

조영제 없이 X선으로 미세혈관 촬영

글_ 제정호 포항공과대학교 신소재공학과 교수 jhje@postech.ac.kr

우 리 몸의 많은 질환들은 혈관과 매우 밀접한 관련이 있다. 예를 들어 심장의 관상 동맥이 막히면 심장을 움직이는 근육에 산소공급을 원활히 해 주지 못하여 근육이 경색되고 심장이 멈추어 결국 사망에 이르게 된다. 또한 뇌혈관이 갑작스런 파열이나 막힘으로 혈류가 차단되면 혈액에 의하여 공급되는 산소 농도의 감소로 뇌세포가 죽게 되어 사망에까지 이를 수 있다. 그리고 인류에게 가장 무서운 질병의 원인이 되는 암도 혈관을 통해 영양분과 산소를 공급받아 비대하게 성장을 하여 인간을 죽음에 이르게 하고 있다. 암 조직이 성장하는 곳에는 반드시 혈관의 생식이 수반되고 있다. 이와 같이 혈관은 사람에게 매우 중요하기 때문에 현대 의학에서는 혈관의 상태나 혈관의 성장을 관찰하는 것이 매우 중요하다.

조영제는 X선 '흡수차이' 효과 위한 것

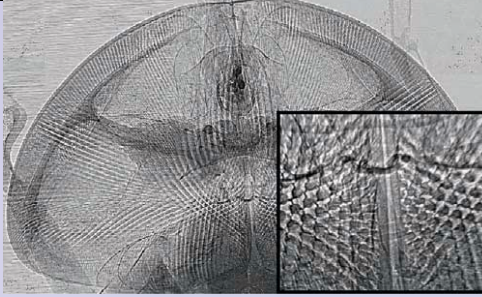
생명체가 살아 있는 상태에서 혈관을 촬영하는 기술은 조영제(contrast dye)를 넣고 CT 혹은 MRI를 사용해서 촬영하는 것이다. 그러나 이러한 방법들은 해상력이 낮아 미세혈관을 보기가 매우 어렵고, 제한된 부위의 혈관만을 검사할 수 있다. 또 다른 문제는 조영제 사용 자체가 위급한 환자에게는 위험의 요소가 될 수 있다는 점이다.

그러면 X선을 이용한 혈관 촬영에 왜 조영제가 필요한 것일까? X선 촬영기술은 기본적으로 X선 흡수 차이를 이용한다. X선 흡수를 많이 하는 조직과 적게 하는 조직이 있다면, X선을 통과시킬 때 흡수하는 정도에 차이가 나게 되므로 그 조직

을 구별해 낼 수 있는 것이다. 이 때 몸조직 중 X선의 흡수가 크게 차이 나는 조직간에는 조영제가 필요 없다. 그러나 혈관과 같이 X선 흡수를 많이 하지 않는 조직은 혈관이나 다른 조직 사이에 X선 흡수 차이효과가 거의 없기 때문에 X선 촬영으로 그 조직을 구별하는 것이 매우 힘들다. 따라서 X선 흡수차이 효과를 높이기 위해서 혈관 속으로 X선 흡수를 많이 하는 조영제를 삽입하여 혈관과 기타 조직과를 구별해 내는 것이다.

여기에 한 가지 놀라운 사실이 있다. 뮌트겐이 X선을 발견한 이후 100년 이상 인류는 X선 촬영 기술을 사용해 왔다. 그러나 지금까지의 X선 촬영 기술은 X선이 물질과 상호 작용할 때 일어나는 여러 가지 현상 중, '흡수'라는 한 가지 현상만을 이용했다는 점이다. 실제에 있어서는 X선이 물질 내로 들어가게 되면 '흡수' 현상만 일어나는 것이 아니라 물질과 상호 작용하여 '회절'이나 '굴절'도 함께 일어난다. 만일 X선이 물질내 조직과 '회절' 혹은 '굴절'이 일어나는 현상을 관찰할 수 있다면, 이로부터 거꾸로 물질내 조직이 어떻게 구성되어 있는지를 규명해 낼 수 있는 것이다. 이러한 기술은 X선의 '위상차이' (phase contrast)를 이용하는 것이다.

이 방법은 몇 가지 장점이 있다. 첫째는 X선의 '흡수'가 비교적 작은 인체 조직을 관찰하는데 커다란 장점이 된다. 인체 조직의 구분을 X선 흡수에 의존하지 않고 X선과 인체 조직과의 굴절 혹은 회절에 의존하기 때문이다. 더 이상 X선 흡수 원리를 이용할 필요가 없기 때문에 그 결과 조영제



〈그림 1〉 파리머리의 눈조직

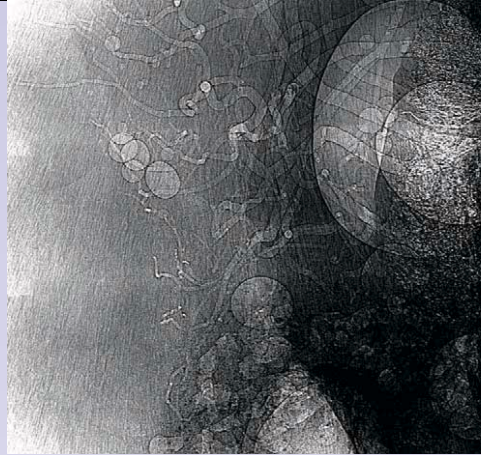
가 필요하지 않게 된다. 두 번째 장점은 고배율 관찰이 가능하다는 점이다. 이는 사용하는 X선의 파장이 0.1nm 내외로 매우 짧기 때문에 이론적으로는 나노미터의 조직까지 관찰이 가능한 것이다.

방사광 X선의 '위상차' 원리 이용

그러면 오랜 세월 동안 왜 이 위상차 원리를 이용하여 X선 촬영을 하지 못한 것일까? 그 근본 원인은 X선 광원에 있다. 일반 X선 발생기에서는 광원에서 X선이 발생할 때 X선 photon의 위상이나 진행 방향이 무질서하다. 이러한 X선은 인체 내부 조직과 상호 작용하더라도 굴절 혹은 회절 후 소멸간섭을 일으키기 때문에 결국 아무런 정보도 주지 못한다. 결국 위상차 원리를 이용하기 위해서는 위상이 동일한 X선 광원이 필요한 것이다. 위상이 (비교적 상당히) 동일한 X선 광원 중의 하나가 바로 방사광 X선이다. 방사광 X선 광원의 등장으로 드디어 위상차 원리를 이용한 X선 촬영 기술이 개발된 것이다.

〈그림 1〉은 X선 위상차 원리를 이용하여 촬영한 파리머리의 눈조직을 보여 준다. 파리머리 부분은 X선 흡수 차이 효과가 매우 미미하기 때문에 일반 X선 광원으로는 그 미세 조직을 관찰하기가 매우 힘들다. 그러나 방사광 X선을 이용하게 되면 〈그림 1〉에서 보는 것처럼, 머리 부위에 있는 수많은 눈조직들을 매우 선명하게 관찰할 수 있다. 각눈의 경계가 뚜렷하게 관찰되는 것은 바로 '위상차' 효과 때문이다.

〈그림 2〉(4mm×4mm)는 방사광 X선을 이용하여 조영제 없이 촬영한 쥐의 다리 내부의 조직을 보여준다. 많은 미세 혈관을 매우 선명하게 관찰할 수 있다. 30 μ m 이하의 미세 혈관까지도 관찰이 되



〈그림 2〉 쥐의 다리 내부의 조직

고 있다. 조영제가 없이도 관찰이 가능한 이유는 혈관 경계막에서 X선의 회절 및 굴절이 일어나서 X선의 간섭효과가 나타나 위상차이를 일으켰기 때문이다.

본연구팀에서는 한국-스위스-대만과 국제공 컨소시엄을 구성하여 포항방사광 가속기에 '국제 컨소시엄 X-ray Microscopy 빔라인'을 건설하여 운영하고 있다. 외국 다른 연구팀과 구별되는 특징은 생체 내부의 조직을 동영상으로 촬영하는 기술을 보유하고 있는 점이다. 여기에는 시간해상도(한 장면 촬영하는데 소요되는 시간)를 1천분의 1초 이하로 매우 단축한 것과 X선 검출 감도를 크게 향상시킨 기술이 바탕이 되고 있다.

향후 심장 동맥 혈관의 노화 메커니즘, 암세포의 성장 메커니즘, 암세포 극초기 진단 방법, 암세포 침단 치료 방법 등에 이 기술이 응용될 수 있을 것으로 전망한다. 다른 한편으로 방사광 X선은 국가적 거대시설이기 때문에 사용횟수나 장소에 제한을 받을 수밖에 없다. 따라서 앞으로 방사광 X선이 아닌, 소형의 특수 X선 발생장치 개발 연구와 이 기술이 접목된다면, 기존의 MRI나 CT보다 성능이 훨씬 뛰어난, 각병원에서 사용이 가능한 새로운 개념의 고정밀 진단 및 치료 설비가 개발될 것으로 기대한다. ④



글쓴이는 연세대학교 졸업, KAIST에서 박사학위를 받은 후 서독원자력연구소, 미국엑손연구소, 미국 아르곤연구소를 거쳤고, 한국-스위스 우수과학자상을 수상했다.