

1. 서론

광기술이 생체에 적용되는 분야는 다양하겠지만, 눈은 광학적 투명성을 가지고 있기 때문에 광기술의 접근과 적용이 상대적으로 용이하다는 특성을 가지고 있다. 인간장기 중에서 유일하게 안저(fundus) 관찰을 통해 신경과 혈관을 직접 관찰할 수 있기 때문에 눈의 진단을 통해 특정 질병에의 노출 여부와 간접적으로 대뇌피질 및 뇌혈관 이상에 대한 정보를 얻을 수 있다. 또한 시기능이 정보 수집 및 활용 능력에 미치는 영향이 대단히 크므로 정보화시대로 불리는 현대시대에서 눈의 건강은 어느 시대보다도 강조될 것이다. 본 글에서는 안광학기기 중에서 보편적으로 사용되고 있는 장비의 용도를 간략히 소개하고, 최근 연구되고 있는 최신 안광학 진단기기의 구조와 동작원리에 대해 정리하고자 한다.

2. 눈의 구조와 광학적 특성

눈의 구조는 그림 1과 같다. 인종 또는 개인마다 차이가 있으나 보편적으로 언급되고 있는 바에 의하면 각막에서 망막까지의 안축길이는 약 24 mm이며, 각막 정점을 기준으로 상측주점은 1.6 mm (각막과 홍채 중간지점), 상측절점은 7.3 mm(수정체 바로 뒷면), 회선점은 13 mm에 위치하고 있다. 각막은 무혈관 조직으로 두께는 중심부가 0.5~0.6 mm, 주변부가 0.7~1 mm, 전면 곡률반경은 약 7.3 mm, 후면 곡률반경은 약 5.7 mm, 굴절률은 1.376이며 공기중에서 직접 산소공급을 받는다. 방수의 굴절률은 1.336이며 방수 압력을 안압이라 한다. 홍채 두께는 0.5 mm 정도이고 풍부한 색소와 혈관을 가지며 중앙에 동공이 있다. 색소가 많으면 갈색, 적으면 청색으로 보인다. 동공은 입사광량을 조절하는 조리개 역할을 한다.

특집 | 의광학

안광학 진단기기

고동섭*, 권혁제, 유용성, 김찬윤

수정체는 눈의 주된 굴절 조절기관이며 탄력성이 있고 굴절력을 증감시키는 작용을 한다. 굴절률은 위치에 따라

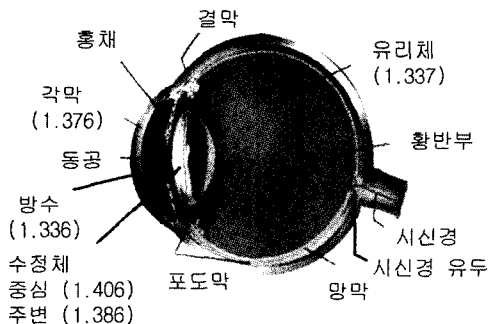


그림 1. 눈의 구조

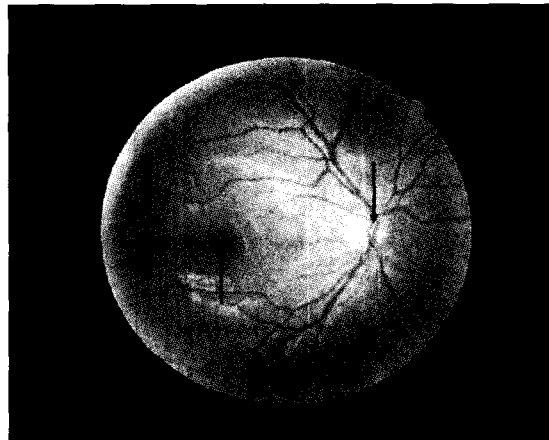
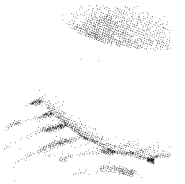


그림 2. 망막

* 목원대학교 광 및 전자물리학과



다르며 대략 중심부는 1.406, 주변부는 1.386이다. 유리체(초자체)는 수정체와 망막 사이의 공간을 채우는 겔상의 무색투명한 무혈관 조직으로 굴절률은 1.337이다. 망막은 안구 후방 2/3를 덮고 있는 투명한 신경조직으로 밝은 곳에서 반응하는 원뿔세포와 어두운 곳에서 반응하는 막대세포라는 두 종류의 시세포가 있다. 망막은 그림 2와 같다. (A)는 원뿔세포가 밀집되어 있는 황반부, (B)는 시신경이 뇌로 통하는 시신경유두이다.

3. 안광학기기 및 용도

안광학기기에는 각막진단기기, 망막진단기기, 레이저 치료기기 등이 있으며 기타 장비로는 안압계, 렌즈미터 등이 있다. 안압계(tonometer)는 안압(망수 압력)을 측정하는 장비이며 접촉식과 비접촉식으로 구분되고, 비접촉식은 안과의사 뿐만이 아니라 안경사(검안사)들도 녹내장 screening 진단장비로 사용하고 있다. 녹내장은 안압과 밀접한 관계가 있음은 잘 알려진 사실이다. 다만, 비접촉식은 정확성이 다소 떨어지기 때문에 녹내장이 의심되는 경우 접촉식으로 안압을 재측정하는 것이 관례이다. 렌즈미터(lensmeter)는 안경렌즈의 광학적 특성을 측정하는 장비이며 수동식과 자동식이 있다. 수동식은 측정 과정에 관해 많은 지식과 기술을 요구하며 측정 시간이 많이 소요된다. 최근 사용자의 수고를 덜어주는 다양한 기능의 자동식 렌즈미터들이 상품화되고 있다. 이중 초점, 3중 초점, 누진 다초점 렌즈, 콘택트 렌즈를 분석할 수 있으며, 동공거리와 자외선 투과율 측정 기능을 포함하는 경우도 있다.

굴절력 측정기(refractometer) 또는 안계측계(optometer)는 타각식으로 눈의 시력을 측정하는 장비로 안경점과 안과에서 사용하는 가장 기본적인 안광학기기이다. 자동검안기는 80년대에 도입된 이후 가장 인기 있는 screening 기기이다. 망막검영기(retinoscope)는 눈의 굴절력을 타각식으로 검사하는 또 다른 기구이다. 측정시간이 길고, 측정자의 기술과 정성이 요구되지만, 정밀한 측정과 진단이 가능한 장점이 있다. 최근에는 검안용 파면분석기(wavefront analyzer)가 개발되어 안구 전체, 즉 눈물막 부터 시작해서 각막의 전후면, 수정체, 유리체, 망막에 이르기까지 빛이 통과하는 매질에서 일어나는 모든 파면수차를 계측하고, 각막지형도 계측기와 함께 사용하여 안

구의 광학적 특성을 정밀 진단할 수 있게 되었다. 일부 전문 안과 병원에서 파면분석기를 사용하여 맞춤 굴절교정 각막수술을 시행하고 있으며 기존 방식보다 수술 안전성과 환자의 시술 만족도가 높은 것으로 보고되고 있다.

각막지형 계측기(corneal topographer)는 각막 곡률과 굴절력 정보를 얻고자 이용하며 점차 정교한 제품이 시장에 등장함으로써 빠른 성장세를 보이고 있는 장비 중의 하나이다. 현재 굴절교정각막수술에서 이 장비는 필수 기본 장비로 사용하고 있으며, 복잡한 각막 표면에 대하여 정밀한 콘택트 렌즈 처방을 가능하게 하여 안경점에서도 그 수요가 증가하는 추세에 있다.

세극등 현미경(slit lamp)은 실통광원과 현미경으로 구성되어 있다. 실통광원을 비스듬하게 눈에 비추어 안구 구성 물질을 한 층씩 구분하여 관찰하는 기기이며, 망막 진단도 간편하기 때문에 안과의뿐만이 아니라 병원응급실에서도 많이 쓰인다. 경면현미경(specular corneal microscopy)은 각막내피세포 관찰을 목적으로 개발되었다. 내피세포는 각막의 수분을 조절하여 투명도를 유지하는데 중요한 역할을 하는 세포이다. 광원을 눈에 비추면 눈물막, 각막, 수정체 등 안구 구성물질의 표면에서 빛이 많이 반사되는 반면에, 내피세포층에서의 반사율은 대단히 낮기 때문에 각막 내피세포를 관찰하기가 쉽지 않다. 따라서 실통광원을 비스듬하게 각막에 비추고 정반사되는 방향에서 현미경으로 내피세포층을 근접 관찰하는 기술이 쓰이고 있다.

안저(fundus)는 망막 앞쪽 면을 말하며, 검안경(ophthalmoscope), 세극등 현미경, 안저카메라로 관찰이 가능하다. 검안경은 직접검안경과 간접검안경으로 구분한다. 직접검안경은 고배율 직접상을 제공하며, 간접검안경은 저배율 도립상으로 망막의 넓은 범위를 관찰하는데 유리하다. 입체시 관찰도 가능하다. 세극등 현미경은 고배율 도립상이며 여러 렌즈를 이용하여 관찰 영역을 넓게 하거나 또는 확대하여 관찰하는 것이 가능하다. 안저카메라는 산동식과 무산동식으로 구분된다. 무산동 안저카메라를 일반 진단용이라 한다면, 산동 안저카메라는 동공크기를 확대시키는 약제와 함께 사용하여 넓은 범위의 품질이 좋은 안저 관찰을 가능하게 한다. 그러나 산동 과정과 강한 불빛이 환자를 불편하게 하기 때문에, 최근에는 약한 광원과 고감도 카메라를 사용하는 무산동 안저 카메라를 개발하고자 노력하고 있다. 그림 2와 같이 칼라 촬영이 기본이

며, 필요한 경우 인체에 색소(dye)를 투입하여 혈관조영촬영도 할 수 있다. 시야측정계(perimeter, visual field analyzer)는 망막의 기능에 의해서 결정되는 시야 범위를 관찰하고 녹내장을 screening하기 위해서 사용하고 있다.

레이저 주사 방식에 기초한 망막진단기구는 여러 종류가 개발되었다. SLO(scanning laser ophthalmoscope)는 망막질환 뿐만이 아니라 혈관조영촬영 및 망막반응검사도 할 수 있다. 헬륨네온 레이저는 일반적인 망막 영상을 보기 위해, 알곤 레이저는 FAG(fluorescein angiography) 검사에, 다이오드 레이저는 ICG(indocyanine green) 혈관조영촬영에 이용되고 있다. 빛으로 인한 스트레스가 적기 때문에 노약자, 소아환자들도 쉽게 적응할 수 있으며, 소량의 색소만으로도 형광을 검출할 수 있어 환자가 불편함을 느끼지 않는다. 공간분해능을 획기적으로 높이고 영상 선명도를 향상시키기 위해서 공초점 시스템을 채용한 cSLO(confocal SLO) 또는 적응광학계를 채용한 AOSLO(adaptive optics SLO) 기술들이 연구되었다.

cSLO의 동작원리에 기초한 HRT(Heidelberg retina tomograph)는 황반부 부종과 시신경 유두를 관찰하여 녹내장을 진단하기 위한 장비이며, HRA(Heidelberg retina angiograph)는 망막 혈류를 실시간 관측하는 목적으로 개발되었다. HRF(Heidelberg retina flowmeter)는 망막 혈류를 관찰하고 속도를 측정하는 기능을 가지고 있다. RTA(retinal thickness analyzer)는 2차원으로 망막 두께를 측정하는 도구이며 황반부 부종 및 녹내장 진단에 이용할 수 있다. OCT(optical coherence tomography)는 망막단층촬영을 위한 새로운 개념의 영상장치이며, 황반부 부종, 녹내장, 당뇨병성 망막증 등을 진단하는데 유용하다.

치료용 레이저 시스템도 대표적인 안광학기기이다. Nd:YAG 레이저는 후발성 백내장, 녹내장 치료와 초자체 절제술에 사용하며 Q-스윗칭 Nd:YAG는 멜라닌 색소만 선택적으로 파괴하여 안압을 감소시킴으로써 녹내장 진행을 지연시킬 수 있다. 다이오드 펌핑 Nd:YAG 레이저(532 nm)는 망막 및 황반부 주변부 치료에 탁월하며 아르곤 이온 레이저는 증식성 당뇨병성 망막증, 정맥 폐쇄 등에서 광응고술을 시행할 때 사용한다. 탄산가스 레이저는 백내장, 녹내장, 망막 치료용으로 사용한다. 엑시머 레이저는 굴절교정을 위한 각막 연마에 사용되고 있다.

4. 주요 안광학 진단기기의 계측 원리

최근에 연구되고 있거나 상품화되어 있는 대표적인 안광학 진단기기의 구조, 동작특성, 계측원리 등을 알아보기로 한다. 굴절력 측정기와 각막지형도 계측기는 오래 전에 개발되었으나, 안과 또는 안경점의 기본 장비이기에 내용에 포함시켰다.

4.1 굴절력 측정기

굴절력 측정기¹⁾는 그림 3과 같이 광원(LED)을 가는 빔으로 전환시켜 눈으로 입사시킨다. 눈으로 입사된 빛은 망막에 집속된다. 그 중 일부가 반사되어 안구 외부로 진행하여 광속분할기를 지나 구경조리개(aperture)로 향한다. 빛의 일부가 각각 조리개를 투과하여 프리즘에서 외격으로 굴절되고, 프리즘을 지난 빛살은 CCD 카메라에 포착되어 상점배열을 형성한다. 프리즘은 빛살 사이의 간격을 충분히 넓혀주기 위해 사용한다. 일반적으로 6개의 구경조리개배열을 사용하여 파면의 곡률을 분석한다. 정시이면 각막주점에서 평면파, 원시이면 발산하는 파면, 근시이면 수렴하는 파면이 된다. 그림 3 (a)는 정시, (b)는 원시, (c)는 근시에 대한 6개 상점배열을 도식한 것이며, 이 6개 상점들이 형성하고 있는 원의 곡률반경을 계산하면 굴절력을 산출할 수 있다. 난시인 경우, 그림 (d)와 같이 타원형으로 상점들이 배열하며 장축과 단축의 비는 난시도수를, 축 방향은 난시축에 대한 정보를 제공한다.

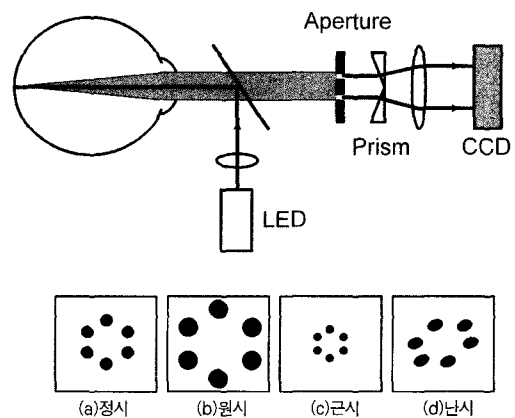
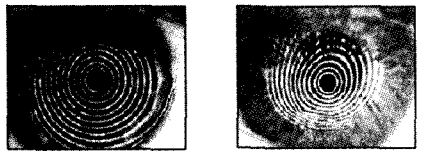
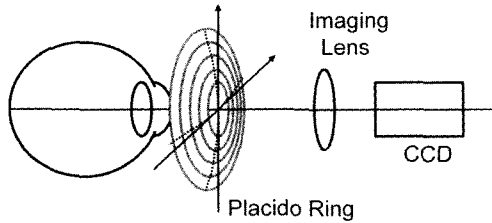


그림 3. 굴절력 측정기



(a) 정상 각막의 ring 이미지 (b) 원추각막 환자의 ring 이미지

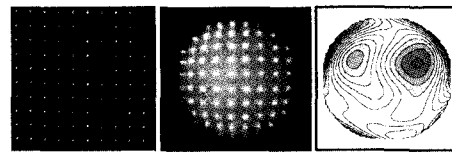
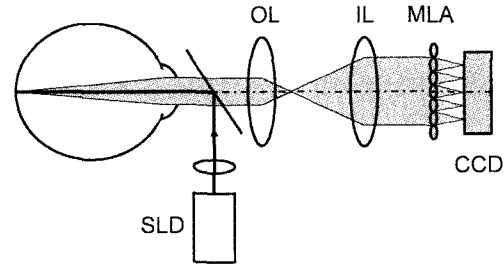
그림 4. 각막지형 계측기

4.2 각막지형 계측기

각막지형도 계측기는 각막의 곡률, 편심률, 굴절력 등을 측정하기 위해 사용하는 장비이다.^[2] 그림 4는 Placido ring 시스템의 개략도이다. 구형의 디스크에는 동심원 광원(Placido ring)이 배열되어 있어서 이 곳에서 출발한 빛이 각막으로부터 반사되고, 각막 반사광 이미지는 CCD 카메라에 포착된다. 삽입사진 (a)는 정상 각막의 ring 이미지이며, (b)는 원추각막 환자의 ring 이미지이다. Ring의 배열 상태를 분석하여 각막 표면의 곡률 및 위치에 따른 곡률의 변형 등을 계산하고 최종적으로 기준면에 대한 각막 표면의 상대적인 높이, 즉 각막지형도를 작성한다.

4.3 검안용 파면분석기

그림 5의 검안용 파면분석기^[3,6]는 광학계 기본구조와 굴절력 산출원리에 있어서 굴절력 측정기(검안기)와 유사하다. 다만 6점 구경조리개와 프리즘을 대신하여 많게는 수백 개의 미소렌즈들로 구성된 미소렌즈배열(microlens array, MLA)을 사용하는 것이 차이점이다. 상점이 많을수록 계산오차를 줄일수 있고, 위치에 따른 굴절력 분포를 세밀하게 산출할 수 있기 때문이다. 파면분석기는 이미 오래 전에 적응광학 천체망원경, 레이저빔 제어장치, 그리고 광학계 평가 시스템에서 사용되어 왔으나 레이저 굴절교



(a) 기준 상점 (b) 안구의 상점 (c) 굴절력

그림 5. 검안용 파면분석기

정각막교정수술에서의 활용과 같이 안과 임상에서 이용된 것은 그리 오래되지 않았다.

미소렌즈의 구경이 작기 때문에 망막 반사광의 스펙클 영향을 많이 받는다. 따라서 간섭성이 낮으면서 집속 특성이 우수한 SLD를 광원으로 사용한다. 대물렌즈(OL)와 결상렌즈(IL)는 각막 주점과 MLA가, 망막과 CCD 카메라가 서로 공액관계가 되도록 배치된다. 이로써 각막 주점에서의 파면은 MLA 위에, 망막 위의 광점은 CCD 카메라에 전달된다. 다만, 안구마다 굴절력이 다르기 때문에 망막과 CCD 카메라의 공액관계를 유지시키기 위해서는 IL, MLA, CCD 카메라 시스템의 위치를 조정해야 하며, 망막에 작은 광점을 형성시키기 위해 광원의 위치도 조정해야 한다.

그림 5의 (a)는 기준 상점이며, (b)는 안구의 상점이다. 기준 상점에 대해 안구 상점의 편이를 산출하고 이를 근거로 굴절력을 계산하게 되며, 계산결과의 예를 그림 (c)에 나타내었다. 정상적인 근시 또는 원시인 경우 동심원 지형도를 나타내지만, 난시 또는 고위수차가 발생한 경우에는 대칭이 깨진다. 그림 6 (a)는 파면분석기로 굴절력을 측정하는 장면이며, (b)는 근시와 난시를 나타내는 굴절력의 전체 지형도(좌상), 구면수차와 trefoil이 우세하게 나타난 고위수차 지형도(좌하), 점퍼집합수(우상), 그리고 수차계 수분포(우하)를 보여주는 결과 화면이다.

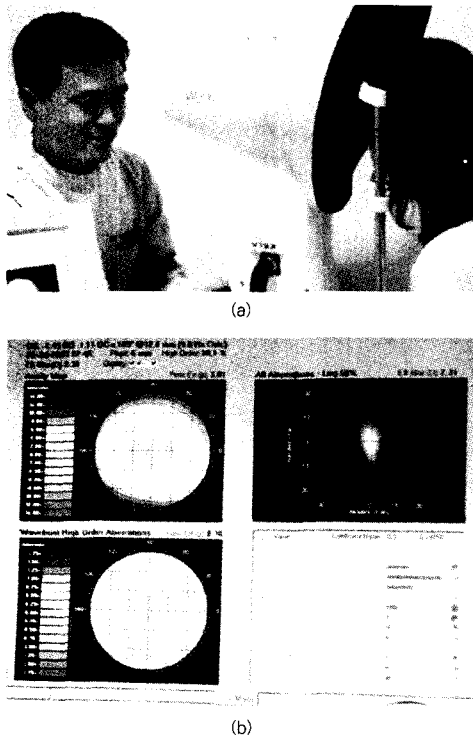


그림 6. 측정 장면(a)과 측정 결과(b). (자료제공: 강남밝은세상안과)

4.4 적응광학 안저촬영기

파면분석기를 이용하여 그림 7과 같이 정밀한 안저촬영기를 구성할 수 있다.^[7-8] 파면수차를 측정하기 위한 레이저와 망막을 조명하기 위한 비간섭성 광원 2가지를 사용하고 있다. 레이저빔은 검안용 파면분석기처럼 망막에 집속되고, 이 광점에서 발생한 구면파가 안구 밖으로 진행하면서 안구 구성물질에 의해 왜곡되기 시작한다. 각막을 통과한 파면은 광학계와 변형거울(deformable mirror)을 지나서 파면분석기(WS)에 도달한다. 이제 파면분석기는 왜곡된 파면을 검출하고 분석하여 변형거울을 변형시키기 위한 자료를 작성한다. 변형거울 조정 시스템은 이 자료를 받아서 거울 표면을 변형시켜 왜곡된 입사 파면을 준평면파로 보정하게 된다. 결과적으로 안저카메라에서는 안구와 변형거울 쌍이 정상안으로 인식되고, 분해능이 우수한 망막 영상이 촬영되는 것이다. 삽입사진 왼쪽은 적응광학 기능이 없을 때의 망막 영상이며, 오른쪽은 적응광학기능을 적용하여 얻은 선명한 망막 영상이다.

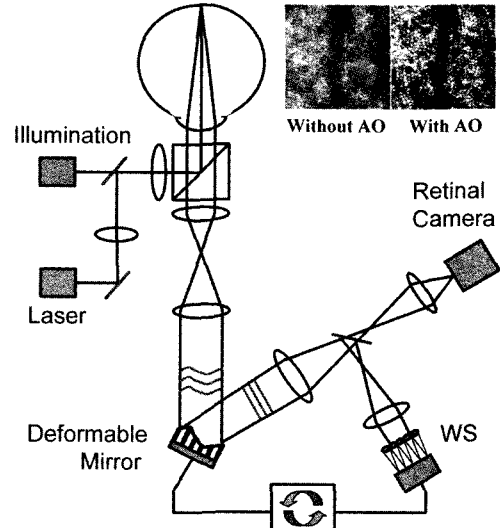


그림 7. 적응광학 안저촬영기

4.5 SLO

초기에 TV 카메라로 실시간 망막 촬영이 시도되었으나, 간편한 구조와 사용의 편리성에도 불구하고 영상의 질이 좋지 않았기 때문에, Webb 등에 의해 SLO가 연구되기 시작하였다.^[9-10] 레이저빔은 직진성과 집속성이 좋아서 높은 공간분해능을 얻을 수 있는 광원이다. 그림 8과 같이 레이저빔은 주기적으로 두 방향으로 편향되면서 망막을 주사하게 된다. 고속의 수평 방향 주사는 회전 polygon 거울로 수행되며, 저속의 수직 방향 주사는 galvanometer 거울에 의해 수행된다.

망막에서 반사된 광은 레이저빔의 진행 방향과 반대 방향으로 진행하여 광검출기로 입사된다. 이 광신호들은 모니터에서 2차원 망막영상을 재현해 준다. 공간분해능은 망막에 맺힌 레이저빔의 크기로 결정되며, ~10 μm의 공간분해능을 기대할 수 있다. 광학계 구조가 복잡하고 각 구동 장치와 신호를 동기 시키는 고난이도의 제작기술을 요하는 단점이 있지만, 비디오 속도만큼 측정시간이 빠르고, 주사방식이기 때문에 고감도 광검출기를 사용할 수 있어서 안구 입사광 세기를 극히 약하게 할 수 있으며, 동공을 확장할 필요가 없는 레이저빔 주사방식을 채택한 것이 SLO의 큰 장점이다.

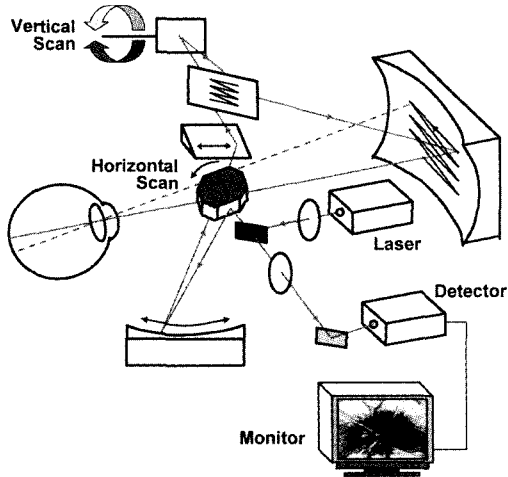


그림 8. Scanning laser ophthalmoscope (SLO)

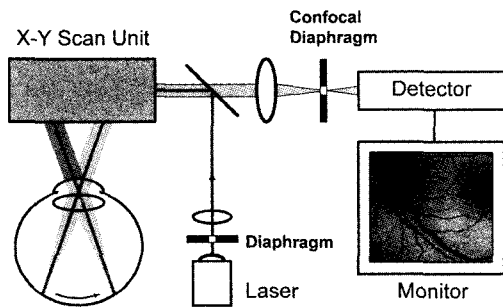


그림 9. Confocal scanning laser ophthalmoscope (cSLO)

SLO의 공간분해능을 극대화하기 위해서는 레이저빔이 망막에 회절한계로 집속되고, 망막에서 발생한 구면과파 파면수차 없이 안구 밖으로 진행하는 것이 필요하다. 그러나 안구 자체가 파면수차를 발생시키는 불완전한 매질이므로 자연 상태에서는 그와 같은 환경을 기대할 수 없다. 이에 파면분석기와 변형거울을 사용한 적응광학계를 사용하여 분해능을 극대화한 AOSLO의 연구 결과가 발표된 바 있다.⁽¹¹⁾

4.5 cSLO

cSLO는 기본구조와 작동원리에 있어서 SLO와 같으나, 그림 9와 같이 광원에 구경이 작은 핀홀 다이아프램을 놓

고 광검출기 앞에 있는 공액점에 공초점 다이아프램을 위치시킨 것이 근본적으로 다른 점이다.⁽¹²⁾ 공초점을 사용하면 횡분해능은 회절한계 일반 광학계의 분해능과 같지만, 깊이 방향의 종분해능이 향상되어 선명한 영상을 얻을 수 있다. 초점 밖에서 발생한 반사광 또는 산란광들은 공초점 다이아프램 앞에 집속되지 않기 때문에 광검출기로 입사하는 양이 제한되어 신호대 잡음비가 향상되는 것이다. 공간 및 시간분해 촬영이 가능하여 단층촬영을 할 수 있다. 이 cSLO를 응용하여 다음에 소개할 망막지형 계측기가 개발되었다.

4.6 망막지형 계측기

cSLO의 동작원리를 사용하여 독일에서 개발한 것으로 망막표면의 지형을 계측하기 위해 개발되었다.⁽¹³⁻¹⁴⁾ 특히 cup/disc 면적비를 제공하는 시신경유두 지형도는 녹내장의 조기진단과 예후를 평가하는데 있어서 매우 중요한 정보가 된다. 그림 10 (a)는 공초점 주사 광학계를 보여주고 있다. 먼저 x-y 방향으로 한 장의 이미지를 잡은 후, z 방향으로 초점면을 이동시켜 다시 한 장의 이미지를 수집한다. 이어서 이와 같은 과정을 반복하여 그림 10 (b)와 같이 계획된 양만큼 일련의 평면 이미지를 수집한다.

수집된 영상으로부터 주어진 픽셀 위치 (x, y)에서 z-profile을 분석하여, 광세기가 최대값이 되는 위치 Z_c 를 결정한다. 망막 표면에서 반사광 세기가 가장 강하므로 Z_c 는 주어진 (x, y) 좌표에서 기준면에 대한 망막면의 높이가 된다. 그림 11 (a)는 시신경 유두를 중심으로 망막 깊이 방향으로 주사하면서 얻은 일련의 연속 영상이며, (b)는 이들 영상을 분석하여 재현한 전형적인 망막지형도이다. 그림 (c)는 66세 환자의 시신경 관찰 영상으로 cup/disc 면적비가 0.629이어서 녹내장이 의심되는 경우이다. 개발 회사⁽¹⁴⁾에서는 이 장치를 HRT라고 명명하였다.

HRT와 유사한 광학계 구조를 가지고 있으나, 혈관조영 촬영을 목적으로 개발된 것이 HRA이며, 혈류속도를 측정하는 장비는 HRF이다. 레이저빔이 혈관 내부에 입사하여 혈액 구성 물질에 의해 산란되면, 혈류에 의한 도플러 효과가 발생하여 산란광의 주파수가 편이된다. 주파수가 편이된 산란광과 기준광이 간섭되면 맥놀이 신호가 발생하고, 이 신호의 주파수를 검출하면 혈류속도를 산출할 수 있다. HRF에서는 유동이 없는 혈관 주변의 조직에서 산

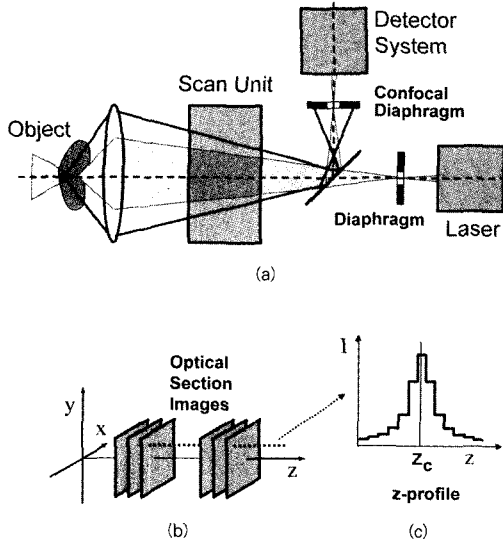


그림 10. Heidelberg retina tomograph (HRT)

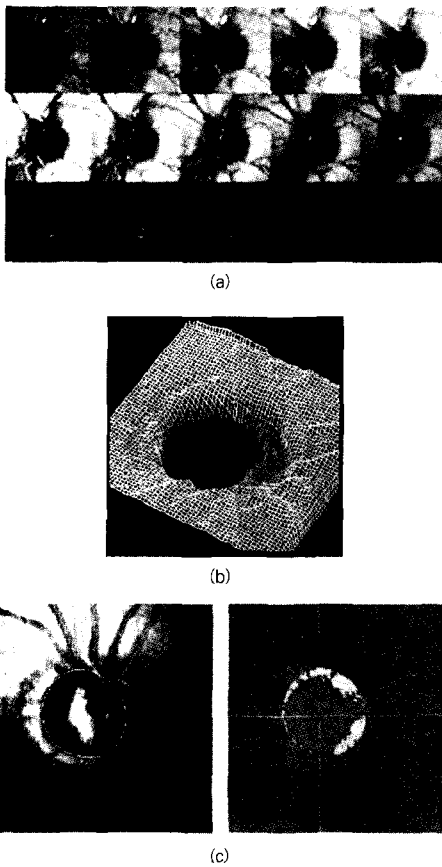


그림 11. HRT로 관측한 시신경 유두 (자료제공: 연세대 의대)

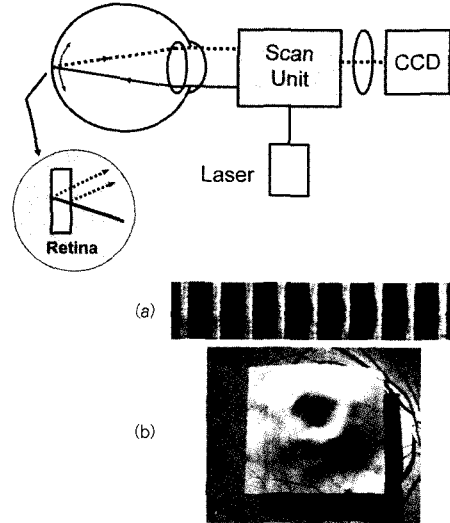


그림 12. Retinal thickness analyzer (RTA)

란된 광을 기준광으로 이용하고 있다. 2차원 주사장치를 사용하여 망막의 혈류속도 지형도를 작성할 수 있다.

4.7 망막두께 분석기

그림 12는 망막두께 분석기 RTA를 설명하기 위한 개략도이다.⁽¹⁶⁾ 이 장치의 계측원리는 책 옆면을 비스듬히 보는 상태를 연상하면 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 레이저빔이 주사장치를 거쳐 안구로 입사하여 망막을 비추게 된다. 이때 이미 레이저빔은 얇고 넓은 싹빔으로 전환되어 있다. 싹빔은 동공의 한쪽을 지나 망막으로 비스듬히 진행하여 망막 앞면의 신경섬유층과 뒷면 epithelium에서 각각 반사된다. 반사광은 안구와 주사장치를 지나서 CCD 카메라로 입사되어 결상된다. 싹빔을 망막의 한 쪽 방향으로 주사하면서 연속 촬영하여 위치에 따른 영상 데이터를 수집한다. 그림 12 (a)는 그 한 예를 보여주고 있다. 사진의 흰색 띠가 망막 단면 이미지이며, 이 띠의 두께를 계산하여 그림 12 (b)와 같은 망막두께 지형도를 구성하게 된다.

4.8 OCT

OCT는 빛의 간섭성을 이용한 대표적인 계측기이며, 계측원리는 마이켈슨 간섭계를 이용한 거리 측정 방법과 근

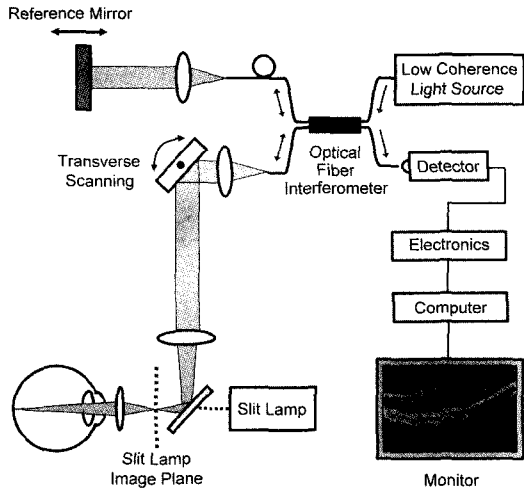


그림 13. Optical coherence tomography (OCT)

본적으로 동일하다.^[16-17] 공간분해능을 높이기 위해서 선폭이 넓은 광원을 사용하며, 광원에서 출발한 광은 광섬유 간섭계를 지나 각각 기준거울과 안구로 향한다. 기준거울에서 반사된 광과 안구에서 반사된 광은 각각 광섬유 간섭계를 지나 광검출기로 입사하며, 광세기는 두 광 사이의 광로차에 의해 결정된다. 즉 광로차가 0이면 보강간섭이 발생하여 광검출기로의 입사광 강도가 가장 크고, 광로차가 증가하여 가간섭 거리 이상이 되면 단지 두 광의 세기를 합한 광세기가 된다.

안구로 입사되는 광의 위치가 고정되어 있을 때, 기준거울이 이동하는 동안 광검출기에서 발생하는 일련의 신호는 안구의 깊이 방향에서 발생하는 반사광 또는 후방 산란광 세기 정보를 제공하며, 궁극적으로 깊이에 따라 분포하고 있는 서로 다른 구성물질들을 인식하게 한다. 왜냐하면 구성물질에 따라서 반사광 또는 후방 산란광 세기가 서로 다르기 때문이다. 주사장치를 사용하여 광이 도달하는 위치를 이동시키면서 측정하여 그림 13의 'monitor'에 있는 그림과 같은 망막의 단층 이미지를 얻을 수 있다. 측정되는 망막 위치를 지정하고 확인하기 위해서 슬릿등(slit lamp)이 설치되어 있다. 최근에는 적응광학계를 채용한 OCT,^[18] 3차원 OCT가 제안되고 있다.^[19]

그림 14는 한 환자의 (a) FAG, (b) ICG, (c) OCT 영상

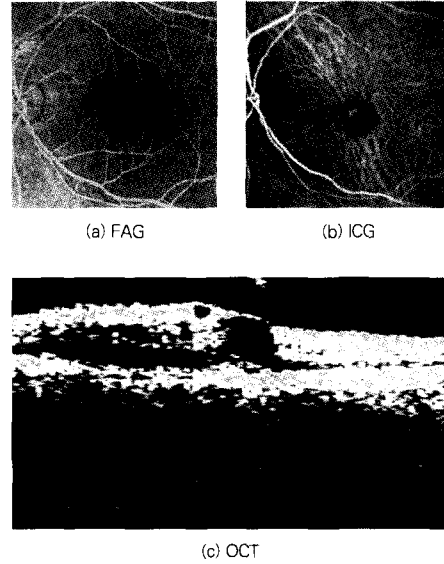


그림 14. OCT로 관측한 망막. (자료제공: 연세대 의대)

을 비교하기 위해 제시한 것이다. 환자는 65세의 노인성 황반 변성 환자이며, FAG 영상에서 망막 출혈의 소견을 보이는 검은 등근 부분이 나타나고 있다. ICG는 FAG에서 관찰하기 어려운 혈액 밑의 혈관 상태를 보는 것이다. 원형의 까만 무늬 중앙에 작은 흰색 부분이 보이며, 이것은 출혈을 일으킨 신생 혈관의 영상이다. OCT에서는 두 개의 밝은 층이 보이는데 위에 보이는 층이 망막이고 아래 보이는 것은 맥락막이다. 망막과 맥락막 사이의 까만 공간은 출혈이 발생한 부분이다.

5. 결론

안광학기기의 종류와 적용 범위가 워낙 방대하기 때문에 지면 관계상 모두 다룰 수 없었다. 아쉬운대로 대표적인 안광학기기의 사용 용도를 간략히 소개하고 고급 광기기를 사용한 최신 안광학기기의 계측 원리를 알아 보았다. 앞으로는 이들 장비가 임상학적으로 어떤 가치와 의미를 가지고 있는지 함께 논의하는 것이 필요하다는 생각이 들었다. 또한 광기기술 전문가들이 안광학기기 개발 연구를 하기 위해서는 관련 전문 의료진들의 관심과 협력이 필요할 것이다

참고문헌

- (1) 고동섭, "검안기 광학계의 성능 평가 시스템 개발", 휴비츠 연구보고서, 2001.
- (2) 정광영, 이한철, 이종재, 손진욱, 권혁제, 김현수, 김동윤, 고동섭, "Placido ring을 이용한 corneal topographer의 원리와 응용", 제 4 회 시각 및 의광학 워크샵, 5. 30, 연세대학교(원주), 2003.
- (3) 고동섭, 김태순, "안구 진단용 Shack-Hartmann 파면분석기 연구", 휴비츠 연구보고서, 2002.
- (4) J. Liang, B. Grimm, S. Goelz and J. F. Bille, J. Opt. Soc. Am. A 11, 1949 (1994).
- (5) L. N. Thibos, J. Refract. Surg. 16, S563 (2000).
- (6) J. Porter, A. Guirao, I. G. Cox and D. R. Williams, J. Opt. Soc. Am. A 18, 1793 (2001).
- (7) J. Liang, D. R. Williams and D. T. Miller, J. Opt. Soc. Am. A 14, 2884 (1997).
- (8) http://cfao.ucolick.org/presentations/springretreat2003/SR03_Roorda_RI.pdf.
- (9) R. H. Webb, G. W. Hughers and O. Pomerantzeff, Appl. Opt. 19, 2991 (1980).
- (10) R. H. Webb and G. W. Hughers, IEEE Trans. Biomed. Eng. 28, 488 (1981).
- (11) A. Roorda, F. Romero-Borja, W. J. Donnelly III, H. Queener, T. J. Hebert and M. C. W. Campbell, Opt. Express 10, 405 (2002).
- (12) R. H. Webb, G. W. Hughes and F. C. Delori, Appl. Opt. 26, 1492 (1987).
- (13) D. Grgie, A. Pentz and Z. Mandic, Acta. Clin. Croat. 41 (Suppl. 4), 33 (2002).
- (14) <http://www.heidelbergengineering.com>.
- (15) http://www.talia.com/site/home_page/main.asp.
- (16) E. A. Swanson, J. A. Izatt, M. R. Hee, D. Huang, C. P. Lin, J. S. Schuman, C. A. Puliafito and J. G. Fujimoto, Opt. Lett. 18, 1864 (1993).
- (17) <http://www.meditec.zeiss.de>.
- (18) http://cfao.ucolick.org/presentations/springretreat2003/SR03_Miller_OCT.pdf.
- (19) A. Gh. Podoleanu, J. A. Rogers D. A. Jackson and S. Dunne, Opt. Express 7, 292 (2000).

약 력

고동섭



1984, 연세대학교 물리학과 이학사
 1986, 연세대학교 물리학과 이학석사
 1990, 연세대학교 물리학과 이학박사 (광학)
 1995-1996, 하이델베르크 대학교 연구원
 1990-현재, 목원대학교 교수
 e-mail : dsko@mokwon.ac.kr

권혁제



1989, 연세대학교 전기공학과 공학사
 1991, 연세대학교 전기공학과 공학석사
 1995, 연세대학교 전기공학과 공학박사 (의용계측제어)
 1995-1999, LG신전 중앙연구소 PLC연구실 책임연구원
 1999-현재, (주)휴비츠 CTO
 e-mail : hjkwon@huvitz.com

유용성



1993, 연세대학교 의과대학 의학사
 1997, 연세대학교 대학원 의학석사
 2003, 연세대학교 대학원 의학박사
 1998-1999, 국군원주병원 안과과장
 1999-2000, 위생병원 안과과장
 1999-2001, 한림대학교 성심병원 안과 전임강사
 2000-2001, 의료보험공단병원 안과전문의
 2001-2002, 연세대학교 의과대학 안과학교실 강사
 현재, 서울 강남 ALC 안과 원장
 e-mail : alceye@hanmail.net

김찬윤



1990, 연세대학교 의과대학 의학사
 1993, 연세대학교 대학원 의학석사
 2000, 연세대학교 대학원 의학박사
 1995-1997, 국군철정병원 안과과장
 1997-1998, 국군대전통합병원 안과과장
 1998-1999, 연세대학교 의과대학 안과학교실 강사
 1999-2001, 한림대학교 성심병원 안과 전임강사
 2001-현재, 연세대학교 안과학교실 조교수
 e-mail : kcyeye@yumc.yonsei.ac.kr