

# 방사선이 인체에 미치는 영향



윤 세 철  
가 틀 릭 의 대  
치 료 방 사 선 과

인류는 지상에 그 존재의 시작부터 자연방사선으로부터 일정량의 방사선을 피폭받으면서 생활하여 오고 있다. 이 처럼 인간의 삶은 방사선과 분리하여 생각할 수 없으며 따라서 인체에 대한 방사선에 의한 영향(피폭)을 원 인별로 분류하면 자연방사선에 의한 것, 의료 행위에 의한 피폭, 작업상 피폭되는 것 이외에도 핵폭발이나 원자력의 이용 같은 환경오염에 의한 것 등으로 구분할 수 있다.

방사선에는 여러 종류가 있으나 생체에 영향을 주는 것은 주로 전리방사선이다. 이 전리방사선(이하 방사선)에 의한 인체의 영향은 피폭 직후부터 나타나서 수주까지도 지속되는 급성 방사선증후군(장해)과 암이나 백혈병 같이 상당한 시간이 지난 후에 나타나는 만성효과(장해) 그리고 자손에 영향을 주는 유전적 장해로 나눌 수 있다. 태아에 대한 영향과 유전적 영향은 개체뿐만 아니라 집단에도 중요한 의미를 갖는다. 표 1은 인체에 미치는 방사선 영향을 흉부 X-선 촬영과 비교한 위험성-비교(risk comparison)인데(1), 현재까지 의료행위에 의한 방사선피폭은 그

피폭의 총합이 자연방사선량을 넘지 않기 때문에 안전하다고 정당화(간주)하고 있다. 가장 혼란 단기간 내에 나타나는 피폭현상은 피부손상, 탈모 및 빈혈이다(1~8).

저자는 비파괴검사용 공업용  $\gamma$ 선에 의한 방사선피부염 증례보고(7)를 한 바 있으며, 방사선의 인체에 대한 영향을 문헌 및 교과서 중심으로 요약해 보고자 한다.

표 1. Comparison of Radiation Levels(1)

Natural Background	50 chest x-rays per year
Nuclear Imaging	100 chest x-rays
Beginning of acute radiation syndromes	30,000 chest x-rays per day
Lethal dose to half the population	300,000 chest x-rays per day

\* Assumption for comparisons is that whole-body dose is being compared

## 급성 방사선증후군

포유동물에서 2~10Gy를 전신조사하면 수주간 생존하지만 10~100Gy를 전신조사하면 3~4일로 생존기간이 감소한다. 전신조사시 전구증상으로 오심 구토 설사가 동반되는데 50cGy 이상 조사시 나타나고 10Gy 이상에서는 수분내에 나타난다. 이와 같은 전구증상에 이어 잠복기가 되는데 이 기간에는 아무 증상이 없다가 그대로 회복되거나 사망에 이르게 된다. 일반적으로 고선량에서는 수시간, 저선량에서는 수주에 걸쳐 무증상기를 동반한다. 따라서 급성방사선증후군에는 전구증상기 잠복기, 증상발현기와 회복기 또는 사망의 4시기로 구분할 수 있다(표 2)(1).

방사선은 피폭(조사)받은 개체에 증상이 나타나는 시기나 지속시간 및 증정도 등은 방사선의 피폭선량, 피폭횟수, 선량을, LET 및 RBE, 개체의 건강상태 등에 따라 달라진다. 급성방사선증후군은 방사선피폭 후 총 피폭선량에 따라 치명적인 손상부위(범위)가 결정되며 각 증후군과의 관계는 표 3과 같다(6).

### 1. 조혈계증후군

골수의 조혈세포는 방사선에 예민하기 때문에 1~10Gy(보고에 따라 2~6Gy 또는 2~10Gy) 조사시 나타나며 조혈증후군 또는 골

수증후군이라고도 한다. 예민한 사람은 2Gy 조사로 6~8주내에 사망하며 10Gy조사하면 아무도 살 수 없기에 LD100(인구의 100% 치사시키는 선량)이라하며 2주내에 모두 사망한다. 전구증상으로 오심, 구토, 설사 이후에 무증상의 잠복기가 수시간에서 4주까지 지속된다. 잠복기 동안에 골수내 골수모세포가 죽기 때문에 이미 생성된 혈구의 수명이 끝나면 더 이상의 혈구 생산이 안되기 때문에 말초혈액에 적혈구, 백혈구 및 혈소판 수의 감소가 관찰된다(그림 1). 임상적으로는 피로감, 피하출혈, 점막궤양, 탈모 등이 수반되며 출혈, 빈혈 및 감염으로 사망하게 된다.

### 2. 위장계증후군

위장계의 증세는 1일간의 전구증상후 3~5일동안 잠복기를 거쳐 오심 구토 및 지속되는 설사의 발현기가 나타난다. 이 증후군이 나타나는 선량범위가 보고자에 따라 6~10Gy (Selman), 10~15Gy(Bushong), 6Gy에선 경증 및 10Gy에는 중증(Travis) 등 다양하게 보고되고 있다(1). 위장관의 표피는 탈수에 의하여 탈피되고 무력감과 식욕상실이 병행되어 의학 적치료에도 불구하고 진행을 막을 수 없으며 3~4일 내에 사망하게 된다.

### 3. 중추신경계증후군

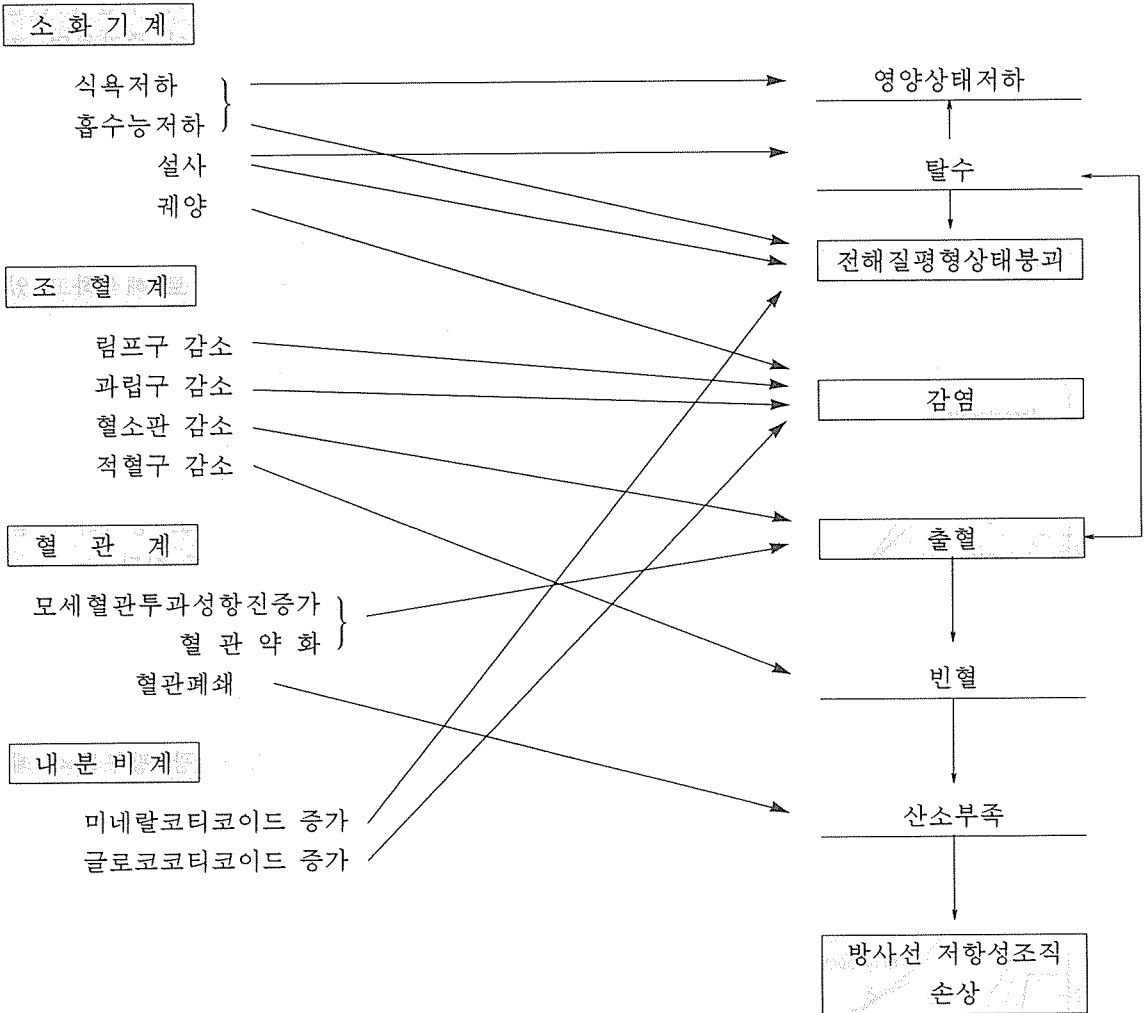
전신에 약 50Gy이상 피폭되면 중추신경계

표 2. Staging of Acute Radiation Syndromes(1)

Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Prodromal	Latent	Manifest illness	Recovery or death*
Three possibilities : # Hematologic syndrome # Gastrointestinal syndrome # CNS syndrome			

\* Recovery is dose dependent and is seen only in the hematologic syndrome : this can take 3 weeks to 6 months, and many individuals do not survive.

표 3. 급성방사선장해에 있어 각 증상의 관계(6)



증후가 나타난다. 때로는 수일 걸리기도 하나 대개 수시간내 사망한다. 물론 조혈장기나 위장관 증후군도 나타나지만 다른 계통의 증상이 나타나기 전에 증추신경계의 손상에 의하여 사망하게 된다. 수분내에 오심 구토와 침착하지 못하게 되고 혼수상태 또는 의식소실이 된다. 잠복기는 짧아 6~12시간이며 사망 직전에 근육의 협조(coordination) 운동이 안되며 무력감, 호흡곤란, 경련, 혼수에 이른다. 사망원인은 아직 밝혀지지 않았지만 뇌압

상승에 기인하는 것으로 추측된다(1~4).

### 만성효과

고선량에서는 급성전신증상인데 반하여 저선량인 경우는 장기간에 걸친 소량의 방사선 피폭으로 살아남은 세포에서 일어난 손상들이 시간이 경과한 후 발현되는 현상이다.

방사선피폭에 의한 만성효과로는 발암, 백내장발생, 수명단축 등이 있다(1~8).

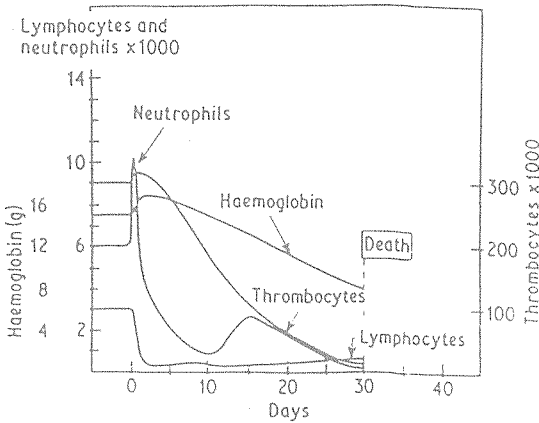
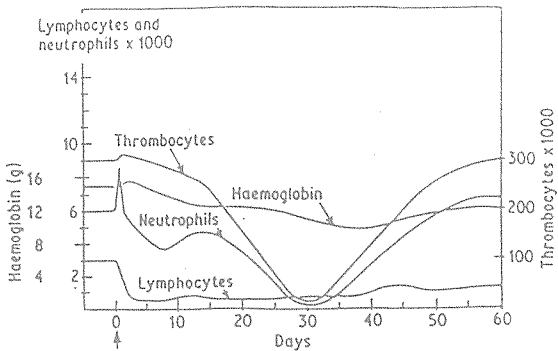
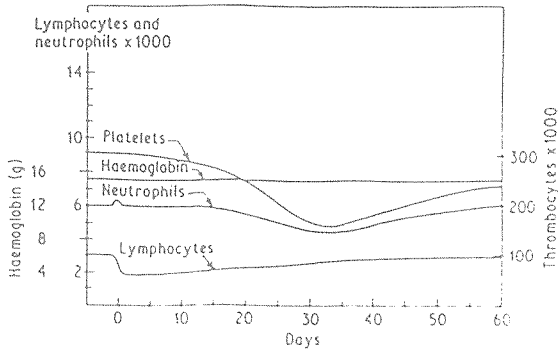


그림 1. 1Gy(상), 3Gy(중), 4.5Gy(하) 전신 조사시 말초혈액의 변화(3, 4)

1) 방사선에 의한 발암

방사선에 의한 발암의 첫 보고는 1902년에 방사선과 의사 손에 발생한 피부암이며 1911년에는 백혈병의 원인으로 지적되었다. 1950년에서 1956년 간에 히로시마 나가사키 원폭 생존자 중 64명의 백혈병이 보고되었다. 그러나

방사선에 의하여 발생된 암은 자연발생 및 화학물질에 의해 유발되는 암과 구별이 안된다. 소동물실험에서 방사선량이 증가하던 초기에는 발암률이 증가하다가 300cGy 내지 1000cGy 범위에서 최고치에 도달하며 그 이상 방사선량이 증가하면 발암률이 감소한다. 이 현상은 방사선량이 많으면 발암효과 역시 증가하나 동시에 세포사망도 증가하여 발암효과가 상쇄되기 때문인 것으로 해석하고 있다. 방사선에 의한 발암기전은 명확하지 않으나 유전자변이로 인하여 암세포로 전환되거나 또는 유전자변이가 여러 단계의 발암과정 중의 일부에 기여한다고 추측된다. 일부에서는 이미 존재하는 암세포가 정상적인 면역반응 등에 의하여 없어지지 않고 증식하여 암이 되는 간접효과로 설명하기도 한다.

사람에서 방사선피폭에 의해 알려진 절대위험도에 의한 발암위험은 표 4와 같다(1). 지금까지 알려진 예로는 1) 초창기 방사선방어에 관한 개념이 없었던 시절에 방사선종사자의 피부에 생긴 암, 2) 우라늄탄광 광부들의 폐암, 3) 야광시계공장에 라듐페인트공의 골암(골육종), 4) 강직성척추염(ankylosing spondylitis) 환자의 방사선치료 후 생긴 백혈병, 5) 흉선비대 소아에서 방사선조사 후의 갑상

표 4. Cancer Risk Based on Absolute Risk (1)

Cancer Type	Absolute Risk (Cases/10 <sup>6</sup> people/rad/yr)
Bone cancer	0.11 (radium dial painters)
Leukemia	0.8 (ankylosing spondylitis) 1.5 (atomic bomb)
Lung cancer	1.3 (uranium miners)
Breast cancer	1.5 (atomic bomb) 6.2 (pneumothorax fluoroscopy) 8.3 (postpartum mastitis)
Thyroid cancer	2.5 (thymus) 8.3 (tinea capitis)

선암, 6) 히로시마, 나가사키 원폭 생존자의 백혈병 및 각종 암, 7) 두부백선환자의 방사선치료 후 생긴 갑상선암, 8) 유방통이나 폐결핵치료 과정(인위적 기흉)중 과다한 흉부투사를 하였던 환자에서의 유방암, 9) 임신중 방사선피폭되었던 어린이의 백혈병 및 기타 암, 10) 조영제 Thorotrast에 의한 간암 등이 있다. 이와 같은 방사선에 의한 발암은 잠복기가 길고 환자의 나이나 방사선량에 따라 다르다. 그중 백혈병이 잠복기가 짧으며 적어도 5~7년이 잠복기에 해당한다고 알려져 있다. 일반적으로 암발생의 실질적 위험시기(actual at-risk period)는 20년이라고 보고 있다.

## 2) 백내장

방사선피폭을 받은 동물이나 사람은 수정체의 혼탁이 오며 이는 수정체 상피세포가 방사선 손상을 받아 수정체섬유의 배열장애를 일으키기 때문이다. 10Gy 조사된 눈은 모두 백내장이 되며 1회 선량으로 2Gy부터 백내장 발생이 시작될 수 있고 분할 조사시는 11-12Gy로 알려져 있다. 평균 잠복기는 2~3년이다.

## 3) 수명단축

마우스 실험에서 1Gy당 수명이 5.4%씩 짧아짐을 보고한 바 있으나 인간에서 방사선에 의한 수명단축에 관한 확실한 자료는 아직 없다. 1930년대에 방사선과 의사들은 대조군인 다른 일반의사들에 비하여 평균수명이 약 5년 짧은 것으로 나타났다. 생활 환경이 비슷하다는 전제하에 방사선이 영향을 주었을 것으로 분석하였었다. 그러나 1960년대에 같은 실험에서는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 원폭생존자나, 야광시계의 라디움도색공 또는 방사선 종사자들에서 수명단축의 증거 또한 없었다.

## 방사선의 유전적 영향

방사선에 의한 생체 영향중 가장 알려지지

않은 부분이며, 지구상의 모든 생물은 전리방사선의 영향과 함께 존재해오고 있으므로 인간이 만든 방사선에 의한 돌연변이는 자연적으로 발생하는 변이의 빈도를 증가시키는 것으로 이해하고 있다. 아직 사람에서 방사선이 유전자 돌연변이를 유발한다는 확증은 없고 동물실험결과로부터 유추할 뿐이다. 즉, 방사선이나 화학물질은 자연돌연변이의 유발빈도를 증가시킨다. 사람에서도 상호전위(reciprocal translocation)의 염색체 이상이 높은 빈도로 발견되는데 이는 2개 또는 그 이상의 염색체가 부분적으로 교환되는 것으로서 저선량 및 저선량율에 의해 흔히 생긴다. 실제 일상생활에서 일반이나 작업종사자들이 받는 방사선은 매우 소량이어서 방사선으로 인한 유전적 영향은 크지 않을 것으로 생각되며 사고로 인한 비교적 다량의 방사선이 피폭된 경우에는 임신까지의 기간을 충분히 길게 함으로써 유전적 효과를 최소화할 수 있어 현재로서 크게 중요시하지 않아도 되리라고 생각된다(2, 6, 8).

## 태아에 대한 방사선효과

태아의 성장과정은 3단계로 구분할 수 있는데(그림 2), 첫째는 수정되는 순간부터 수정후 10일까지를 착상전기로 구분하며 이 시기에는 수정된 난자가 분열하고 미분화된 세포 덩어리를 형성한다. 둘째는 기관형성기로서 수정후 6주에 해당되며 세포는 자궁내막에 착상되어 기관을 형성한다. 즉 임신 18일에 신경모세포를 형성하고, 임신 20일에는 눈이 형성된다. 셋째는 태아기 또는 성장기로서 새로운 발달 보다는 성장을 주로하는 시기이다. 방사선은 기형발생원(teratogen)으로 알려져 있으며 여타 기형발생원으로는 풍진, 알코올, 리치움 및 수은 등이 있다. 배아나 태아에 대한 방사선의 주된 영향은 사망, 기형,

성장저지, 선천성 기형, 암유발 등이 있다.

착상전기의 방사선장애는 산전(prenatal)사망이며 이때 태아가 살아서 성숙되면 성장장애는 별로 관찰되지 않는다. 착상전기에 5~15cGy 피폭되면 산전사망이나 출생전에 사망하고 첫 2주내에 10cGy 조사되면 자연유산이 될 수 있다. 기관형성기에는 산전사망의 빈도는 낮은 대신 선천성기형의 발생빈도가 증가한다. 임신 4~11주에 방사선조사되면 골격계나 중추신경계에 다발성 기관기형을 초래한다. 방사선이 임신 11~16주에 조사되면 지능장애, 소뇌 등이 오며 20주 이후에는 방사선에 비교적 덜 예민하지만 기능적 결손(functional defect)을 초래할 수 있다(1~9).

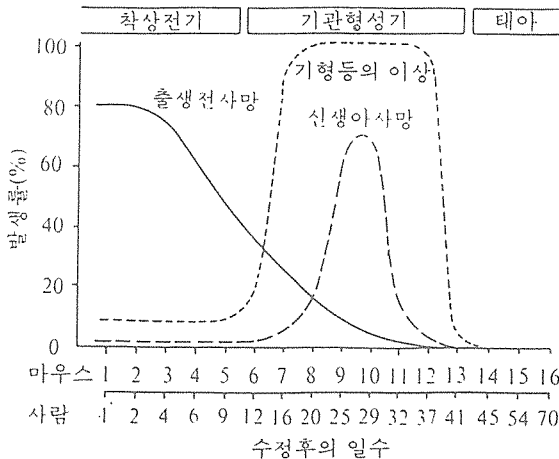


그림 2. 태아발달의 단계(1, 2, 3, 6)

## 요 약

X선이 발견된 이듬해인 1896년에 이미 방사선피부염 23예가 문헌에 보고된 기록이 있다. 이처럼 방사선은 인간 실생활에 밀접히 응용되다보니 다른 화학물질이나 약제 등에 비하여 인체에 대한 영향이 비교적 잘 알려진 분야가 되었다. 특히 2차 세계대전을 치르면서 핵폭발의 위력과 방사선에 의한 전신피폭후의 급만성 인체영향이 입증되었다. 또한 몇몇 핵

시설의 안전사고, 그리고 최근의 체르노빌 원전사고(1986. 4. 26) 등은 더욱 인체영향에 관한 상세한 연구분석을 가능하게 하였다.

한편, Thomas D Lucky(1979)는 인간의 몸은 저선량 방사선에 대하여 적응능력을 갖추고 있을 것이며 우리가 모르는 이로운 반응 즉 호르메시스(hormesis) 효과가 있음을 주장하고 있다. 이는 아무리 작은 방사선량이라도 방사선은 인체에 유해하다는 지금까지의 믿음에 정반대되는 학설인 셈이다. 아울러 인체에 권장되는 한계선량을 아직도 ALARA(as low as reasonably achievable)로 규정하고 있음은 이 분야에 연구가 더욱 필요함을 의미한다고 보겠다.

## [참 고 문 헌]

1. Dowd SB : Practical radiation protection and applied radiobiology p1~127 WB Sounder Co 1994 Philadelphia
2. Hall EJ : Radiobiology for the radiologist 4th ed JB Lippincott Co. 1994 Philadelphia
3. Tubiana M, Deutrix J, Wambersie A et al : Introduction to Radiobiology Taylor & Francis 1990 London
4. Ellis RE : Radiation hazards and protection In Treatment of cancer ed Halnan KE p 845 ~859 Chapman and Hall 1982 London
5. 윤세철 : Radiation hormesis 대한방사선방어학회 1994 춘계심포지움 : 환경과 라돈
6. 범희승, 김지열 : 방사선생물학 핵의학 고창순저 p115-149 고려의학 1992
7. 윤세철 : 방사선피부염 ; 3에 보고 대한방사선의학회지 22:167~174, 1986
8. 하성환 : 방사선이 인체에 미치는 영향 대한의학협회지 30:581~586, 1987
9. 박찬일 : 임신시 방사선개해 대한의학협회지 23:213~216, 1980