

방사선의 생물학적 인체 영향



이 수 용
원자력의학원 원장

알 수 없는 X선

방사선이 인체에 미치는 영향에 대한 인간의 의문점은 뢰트겐이 1885년 X선을 발견하여 이를 Magic Ray라 부르기 시작한 이후부터 계속된 문제점이고 이는 그동안의 의학 및 생물학의 경이로운 발전에도 불구하고 아직까지도 해결되지 않은 영역이라 생각한다. 방사선은 물질을 투과할 수 있는 광선과 같은 높은 에너지의 전자파로서 알파(α)선, 베타(β)선, 감마(γ)선 등이 있다. α 선의 본체는 헬륨의 원자핵으로 에너지는 강하나 무겁기 때문에 이동거리가 짧고 종이 한장으로라도 차폐가 가능하다. 본체가 전자인 β 선은 알루미늄으로 차단이 가능하다. γ 선(X선 포함)은 방사성 물질이 알파선이나 베타선을 내고 붕괴한 뒤 안정된 에너지 상태로 돌아올 때 방출되며 투과력이 가장 크다. 위해성 크기가 외부에서는, $\gamma > \beta > \alpha$ 순이나 음식 등을 통해 인체에 침투하는 경우 α 선이 큰 피해를 유발할 수 있다.

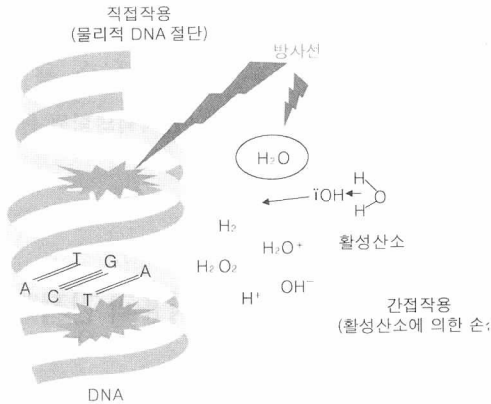
인체 영향 기전 (직접작용과 간접작용)

인체가 방사선에 노출된다는 것은 방사선이 원자(물질을 구성하는 기본단위)에 작용하여 직접 또는 간접으로 전리(이온화)시키는 일을 한다는 것이다.

방사선에 의하여 세포 내에서 생성된 전기런 전자가 DNA분자의 사슬을 이루는 결합에 충격을 주면 사슬의 절단이 발생하고 이는 세포의 생명과 기능에 결정적 역할을 하는 DNA분자의 손상이 된다. 이렇게 방사선이 물리적 작용에 의해 DNA를 공격하고 손상시키는 것을 방사선의 직접작용(Direct Effect)이라고 부른다.

한편으로는 인체의 대부분이 물(H_2O)로 구성되어 있고 대개 방사선이 1차적으로 발생시키는 부산물은 전자(e^-), 물분자 이온(H_2O^+), 물분자(H_2O^*)가 있지만 이러한 인자들의 상호작용에 의해 다양한 형태의 수화전자($e-aq$), 수소기(H), 수산화기(OH), 수소가스(H_2), H_3O^+ 등의 기단이 형성하고 이러한 기단은 1천분의

1초 후에는 DNA분자와 화학반응을 한다. 이와 같이 방사선에 의해 생성된 화학적 부산물(활성산소, Reactive Oxygen Species)이 DNA를 공격하여 손상을 입히는 경우를 간접작용이라 표현된다.



방사선의 인체영향 기전

활성산소란 ?

활성산소는 최근에 들어 암을 비롯한 노화, 당뇨병, 심장병, 관절염등 다양한 질환의 원인 물질중 하나로 알려져 있다. 따라서 방사선의 인체영향을 규명하기 위해서는 이 대표적인 두가지 기전을 정확히 규명하여야 될 것으로 생각된다. 불행히도 아직까지 이에 대한 정확한 해답은 없는 실정이다. 하지만 인체영향을 해명하기 위해서는 방사선 그 자체가 생명에 어떻게 작용하는 것인지 기전을 분명하게 할 필요가 있으며, 유전자도입기술, 암 관련 유전자의 해석기술, 세포내 신호전달체계규명, 염색체불 안정성의 기전등 분자생물학적 방법

및 지식을 도입하여 기초적 연구를 하고 있으며 나아가 세포에서 개체까지, 유전자 변이동물등을 이용한 여러 종류의 실험계통을 이용하여 방사선영향의 선량-효과관계, 수식인자 등 실험적 연구를 실시하고, 그러한 실험결과 의 실증으로서 방사선피폭자집단에 대한 건강영향의 실태파악에 관한 조사연구 등이 진행 하고 있다.

방사선노출에 의한 질환

인체의 DNA를 손상하는 것은 방사선에 의해서만은 아니다. 비전리 방사선인 자외선, 마이크로웨이브와 같은 전자파에 의해서도 손상될 수도 있고 가장 용이하게는 우리가 상시로 섭취하고 흡입하는 음식물이나 공기 중의 여러 가지 화학물질이 DNA를 손상시킬 수 있다. 이러한 DNA 손상은 심각한 정도가 아니면 대부분 복구가 되지만 손상된 DNA가 잘못 복구되거나 손상이 복구되기도 전에 DNA 복제가 일어난다면 복제된 DNA는 역시 비정상적인 것이 되고 이러한 돌연변이의 생성은 기형이나 암과 같은 질병을 유발하는 것으로 알려져 있다. 방사선 연구에 몰두했던 마리 큐리 및 그의 딸 이렌즈가 백혈병으로 사망한 예에서 방사선의 발암성은 이미 확인되었고 히로시마/나가사키 원폭 피해자 및 체르노빌 원자력발전소 사고 피해자등에서 확실하게 나타났듯이 방사선은 초기의 백혈병 및 갑상선암뿐 아니라 유방암, 폐암, 난소암등 각종 고형암의 발생 또한 증가하는 것으로 역학조사결과 판명되었다.

발병 기전 규명

그러나 이러한 역학조사에서의 나온 확실한 방사선의 발암성은 과학적 실험에서는 그 특성을 규명할 수 없었는데 최근의 분자생물학적 기술의 발달로 방사선에 의해 유발된 암과 다른 원인(화학적 발암물질 및 바이러스)에 의해 유도된 암과의 유전자 및 단백질 수준에서의 차이점에 대한 연구가 진행 중에 있어 향후 곧 암의 원인이 방사선에 의한 것인지 아니면 다른 원인에 의한 것이지를 진단할 수 있는 날이 곧 올 것이라 확신한다.

돌연변이 세포가 암세포로 발전하는 과정은 반드시 일정한 경로가 정해져 있는 것이 아니기 때문에 암의 발현은 확률적(또는 통계적) 법칙을 따르게 된다. 방사선 피폭시 방사선이 수억개의 DNA의 암호 중 어느 부분을 손상시킬 수 있을 것인지를 생각해 보면 암세포로 발전할 수 있는 돌연변이는 여러 무수한 변이 중에서 일부가 되므로 그 발생은 필연적인 인과관계를 따를 수는 없으며 확률적인 우연성을 따르게 될 것임을 알 수 있다. 따라서 방사선 피폭에 의한 세포의 돌연변이로부터 암이나 백혈병 또는 유전결함이 발생하는 효과를 확률적 영향이라 분류된다. 확률적 영향은 그 발생확률이 피폭선량에 비례하지 않고 따라서 문턱선량이 없는 것으로 간주한다. 그러나 실제로 낮은 선량에서 위험이 비례하지 않는가에 대한 확실한 증거는 없다.

방사선 노출은 꼭 나쁜 것인가?

방사선 노출은 계속 누적되기 때문에 실제로 낮은 선량에서도 위험성이 있을수 있다는 이

론도 있지만 이러한 문제도 현재 활발한 연구가 진행되는 덕분에 곧 해결될 것으로 생각된다. 특히 낮은 선량에서는 암 발생등 위험을 유도하기보다는 생체의 면역기능 등이 활성화되어 암발생 억제, 노화억제등의 효과(Hormesis)가 있다는 일부 보고도 있어 이 분야의 심도 깊은 연구가 꼭 필요할 것으로 사료된다.

방사선 노출량에 따른 영향 및 대책

반면 결정적 영향은 문턱선량이 존재하고 저선량에서는 영향이 발생하지 않는다. 또한 그 영향은 대개 급성(수 주일내)으로 나타나며 증상의 고유한 특성이 있고 증상이 심각도가 피폭 선량에 비례한다는 점이 특징이다. 결정적 영향의 문턱치는 조직과 증상에 따라 차이는 있으나 대개 0.5 Gy (500 mGy) 이상에서 나타나고 이 문턱선량은 방사선 작업에 종사하는 작업자에게 연간 허용되는 한도가 20 mSv (감마선, X선, 베타 등 낮은 LET 방사선 피폭에 대해서는 20 mGy와 차이 없음)인 점을 감안하면 정상적으로 방사선 안전관리가 수행되는 상황 하에서는 결코 문턱선량에 이를 수가 없다. 결정적 영향은 비교적 고선량에서 나타나는 증상이며 확률적 영향에 비해 비교적 영향에 대한 원인 및 증상이 잘 알려져 있다.

따라서 이 분야는 원인 또는 방사선 선량과의 관계에 대한 연구보다는 증상을 예방하거나 치료할 수 있는 분야의 연구가 진행 중에 있다. 방사선 방어제의 개발이 그 대표적인 예이며 미국 국방부산하 연구소에서 개발된 amifostine은 현재 임상적으로 사용되고 있는 대표적 방사선 방호제이다. 또한 방사선 피폭에 대한 비상진료체계가 원자력의학원을 중심으로

로 가동 중에 있어 긴급한 피폭상황에서 피폭 환자에 대한 진료체계가 신속하고 완벽하게 진행되고 있다.

맺는말

방사선에 대한 인체영향을 규명하기위해서는 위에서 언급한 방사선의 세포 및 조직에 미치는 영향을 근본적으로 알아야 한다. 방사선 직접적 및 간접적 영향이 있다는 것은 알고 있지만 이러한 영향이 복잡한 세포안에서 어떠한 cascade를 거치는지는 아직 완전히 알려져 있지 않다. 생명이 소중한 만큼 이 또한 간단하지 않을 것이라 생각된다. 또한 방사선 사고등에 의해 피폭이 발생되었을 때 이를

신속하게 진단하여 피폭 선량을 측정할 수 있는 방법의 개발 또한 매우 중요하다. 현재 획기적인 생명과학적 기술을 이용하여 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고 머지않아 많은 성과가 나올 것이라 확신한다. 하지만 인간은 계속 진화하고 있고 우리 주위의 환경은 계속 변화하고 있다. 따라서 방사선의 인체 영향 또한 이러한 진화 및 변화에 따라 달라질 것이라 생각한다. 그러므로 이 분야의 지속적인 많은 연구성과에도 불구하고 방사선이 인체에 어떠한 영향을 미치는가는 영원히 완벽하지 않은 Chapter로 남겨지게 될 것 같다. 이를 좀더 완벽하게 해석하고 그 대책을 연구하는 일이 원자력의학원의 연구센터에서 집중적으로 활발히 진행되고 있다. **KRIA**