

# 放射線 호메시스의 研究經緯와 現狀

지난 7월 10일 日本 京都에서는 日本電力中央研究所 주최로 「방사선 호메시스 심포지엄」이 개최됐다. 올해로 3번째를 맞이한 이번 심포지엄에서는 방사선 호메시스 효과의 주창자인 미국 미주리대학의 T. D. Luckey 교수를 비롯하여 전력회사, 대학 등에서 관계자 250여명이 참석한 가운데 「저선량 피폭과 생물학적 방어기구」를 주제로 열렸다. 本稿는 日本電力中央研究所에서 그간의 경위와 현상들을 정리한 자료를 발췌, 요약한 것이다.

服部禎男

日本 電力中央研究所

우리들은 국제방사선방호위원회(ICRP)의 권고에 따라 방사선피폭은 저준위에서도 암이나 백혈병이 발생하는 등 유해효과가 있으며, 유해효과의 정도는 피폭량에 비례한다고 이해하고 있다. 이것은 30년 전(1958년)에 ICRP가 방사선관리에 대한 방호기준을 만들 당시 정상피폭으로 500렘/년 이하, 일시피폭으로 50렘 이하의 저준위영역에서는 거의 데이터가 없었으므로 매우 보수적인 가정하에 방호기준을 정하지 않을 수 없었던 것이 그 원인이었다.

## 서론

그러나 10년 후 미국 한포드연구소의 연구원에 의해 추적조사데이터가 전해지면서부터 전문가들 사이에서는 저준위 방사선피폭의 생체효과에 대한 관심이 높아지게 됐다. 1982년 12월 미국 미주리대학 생명과학교수인 T. D. Luckey 박사가 세계적으로 권위가 있는 미국 Health Physics誌에 200여건의 참고자료와 함께 「방사선 호메시스」에 대한 논문을 발표하면서부터 이 문제에 대한 전문가들의 관심은

급격히 높아져서, 1985년 8월 미국 캘리포니아대학 버클리에서 제1회 방사선 호메시스 국제심포지엄이 개최됐으며, 제2회는 1987년 독일 프랑크푸르트에서 개최됐다. 이번 제3회 국제심포지엄은 범위를 넓혀 「저선량 피폭과 생물학적 방어기구」라는 주제로 1992년 7월 日本 京都에서 개최됐다.

## 한포드연구소에서 추적조사

미국 한포드연구소에서의 조사에 따르면 1944년부터 1976년까지 32년간 5렘에서 20렘 정도(자연방사선 이외)를 피폭받은 근로자의 암과 백혈병에 의한 사망률은  $7.4 \times 10^{-4}$ 명/人·年이고, 전혀 피폭이 없었던 근로자의 암과 백혈병에 의한 사망률은  $1.1 \times 10^{-3}$ 명/人·年이었다. 다시 말하면 방사선을 쬐인 사람들이 일반인들보다도 암과 백혈병에 잘 걸리지 않으며, 그 비율은 1/1.5 정도였다.

1976년 생존자 23,000여명의 평균피폭량(자연방사선 이외)은 2.03렘이었으며, 암과 백혈병으로 사망한 사람 855명의 평균피폭량(자연방사선 이외)은 1.47렘이었다.

이처럼 이상한 집계결과가 나온 후로 미국 등의 전문가들 중에서는 저선량 방사선피폭이 자연적인 암이나 백혈병의 발생을 억제하는 효과가 있다는 관점에서 연구를 하는 사람들이 점점 많아지고 있다.

## 방사선 호메시스

다량의 경우는 독성을 가진 물질

〈표 1〉 한포드 근로자의 피폭선량별 암사망 위험

작업시 피폭선량 (렘)	생존자	암에 의한 사망자	암 이외의 사망자	암사망 위험 (死/ 10만명·년)
0.0	3,818	172	754	110
0.01~1.28	12,285	467	1,929	100
1.28~5.12	4,525	146	501	88
5.12	2,750	70	122	74

A. M. Stewart, 버밍엄대학 사회의학부(1978년)

이지만, 소량의 경우는 사람이나 동물의 몸에 오히려 바람직한 자극 작용이나 촉진효과를 주는 것을 호메시스(Hormesis)라 한다. 호메시스는 그리스어에서 유래한 것으로 「자극하다 또는 촉진하다」라는 의미를 가진다.

의학분야의 Arndt-Schultz 법칙은 1. 약한 刺戟藥은 활성을 자극하고 2. 강한 자극약은 활동을 정지시키는 것으로 알려져 있다. 방사선 호메시스라고 하는 것은 방사선에도 Arndt-Schultz 법칙이 들어맞는다고 하는 생각이다.

미국 미주리대학의 생명과학교수인 T. D. Luckey 교수는 저선량 방사선도 호메시스 효과를 일으킬 가능성이 있다는 생각을 갖고 철저한 조사를 통해 생물의 성장, 발육의 촉진, 번식력의 증진, 질병 및 사망률의 저하, 수명연장 등 7가지 효과를 정리하여 1982년 12월에 이를 발표했다. 이것은 「방사선은 아무리 낮추어도 유해하다」는 지금까지의 통설에 강한 의문을 제기한 것이다.

이 발표를 접한 국제연합 과학위원회는 1989년 향후 3년 동안의 검토과제로 선정된 12개 항목 중 1개로 「저선량 방사선의 자극효과(호

메시스 효과)」를 포함시켰다. 또한 1990년 ICRP도 「호메시스 효과는 방호규칙에 아직 적용할 단계는 아니지만 추적할 필요가 있다」고 주목했다.

T. D. Luckey 교수의 논문은 역학조사와 수만마리의 쥐, 파리, 누에, 물벼룩, 모기 등을 이용한 25년간의 조사시험과 세계 각국의 연구데이터를 정리한 것으로 다음과 같이 결론을 내렸다.

1. 저선량 방사선피폭은 암과 백혈병의 발생을 억제한다.
2. 저선량 방사선피폭은 생식능력을 높인다.
3. 저선량 방사선피폭은 세균감

염에 대한 저항력을 높인다.

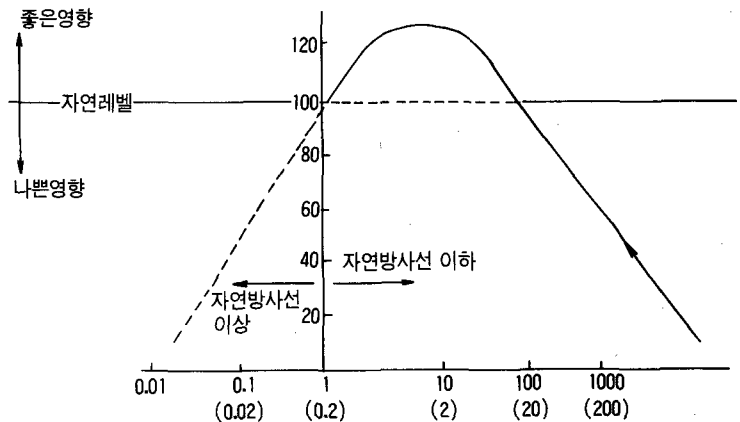
4. 저선량 방사선피폭은 노화를 억제하고 수명을 늘린다.

1982년 12월 Health Physics誌에 발표했던 논문에서 그는 포유동물의 방사선피폭과 생명활성도의 관계를 〈그림 1〉과 같이 정리했다. 여기에서 생명활성도라고 하는 것은 암세포의 억제, 세포재생활동, 면역력, 생식력 등의 활성도를 종합한 것으로 T. D. Luckey 교수에 의하면 생명력 그 자체로 보고 있는 것 같다.

### 日本 電力中央研究所 研究

日本 電力中央研究所는 1985년의 제1회 방사선 호메시스 국제심포지엄 등에서 많은 발표논문을 입수, 분석하여 다음과 같은 취지로 방사선 호메시스 효과 연구를 시작했다.

1. 만약 T. D. Luckey 교수의 생각이 맞다면 우리는 큰 오류를 범하고 있는 것이다.



〈그림 1〉 방사선피폭과 생명활성도

2. 만약 T. D. Luckey 교수의 호메시스에 대한 생각이 잘못이라면 이것은 방사선을 취급하는데 큰 혼란을 가져온다.

3. 따라서 연구조직의 큰 책무로서 적극적으로 진실을 추구하는 활동을 시작할 필요가 있다.

연구활동은 다음 3가지로 요약된다.

1. 분자생물학, 면역학 등 생물 의학계에서 권위있고 뛰어난 학자들로 위원회를 만들어 항상 연구지도를 받는다.

2. 대학 의학부, 국립암센터, 방사 의학연구소 등과의 공동연구에 의해 해당분야 전문가와 일체가 되어 실험연구를 진행한다.

3. 세계의 지도자, 전문가를 초청한 강연회, 국제심포지엄을 개최하고 각국에서 개최하는 전문가회의에 참가하여 가능한 많은 정보를 수집한다.

이에 따라 日本 電力中央研究所는 4년 전부터 연구활동을 시작하여 현재 10개 주제 정도의 기초적 실험을 하고 있는데, 여기서 2~3가지 예를 소개한다. 아래의 기초 실험은 쥐나 토끼에게 X선을 1렘~20렘 정도의 범위 내에서 쬐여 각종 반응을 조사한 것이다.

1. 5~10렘 정도로써 임파구(유해한 세포의 증식을 막는 역할을 한다)의 증가에 의해 면역기능이 1.5~2배 정도 활성화되는 것이 확인됐다.

2. 5~10렘 정도 쬐인 쥐와 전혀 쬐지 않은 쥐를 2개월 후에 700렘 이상의 치사선량을 쬐인 결과 5~10렘 정도를 쬐었던 쥐의 생존율이

높았다.

3. 활성산소에 의해 세포노화를 방지하는 효소 SOD의 증가와 세포의 노화정도를 나타내는 물질인 과산화脂質의 감소는 쥐를 이용한 실험에서 역시 5~10렘 쬐인 경우가 최대였다.

최근 放射醫學研究所와의 공동연구에서 위와 같은 정도의 방사선피폭으로 스트레스 전달에 직접 관계가 있는 ME(메티오닌 엔케타린)라는 물질변화도 생겨 뇌의 스트레스 전달에도 변화를 가져올 가능성이 있다는 데이터가 나왔다.

日本 放射線影響學會의 여러 연구에 의하면 日本 제일의 고농도 라돈온천으로 알려진 三朝 온천 지역주민들의 암과 백혈병에 의한 사망률은 日本人 전체의 평균치에 비해 낮고 또한 인근주민들의 평균치보다도 낮은 것으로 나타났다. 三朝 온천은 라돈 흡입으로 혈액순환이 좋아지는데 岡山대학 의학부 연구원들이 토끼를 이용한 연구에서 혈관확장물질인 아드레날린이 증가하기 때문이라는 결과를 얻었다.

長崎 원폭으로 피폭받은 사람들의 추적조사결과 백혈병, 결장암, 폐암 등으로 인한 사망률이 40렘 이하 피폭된 사람들에게서 분명히 보통 암사망률 이하로 나타났다고 하는 보고라든가, 미국의 우라늄광산 부근 등 고준위 라돈지역의 사람들의 폐암사망률이 낮은 것으로 나타난 추적조사보고도 입수했다.

### T. D. Luckey 박사의 주장

방사선이 생물에 주는 효과는 선

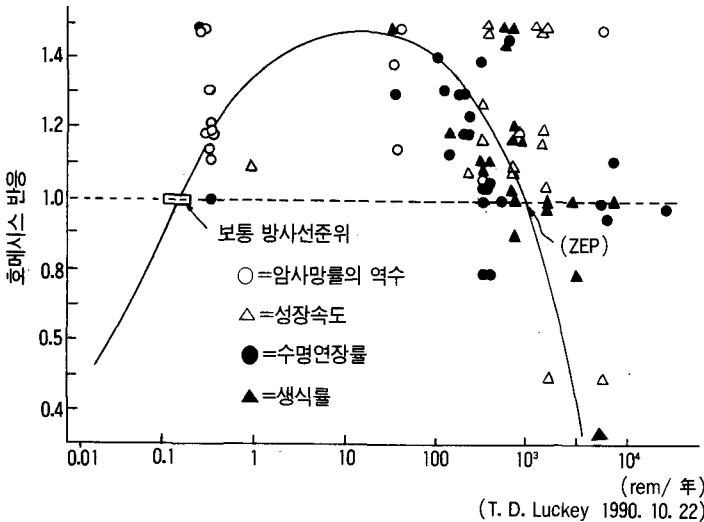
량이 높은 경우와 낮은 경우가 전혀 질적으로 다르며 높은 선량에 의한 데이터를 사용해서 낮은 선량의 방사선도 해가 있다고 추론해서는 안된다. 저선량 방사선은 오히려 생물에게는 플러스 효과를 가져온다.

사람과 동물의 데이터에서 암사망률, 성장속도, 수명연장, 일반 면역력, 생식력 등 방사선 호메시스 반응에 관한 정보를 정리해 보면 <그림 2>와 같다.

「모든 방사선은 저선량이라도 유해하다는 통설은 무의미하고, 이에 따른 모든 직선모델은 파기돼야 한다」고 결론을 내렸다.

이번 강연의 주제는 1982년 Health Physics誌에서 발표했던 논문에 비해 그후 세계적인 실험데이터의 증가와 의견교환 등의 결과 많은 추가데이터를 제시하면서 건강효과 최적피폭치를 대폭 변경해 한 자리수가 높은 값을 주장한 점에서 자연방사선의 약 100배가 보수적으로 본 최적치라고 보고 있다.

연간 10렘 이상의 피폭데이터는 동물의 것 뿐이고 사람의 피폭데이터는 아니라는 점을 지적했더니 『이것은 공기, 빛, 온도 등의 환경적응에 따라 생물이 긴 기간에 걸쳐 만들어 낸 포유류 공통의 생체 특성으로서 사람은 그 중에서도 면역, 수명 등을 통해 알 수 있듯이 가장 환경적응에 앞서고 있다. 따라서 다른 동물과는 달리 높은 방사선준위에 민감하다는 의견도 나올 수 있겠지만, 세포의 크기나 유전자의 기초구조는 포유동물과 같



〈그림2〉 포유류의 방사선 호메시스 반응

으므로 세포 내에서의 현상의 메커니즘으로 볼 때 다른 동물과 같은 생물반응이라고 하는 것이 옳다고 본다』는 설명이 있었다.

단기집중피폭은 태아에 대해 유해효과가 있으므로 임신부도 포함해 호메시스를 제창할 경우 단기간 집중피폭(예를 들면 2일 이내)의 상한치는 20렘 정도로 본다고 말했다.

따라서 그의 주장의 요점은 일시적으로 조사를 받는 것보다도 定常적으로 방사선조사를 받는 것이 중요하고, 많은 데이터를 종합해 보면 최적피폭은 20렘/년 정도이며, 호메시스의 상한(안전한도)은 200렘/년이라는 것이다.

방사선이 인체에 얼마나 필요한 것인지 이에 대한 조사도 실시했다. 그는 낚으로 채획된 방 속에서 동물을 사육하면서 방사선이 전혀 없는 경우와 인공적으로 방사선을 자연방사선 준위 정도 쪼인 경우에 면역, 수명 등을 비교해 방사선이

없는 환경에서는 동물이 얼마나 생명력이 약하고 방사선은 햇빛이 우리들에게 필요하듯이 동물에게도 필요불가결하다는 것을 알게 됐다고 말했다.

또한 캘리포니아대학 의학부의 T. 마키도단 교수도 수년 전부터 방사선 호메시스의 검증실험을 쥐등을 통해 실시한 성과를 발표했다.

그가 의학 및 방사선면역학적 입장에서 설명한 내용을 소개하면 다음과 같다. 방사선 호메시스는 인간의 세포레벨에서부터 전 생체반응에 이르기까지 모든 것에서 볼 수 있는 것으로 이 메커니즘은 진화과정을 통해서 계속 형성, 보존되어 왔던 것이다.

저준위 방사선은 면역을 담당하는 임파구의 활동을 활성화시켜 병에 대해서 저항력이 강한 신체를 만드는 것이 분명하다. 방사선에 의해서 스트레스단백질이 합성되고 이 스트레스단백질에 의해서 DNA

의 효과적 회복이 증진된다. 이것은 모든 생체활동을 효과적으로 강화시킨다.

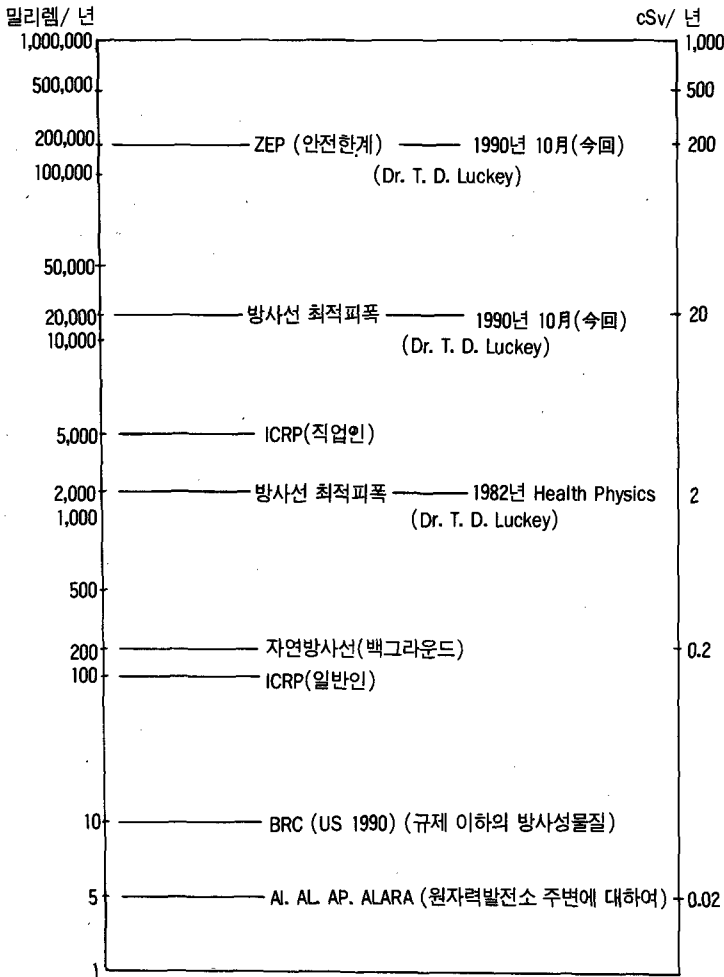
ZEP라고 하는 것은 보통 방사선준위와 똑같은 반응을 보이는 선량, 따라서 이 수치를 안전한계라고 보아야 한다(T. D. Luckey 박사).

### 저선량조사 임상응용의 예

東北대학 의학부 坂本 교수는 유럽, 미국, 캐나다에서의 방사선의 학과 암에 관한 임상적 연구를 토대로 암환자에 대해 저선량조사에 의한 암치료와 재발방지활동을 하고 있다. 다음은 坂本 교수의 의견을 요약한 것이다.

45세 여성으로 S狀 결장암의 전이에 의해 간장이 이상하게 비대해져 다른 부위에도 전이된 사람이 있었다. 통상적인 방법에 의해서는 전이소(轉移素)를 억제할 수 없었기 때문에 저선량 전신조사의 임상응용을 처음으로 시도했다. 이 환자는 이미 심한 황달증세가 보여 간장에서 복부의 절반을 덮을 정도의 단단하고 큰 종양을 볼 수 있었지만, 1회 0.1Gy(10라드)의 전신조사를 주 2회씩 한 결과 4회째 조사를 했을 때부터 肝腫大는 급속히 축소되고 단단함도 없어지게 됐다. 그후 10회의 전신조사를 추가 실시한 결과 퇴원이 불가능하다고 생각했던 환자가 퇴원할 수가 있었다.

더욱이 국부종양이 발견된 시점에서 이미 다른 곳으로 전이하고 있을 가능성 큰 임파腫에 대해서 1990년 4월 현재로 28명 정도가 치



〈그림 3〉 방사선 연간피폭에 대하여

료를 받았으며, 치료 후 이미 10개월이 지난 16명의 환자는 다른 원인으로 사망한 1명을 제외하고는 모두 생존해 있다. 이 중 8명은 생존월수 20개월을 넘었고 증상에 따라 전신조사와 국소조사 또는 방사선치료 종료 후에 화학치료법을 실시한 경우도 있다.

저선량 전신조사를 한 28명에 대한 말초임파구 저선량 전신조사중과 직후의 변동을 보면, 이상세포

의 증식을 억제하여 면역력을 발휘하는 임파구인 Helper-T 세포와 이 세포를 만들어 내는 일을 하는 Helper-Inducer 세포가 60% 이상 증가하고, 면역력을 억제하는 임파구인 Suppressor-T 세포와 이 세포를 만들어내는 Suppressor-Inducer 세포가 50% 이상 감소한 것으로 나타났다.

0.1Gy의 전신조사 효과는 중앙면역부활 이상의 효과도 포함돼 있

을지 모르지만 0.1Gy 전신조사를 몇차례 했어도 백혈구 감소는 거의 볼 수 없었고 그외의 방사선장해도 전혀 나타나지 않았다.

조사는 0.1Gy를 주 2회 연간 총선량으로 1.5Gy 정도는 허용 가능하고, 중앙면역의 부활에 따라 움직임이 억제되면 0.1Gy 10회 정도의 전신조사의 효과는 대단히 큰 것이 될 것이다.

東北大와 東京女子醫大에서 임상응용에 이용되고 있는 저준위 방사선조사는 T. D. Luckey 박사가 주장한 선량수준과 거의 일치하고 있다.

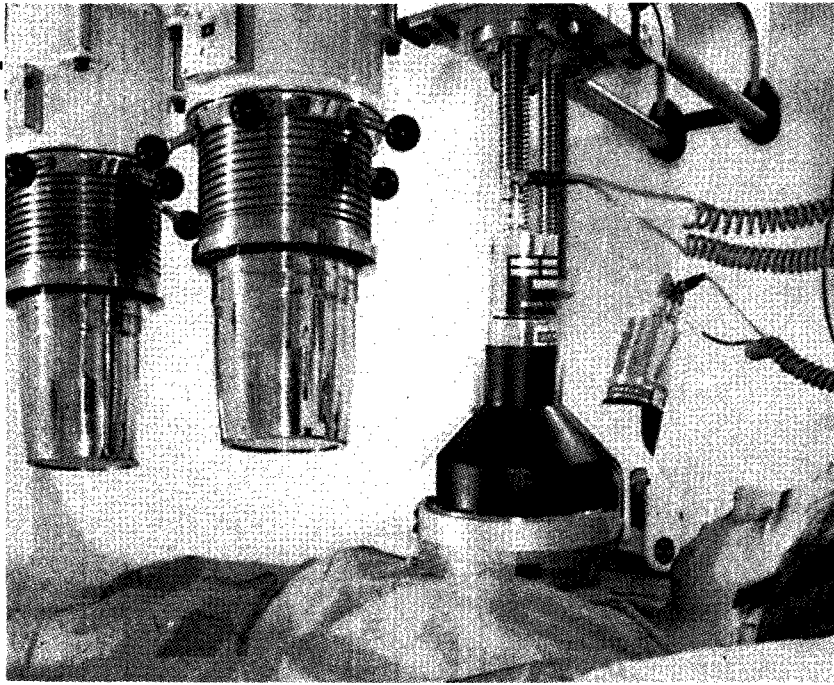
### 방사선 호메시스의 메커니즘

많은 동물 실험데이터, 암환자의 저선량照射 분석결과, 국내외의 전문가들의 주장을 바탕으로 저선량 피폭으로 인한 호메시스 메커니즘을 정리하면 다음과 같이 추론할 수 있다.

#### 1. 활성산소와 스트레스 단백질

방사선이 조사된 생체 내에서는 미시적으로 물의 방사선분해가 먼저 일어나 미량의 활성산소 등이 생성된다. 이 미량의 활성산소는 곧 가까운 세포막에 작용해 이것을 산화하여 변화시킨다.

활성산소 이외에 방사선의 통과에 의해서 세포 내에 각종 전리물질이 생기면서 동시에 산화손상을 받아 불완전하게 된 세포막을 통해서 세포 외에서 세포 內로 칼슘 등의 이동이 생겨 세포 내에서 여러 종류의 스트레스 단백질이 합성된다.



## 2. 유전자의 修復

세포 속에 있는 염색체 중에 일정한 순서로 배열되어 세포증식을 조절하고 있는 유전자는 DNA 분자로 이 DNA의 작용에 의해 세포 내에서 만들어지고 있는 단백질이 조절되고 있다. 이 단백질의 종류는 무수하게 있어 내장 혈액, 임파계통 호르몬, 효소류, 기타 모든 생체활동에 영향을 미치고 있다.

이 유전자의 손상수복(修復)은 생체 속에서 항상 이루어지고 있다. 그런데 유전자의 손상이 방사선이나 많은 외부요인에 의해서 심하게 되는 것과 함께 이러한 외부요인의 징조로서 선행적으로 유전자손상의 수복활동이 점점 활발하게 이루어지도록 하기 위한 반응이 시작된다. 즉 저선량방사선에 의해서 스트레스 蛋白質이 생성되어 이것을 재료로 측정효소가 만들어진다. 이 효소가 손상된 유전자의 수복활동에 착오가 없도록 적절하게 작용한다고 추론되어 효소의 생성은 방사선 등 특별한 자극에 의해서 활

발하게 된다.

이러한 여러가지 원인에 의해서 파괴된 유전자 수복활동의 에러에서 생기는 암이나 백혈병의 발생을 억제하는 것으로 생각된다.

## 3. Helper-T 세포와 Suppressor-T 세포

인체 면역기능의 하나로 임파계통에는 건강을 유지하는데 중요한 활동세포가 많이 포함되어 있다. 그 하나로 Helper-T 세포라는 것이 있는데, 이것은 임파구의 일종으로 암세포 등 이상한 세포를 죽이는 작용을 한다. 물론, 병원균 등도 죽이고, 종합적인 면역활동을 하고 있는 것으로 이 농도가 높은 사람은 면역, 즉 악성병에 대한 저항력이 강한 사람이다.

이외에 또 하나의 임파세포로 Helper-T 세포의 증식을 억제하고 있는 Suppressor-T 세포라는 것이 있는데 이것은 면역시스템이 과도하게 되는 것을 억제하고 있다. 이 Suppressor-T 세포는 특히 방

사선에 약하다는 특징이 있어 저선량방사선을 쬐면 Suppressor-T 세포의 농도가 내려가고 Helper-T 세포의 농도가 올라간다.

이 방사선에 의한 Suppressor-T 세포의 감소와 Helper-T 세포의 증가라는 현상과 앞서 말한 활성산소의 발생과 스트레스 蛋白質의 합성이라는 과정이 동시에 병행적으로 발생하는 것으로 생각된다.

45년 전에 미국 로스알라모스에서 플루토늄폭탄 제조에 종사했던 당시 동원된 학생들이 이미 고령임에도 불구하고 모두 매우 건강하기 때문에 몇년 전에 모두 혈액분석을 해 본 결과, 일반인과 비교해서 Helper-T 세포의 농도가 높다는 것을 알았다.

최근 東北大, 東京女子醫大 등에서도 암치료를 저선량 전선조사라는 방법을 이용하고 있는데, 여기에서도 Suppressor-T 세포가 감소, Helper-T 세포가 늘어나는 면역계통의 활성화가 확인됐다. ▣