(pressure wave)와 (b) 기포(bubble)의 상호작용 변화.

서 효과적으로 쓰이고 있다. 다음으로 광동역학적 치료(PDT : photodynamic therapy)도 광화학적 효과를 이용한 치료법이라 할 수 있다. PDT란 빛을 흡수할 때 산소와 결합하여 라디칼을 생성시키는 광민감성 약품(photosensitizer)을 이용하여 암세포 등을 파괴하는 치료법이다. 이때 광민감성 약품은 암세포에만 선택적으로 달라붙는 photofrin과 같은 약품을 쓰며, 따라서 주위 조직에 손상을 최소화시키며, 암세포만을 공격하는 효과를 얻을 수 있다. 보통 광민감성 약품이 암세포에 정착하고 정상조직에서는 씻겨나갈 수 있도록 레이저 사용 약 24 시간 전에 인체에 투약한다. 치료시 암세포 주위 혈관이 손상 당하면서 산소의 농도가 저하되어 PDT의 효과가 떨어진다는 거나, 라디칼이 광민감성 약품 자체를 파괴시키는 광표백 현상(photobleaching), 광민감성 약품이 피부에 축적되어 빛을 쬐 때 생기는 피부화상,

제한된 빛의 투과깊이로 인하여 큰 암조직의 치료에 어려움이 있는 점 등 아직 개선할 부분이 많으나, 방광, 폐, 식도 등의 암조직 치료에 효과적으로 쓰일 수 있음이 검증된 매력적인 신치료법이라 할 수 있다. 우리나라에서도 최근 몇 회사들이 PDT용 레이저 개발에 매진하고 있다.

### 빛을 이용한 진단법

광진단법은 조직이나 세포를 구성하는 구성 성분들이 갖는 광학적 특성을 이용하여 임상이나 기초과학에 사용하는 기법을 일컫는다. 조직이나 세포가 갖는 광학적 특성이란 파장에 따른 빛 흡수정도, 형광 및 인광의 세기와 파장대역, 2·3차 하모닉 생성 등 비선형적 광학효과, 탄성적 산란이나 비탄성적 라만효과 등을 말하며, 이를 이용하여 진단, 또는 더 나아가 단층촬영에도 효과적으로 이용되고 있다. 빛을 이용한 진단법은 X-ray와 같은

ionizing radiation이 아니어서 안전하고, MRI 장비 등보다 훨씬 저렴하게 만들어낼 수 있는 장점이 있다. 여기서는 그 중 몇 가지 대표적인 기법의 원리와 적용법 위에 대해 기술해보고자 한다.

### 광분광법

광분광법(optical spectroscopy)은 일정한 빛의 파장대에서 물질의 농도변화나 화학적 변화가 일어남에 따라 흡수, 형광, 라만 산란등의 패턴이 변화하는 것을 이용하여 조직의 진단 또는 화학성분의 분석에 이용하는 기법이다. 간단한 예로 환자의 손가락 끝에서 빨간색 영역의 빛을 이용하여 혈중 산소 포화도를 측정하는 장비를 들 수 있는데 이는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 산화 헤모글로빈(oxyhemoglobin)과 탈산화 헤모글로빈(deoxyhemoglobin)의 흡수 계수가 빨간색 영역에서 차이가 남

을 이용한 것이다. 형광과 라만 산란을 이용한 분광법도 임상과 기초의학의 여러 분야에 광범위하게 사용되고 있으나, 자세한 기술은 피하기로 하겠다. 이러한 광분광법을 이용하여 악성 종양의 진단이나 수분, 콜레스테롤, 포도당(glucose), 빌리루빈(bilirubin) 등의 농도를 측정한다. 이 중 특히 glucose의 농도를 비침습적인 광분광법으로 알아내어 당뇨병 등에 이용하려는 연구가 우리나라를 비롯한 세계 여러 곳에서 행해지고 있다.

### 광 결맞음 단층촬영법

광 결맞음 단층 촬영법(OCT: optical coherence tomography, 이하 OCT)은 '90년대 초 적외선 영역에 있는 빛의 간섭효과를 이용함으로써 생체조직 내 미세 구조를 높은 해상도(< 10 μm)로 이미징할 수 있도록 개발된 기법이며, 저가로 장비구축이 가능한

장점이 있다. OCT를 이용하면 초음파의 B-scan과 같이 2차원 이미지를 얻을 수 있다. OCT는 마이클슨 간섭계와 동일한 원리를 가지며, 광원에서 나온 빛이 beam splitter에 의해 반씩 나누어지며(또는 fiber coupler가 사용됨), 한 쪽 빔은 일정속도로 직선 반복운동을 하는 거울(galvanometer)로 다른 한 쪽 빛은 이미징하고자 하는 샘플로 전달된다. 샘플과 거울로부터 반사된 빛은 beam splitter에서 다시 만나며, 두 빛의 진행거리가 같으면 간섭현상을 일으킨다. 이때 발생하는 간섭파의 크기가 샘플에서 역반사된 빛의 양과 비례하므로 거울이 직선반복운동을 함에 따라 샘플 내에서의 산란정도를 깊이에 따라 이미징할 수 있게 된다. OCT 이미지는 광원의 결맞음길이(coherence length)가 짧을수록 축상의 해상도가 우수해 지므로 결맞음길이가 긴 레이저 보다는 파위가 뛰어나고 결맞음 길이가 매우 짧은 superluminescent diode(SLD) 등을 사용한다. 또한 공간상의 펄스길이가 20~30μm도 한다. OCT는 안과에서 각막이나 망막의 이미징, 충치나 치주질환의 진단(그림 4 참조), 피부단층 이미징 등에 사용되고 단모드 광섬유를 이용하여 인체 내에 삽입, 식도나 혈관질환의 이미징과 진단에 사용되기도 한다. 최근에는 회절격자(diffraction grating) 등을 사용하여 매우 빠른 스캔속도를 얻는 기술도 개발되어 있다. 이미 미국 California에 위치한 Zeiss

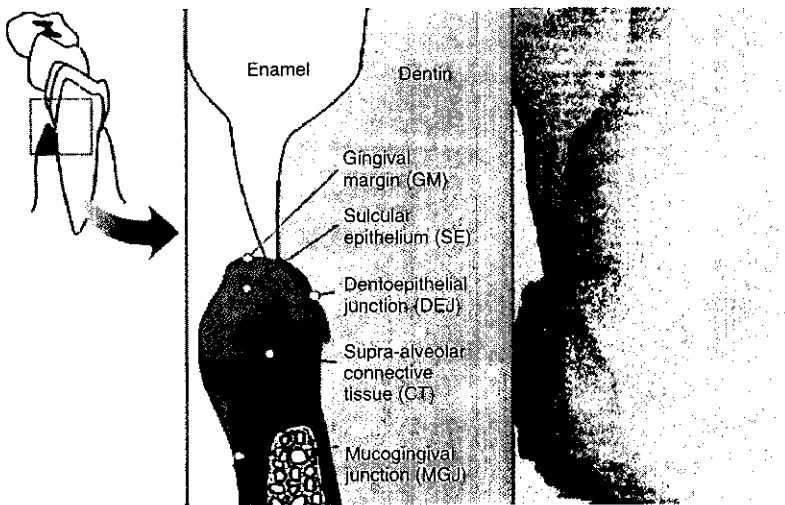


그림 4 인간 치아의 OCT 이미지. 법랑질(enamel)과 상아질(dentin) 그리고 잇몸과의 경계선이 뚜렷하게 나타난다(Lawrence Livermore National Laboratory).

Humphry Systems에서 안구의 망막 검사용 OCT 스캐너를 상품화하여 판매하고 있으며, 매사추세츠 주의 Lightlab Imaging 이라는 회사에서도 의학 여러 분야에 쓰일 수 있는 상용 OCT 시스템을 개발 중이다.

### 광자이동(photon migration)법을 통한 조직이미징 기법

빛은 광섬유를 통하여 전달되고 빛의 입자인 광자가 생체조직의 광학특성에 따라 분포된다는 것은 앞에서 살펴본 바 있다. 광자이동법이란 바로 광섬유를 통하여 높은 주파수(100 MHz ~ 1 GHz)로 변조된 광밀도파(photon density wave)가 조직에 조사되어 다른 곳에 위치한 여러 개의 광섬유 다발에 의해 검출될 때 빛의 강도(amplitude)가 흡수되어 줄어든 정도나 산란으로 인해 생기는 위상차의 변화를 이용하여 특정조직 내의 구조를 inverse program을 이용하여 추출해 내는 기법이다. 일반적으로 가시광선이나 근적외선 영역의 빛은 그 투과 깊이가 제한되지만 강도나 위상 변화 등의 정보는 비교적 멀리까지도 전달될 수 있으므로 이 방법을 이용하여 신생아의 뇌 혈중 산소 포화도(blood oxygenation)를 이미징하거나 유방암 진단 등에 사용한다. 이때 쓰이는 inverse program은 radiative transport를 근사(approximation)한 diffusion theory나 Monte - Carlo model 등이 사용되는데, 계산 시간 등의 이유로

보통 diffusion theory가 많이 쓰인다. 십수년간 미국과 유럽의 많은 기관에서 이 inverse program을 개선하기 위하여 노력해왔으며, 최근에 유럽 등지에서 임상실험이 활발하게 행해지고 있다. 그림 4에서는 이 기법을 뇌의 이미징에 사용하는 모습을 보여준다.

### 광-음파(opto-acoustic)이미징 기법

초음파의 높은 투과깊이와 빛을 이용한 조직 검별 능력을 함께 이용한 이미징 기법이다. 이에는 몇 가지 다른 테크닉이 사용되고 있는데 그 예는 다음과 같다. 우선 조직을 일정 주파수의 초음파를 이용하여 변조·진동시킨다. 이때 초음파의 초점을 맞추어(ultrasound focusing) 조직 내의 일정부위에 전달한 후 조직 바깥에서 빛을 쬐이게 되면, 초음파의 초점을 지나는 빛만이 초음파와 같은 주파수로 변조되게 된다. 이때 광원 반대쪽에서 초음파와 같은 주파수로 변조된 빛만을 검출하면 초음파의 초점이 맞추어진 영역만의 광학계수를 측정할 수 있다. Texas A&M 대학의 생체광학 연구소에서 이 기법에 대한 집중적인 연구가 이루어지고 있다. 다음으로 빛의 흡수로 인한 급속한 온도상승시 발생하는 열 팽창을 이용한 기법이 있다. 이 기술은 생체조직내의 각 부분이 다른 정도의 빛을 흡수하여(광학계수가 다르므로) 발생하는 음파의 크기를 측정할 때 바로 그 조직 구성부분의 흡수계수를 측정하는 결과를 가져오게 되는데, 이

를 이용하여 생체조직을 이미징하는 기법을 말한다.

### 빛의 편광을 이용한 이미징 기법

짧은 파길이를 갖는 레이저 펄스가 일정두께의 생체조직을 투과할 경우 보통 높은 산란계수로 말미암아 확산되어 버린다. 이때 아주 작은 양의 빛은 산란되지 않고 투과되는데 이를 탄도광자(ballistic photon)라 한다. 또한 아주 작은 산란만을 겪어 기존의 진행방향과 많이 틀어지지 않은 광자 무리가 탄도광자를 뒤따르는데 이를 뱀형 광자(snake photon)라 말한다. 이와 같이 탄도광자나 뱀형광자 무리를 검출하게 되면 이론적으로는 X-ray와 유사한 이미지를 얻을 수 있으나, 이들 광자무리들의 양이 미미하고 검출방법이 쉽지 않아 일반적으로 두꺼운 조직의 이미징에는 쓰이기 어렵다. 하지만 레이저에서 발생하는 빛은 일반적으로 일정방향으로 편광되어 있고 산란을 적게 경험한 탄도광자나 뱀형광자도 기존의 편광을 유지하게 되므로, 간단하게 편광판(polarizer)만을 이용하여 이들 광자를 검출하는 기법도 개발되어 현재 실험단계에 있다. 편광을 이용한 이미징 기법은 이외에도 여러가지가 있다. 이미 언급한 바와 같이 산란은 빛의 편광을 변형시키는 작용을 하며 암조직과 같은 악성조직의 산란계수가 정상조직과 상이한 점을 이용하여 피부암과 같은 표면에 노출된 조직 검사에 이 기법을 사용한다.

OCT 기법을 이용해 조직 검사를 할 때 여러가지로 편광된 빛을 조사하여 간섭시에 발생하는 빛의 편광정도를 검출하면 조직의 Mueller matrix를 구할 수도 있으며 현재 악성 조직의 진단에 사용하기 위한 연구가 진행 중이다.

### 맺음말

본문에서 다루지는 않았지만 레이저의 이용시 주요한 요소 중의 하나가 바로 의료진의 안전에 대한 것이다. 일반적으로 모든 방향으로 퍼지는 백색광 등의 빛은 안구 망막 뒤편에 초점이 맞추어지기 때문에 안전하지만, 레이저와 같이 평행하게 진행되는 빛은

망막에 초점을 맺게 되므로 열손상을 입을 수가 있다. 레이저는 보통 그 위험도에 따라 Class I, II, IIIa, IIIb, IV 등으로 분류되며, 그중 Class IIIb 와 IV의 레이저를 다룰 때에는 보안경을 항상 착용하는 등 엄격한 안전수칙이 지켜져야 할 것이다.

빛을 이용한 진단 및 치료법은 상기한 외에도 매우 다양하나 우선 많이 알려진 몇 가지만을 살펴 보았다. 광의학분야는 적용분야가 무한하고 현재 눈부시게 발전하고 있으나, 미국, 유럽, 일본 등에 크게 뒤떨어진 대표적 분야 중 하나라 할 수 있으므로 앞으로 많은 과학도가 관심을 가져주기를 바라는 마음이다. 마지막으로 광

의학 분야의 연구가 활발하게 행해지고 있는 외국의 우수 기관들 중 몇의 웹 페이지를 소개하고자 한다.

<http://www.bli.uci.edu/>

<http://omlc.ogi.edu/>

<http://www.mgh.harvard.edu/wellman/>

<http://www.med.upenn.edu/~oisg/oisg.html>

<http://lasers.llnl.gov/lasers/mtp/index.html>

<http://www.ece.utexas.edu/bell/index1.htm>

<http://www.bme.vanderbilt.edu/bmeoptics/>

<http://oilab.tamu.edu/>

<http://dmtwww.epfl.ch/iao/>

### 기계용어 해설

#### ▶ 벽면이동 로봇(Wall Climbing Robot)

벽면이동 로봇은 작업 수행에 필요한 장비를 탑재하고 벽면에 부착하여 중력을 극복하며, 이동할 수 있는 로봇을 말한다. 벽면이동 로봇은 크게 이동 방법과 부착방법에 따라 분류할 수 있다. 먼저 이동 방법에 의하여 나누면 무한 궤도형과 보행형 로봇으로 구분할 수 있으며, 부착 방법에 따른 로봇의 분류로는 자석형, 흡착 패드형, 그리고 추진력형 등 세 가지를 들 수 있다.

#### ▶ 반복이차 계획 알고리즘(Recursive Quadratic Programming Algorithm)

순차선형계획법의 성능은 적절한 설계변화의 이동한계 선정에 크게 의존하며, 이동한계를 매 반복 회마다 조정하여야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 이차이동 거리제약을 도입하는 반복이차계획법이 개발되었다. 일반적으로 이차계획 문제는

이차목적함수와 선형제약함수로 구성되어 있으며, 이차계획 부문제는 매 반복되는 최적화 과정에서 비선형 문제를 선형화하고 이차이동거리 제약조건을 부가하여 구해진다.

#### ▶ 인공신경회로망(Artificial Neural Network)

인간의 뇌가 정보를 인식하고 처리하는 과정을 수학적으로 모델화한 것으로서 관련 변수들 사이의 관계가 매우 복잡한 비선형성을 가지고 있는 경우에 인공신경망 모델이 매우 유용하게 사용된다. 현재, 신호처리, 형상인식, 재료물성치 예측 등 여러 분야에서 사용되고 있다.