

新 · 放射線의 人體에의 影響(3)

문15 확정적 영향과 확률적 영향

방사선을 입으면 여러가지 장애가 일어난다고 듣고 있습니다만, 구체적으로 어떠한 병이 발생하는지요?

답: 방사선에 의한 선량에 주목했을 경우의 영향은 확정적 영향과 확률적 영향의 두 가지로 구분됩니다.

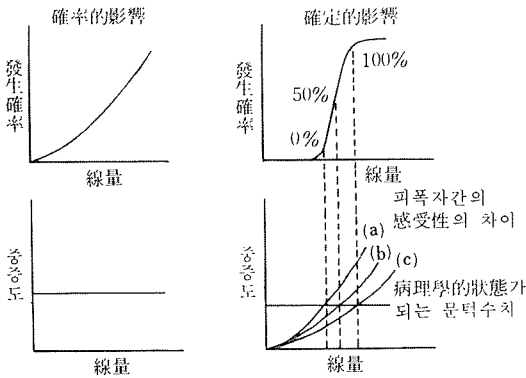
방사선에 의한 장애가 발생하는 가능성이 있는지의 여부는 입은 선량에 관계됩니다. 입은 선량이 많은 경우에는 병이 발생하지만, 선량이 적은 경우에는 병의 발생을 염려할 필요가 없습니다.

각각의 영향에 의한 선량반응관계, 선량 영향관계를 도표에 표시합니다. 「선량반응관계」는 선량과 발생확률, 「선량영향관계」는 선량과 영향의 중증도(Severity)의 관계를 나타낸 것입니다.

확정적 영향의 선량반응관계에는 문턱선량이라고 하는 영향이 발생하는 최소의 선량이 있어, 이 문턱 선량을 초과하여 피폭된 경우가 아니면 영향이 발생하지 않습니다. 문턱 선량을 초과한 경우에는 선량의 증가와 더불어 영향이 발생하는 빈도가 증가하여, 어떤 선량에 달하면 100퍼센트 사람에게 영향이 발생하게 됩니다. 또한 확정적 영향의 선량영향관계는, 문턱 선량을 초과하여 피폭된 경우에는 선량의 증가와 더불어 영향의 중증도가 무겁게 됩니다. 이를테면 피부의 영향을 고려했을 경우, 선량이 낮은 경우의 증상은 일시적으로 피부가

붉게 되거나 탈모가 되지만 선량이 높아지면 潰瘍이나 壞死등의 증상이 나타나게 됩니다. 生殖腺의 경우에는 선량이 낮은 경우에는 일시적 불임이지만, 입은 선량이 높아지게 되면 영구 불임이 됩니다.

확률적 영향의 선량반응관계는, 문턱 선량이 존재하지 않는 직선관계를 가정하여 적은 선량에도 선량의 증가와 더불어 영향의 발생율이 증가한다고 간주되어 있습니다. 실제로 인간을 대상으로 하는 疫學조사 결과에서는 어느 정도이하(200밀리 시버트)의 피폭선량의 경우에는 암의 발생율이 증가하지 않고 있기 때문에, 문턱 선량이 존재하지 않는다고 생각하는 것이 생물학적으로 옳은 것인가에 대한 논의가 많습니다. 현재로서는 「문턱 선량이 존재하여, 낮은 선량, 낮은 선량율의 피폭으로는 암이나 유전적 영향은 증가하지 않는다」라고 명백히 말할 수 없습니다. 따라서 방사선 방호를 위한 기준과 같은 것을 만드는 근거로서는, 안전 제일로 생각하는 것이 타당하다는 판단에서 생물학적인 정보가 충분하지 않은 확률적 영향의 선량반응관계는, 문턱 선량이 존재하지 않고 낮은 선량에서도 선량의 증가와 더불어 영향의 발생확률이 증가하는 것으로 가정하고 있습니다. 또한 확률적 영향의 선량영향관계는 선량에 관계없이 일정합니다. 다시말해 낮은 선량에서 발생하는 가능성이 있는 암(또는 유전적 질환)도, 높은 선량에서 발생하는 암(또는 유전적 질환)도, 증상, 중증도의 정도는 같다고 하는 것입니다.



a) 가장 감수성이 높은 서브그룹 (b) 중간의 감수성을 지닌 서브그룹 (c) 가장 감수성이 낮은 서브그룹

도표 확률적 영향과 확정적 영향의 선량 반응관계 및 선량영향관계

[ICRP Publ.41 「電離방사선의 비확률적 영향」에서]

문16 확정적 영향의 중심

입은 선량이나 방사선을 입은 부위에 따라 병이나 정도는 다를까요?

답: 다릅니다. 인간의 신체 조직·장기는 방사선에 대한 감수성이 각각 다르며 나타나는 병이나 정도가 다릅니다.

감수성이 높은 조직·장기는 감수성이 낮은 조직·장기에 비해 낮은 선량의 피폭으로 영향이 나타납니다. 확정적 영향에 대한 감수성은 원칙적으로 세포분열을 되풀이하는 세포를 포함하는 조직·장기(적색 골수, 消化管, 피부 등) 쪽이 높다고 할 수 있습니다. 조직·장기마다 확정적 영향에 대한 감수성의 차이는 문턱 선량에 의해 나타낼 수가 있습니다.

여러가지 확정적 영향의 문턱 선량을 표에 제시합니다. 문턱 선량의 값은 감수성이 높은 사람에게 나타나는 영향의 선량입니다. 사람의 집단은 유전적으로 균일하지 않기 때문에 같은 장기를 가진 경우에도 감수성은 개인에 따라 다르기 때문에 감수성이

높은 사람도 있고 낮은 사람도 있습니다. 확정적 영향의 문턱 선량을, 사람의 방사선 영향에 관한 식견을 바탕으로 하여 방사선을 입은 사람들의 1~5 퍼센트에 영향이 나타난 선량으로 하고 있기 때문에 집단 중의 감수성이 높은 사람에게 영향이 나타나는 선량이라는 것이 됩니다. 확정적 영향에 대한 선량반응관계는 문 15에 나타난 바와 같이 S자형의 곡선을 나타내며, 문턱 선량이 가까운 방사선을 입었을 경우 우선 감수성이 높은 사람에게 영향이 나타나고, 다음에 어느 선량까지 이르게 되면 100퍼센트의 사람에게 영향이 나타나게 됩니다.

나타나는 영향·장해의 종류는 조직·장기에 따라 다릅니다. 피부에 문턱 선량을 초과한 방사선을 입었을 경우에는 赤色, 탈모, 落屑(표피의 일부가 벗겨지는 상태) 등이 나타납니다. 생식선의 경우에는 남성의 경우 일시적인 불임이 나타납니다(일시적인 불임은 수개월 동안에 회복됩니다). 선량이 높을수록 남녀 모두 불임은 영구적이 됩니다(문 18참조). 눈의 경우에는 수정체의 混濁 내지 백내장이 발생합니다. 선량이 높을 경우에는 結膜炎 등도 나타납니다. 이와 같이 각각의 조직·장기의 기능이나 형태에 관계되는 영향이 나타나는 것이 됩니다만, 이러한 영향·장해는 방사선을 입었을 경우에만 나타나는 특유한 증상은 아닙니다. 이를테면 피부의 적색현상은 통상의 열에 의한 화상을 입었을 경우에도 나타나는 증상입니다. 눈의 수정체 혼탁은 노화에 의한 생리적인 변화, 즉 노인성 백내장으로서도 나타납니다. 따라서 상당한 선량을 입었을 경우에도 나타난 증상을 보는 것만으로는 그것이 방사선 장해라 판단할 수 없습니다. 방사선 장해라 진단을 내리려면 각각의 영향·장해의 문턱 선량을 초과한 방사선을 입었다고 하는 객관적인 사실이 필요합니다.

表 各組織·臟器의 確定的影響의 문턱 線量 (低 LET 放射線)

組織·臟器	影響	急性피폭	慢性피폭
精 巢	一時的不妊	0.15 Gy	0.4 Gy/年
	永久不妊	3.5~6 Gy	2.0 Gy/年
卵 巢	永久不妊	2.5~6 Gy	>0.2 Gy/年
	水 晶 體	白內障 低LET	5(2~10) Gy
高LET		0.6~5 Gy	
	水晶體混濁	0.5~2 Gy	>0.1 Gy/年
造血藏器	機能低下	0.5 Gy	>0.4 Gy/年

* 線量率 0.1 Gy/分以上 **線量率0.1 Gy/時以下.

[ICRP Publ. 60에서]



문17 조기 영향

방사선을 입었을 경우 기분이 나쁘거나 머리털이 빠지거나 피부가 붉게 변하는 일이 있는가요?

답: 있습니다. 일상적으로는 생각할 수 없는 대량의 방사선을 비교적 짧은 시간내에 입으면, 방사선을 입은 부위에 피폭 후의 빠른 시기에 방사선 장애가 나타나는 경우가 있습니다. 이것을 조기영향이라 합니다.

어떠한 조기영향이 나타나는가는 방사선을 입은 부위와 피폭선량에 따라 다릅니다.

피부에 문턱 선량을 초과한 량의 방사선을 입게되면 피부가 붉게 되거나 (發赤내지 紅斑이라 합니다). 털이 빠지거나 합니다 (탈모라고 합니다). 선량이 보다 높을 경우에는 피부가 潰瘍이 되기도 합니다.

전신에 대량의 방사선을 입게되면 구토증이 있거나 기분이 나쁠 수도 있어, 입은 선

량이 높을 경우에는 죽는 일도 있습니다.

대량의 방사선을 입은 후 비교적 단시간, 다시말해 수주간 이내에 나타나는 이러한 영향을 조기영향이라 부르고 있습니다.

조기영향은 모두 확정적 영향으로도 구분됩니다. 문 16의 표에 나타난 확정적 영향의 문턱 선량치에도 알 수 있듯이 조기영향은 대량의 방사선을 입었을 경우가 아니면 절대 발생하지 않습니다. 따라서 방사선에 의한 조기 영향이 나타나는 가능성이 있다고 하면, 사고에 의한 대량의 방사선을 비교적 단시간에 입었을 경우 뿐입니다

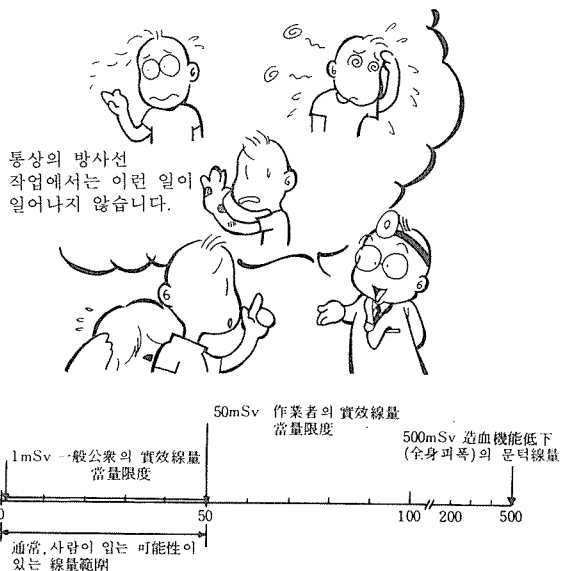


圖 確定的影響의 文턱線量과 作業者 및 一般公衆의 實效線量當量限度

최근의 예로는 체르노빌 원자력 발전소의 사고, 고이아니아의 세슘-137에 의한 오염사고, 산살바도르의 코발트線源의 취급 부주의에 의한 과잉 피폭사고 등의 사례가 있습니다만, 모두가 대량의 방사선을 단시간에 입은 것입니다.

방사선 작업자가 입는 선량의 상한치(선량당량 한도)의 값은 조기영향의 문턱 선량에 비해 상당히 낮게 설정되어 있기 때문에

통상의 방사선 작업으로 조기영향이 발생하는 경우는 있을 수 없습니다.

문18 불 임

生殖腺에 방사선을 입으면 아이가 생기기 어려운가요?

답: 통상의 방사선 작업이 원인으로 불임이 되는 일은 없습니다.

아이가 생기지 아니하는, 또는 생기기 어려운 것을 불임이라 합니다. 불임의 원인으로 여러가지 생각할 수 있습니다. 사고 등에 의해 생식전에 대량의 방사선이 피폭된 경우에도 불임이 됩니다.

방사선에 의한 불임에는 表에 나타난 문턱선량이 있어, 이 문턱 선량을 초과한 방사선을 생식선(여성에는 卵巢, 남성에는 精巢)에 입었을 경우가 아니면 불임이 되지 않습니다.

문턱 선량을 초과한 경우에도 입은 선량이 적었을 경우에는 일시적인 불임입니다. 다시말해 방사선을 입은 후 얼마동안 임신하기 어렵게 되지만, 수개월이 지나면 다시 아이가 생길 수 있게 됩니다. 이에 반해 선량이 높게 되면 영구 불임이라고 하여 영구적으로 임신이 불가능하게 됩니다.

일시적 불임은, 남성은 精巢에 0.15시버트, 여성은 卵巢에 0.65 시버트 이상의 방사선을 입었을 경우에 발생하는 가능성이 있습니다.

한편, 精巢에 3.5 시버트 이상, 卵巢에 2.5 시버트 이상의 방사선을 입은 경우에는 영구 불임이 됩니다.

선량의 정도에 의해 일시적 불임과 영구적 불임이 있는 것은 생식선 속의 생식에 관계되는 세포(생식 세포)의 발육단계(남성:精原세포, 精母, 精子세포, 精子, 여성:卵原세포, 卵母세포, 卵子)에 따라 방사선에 대한 감수성이 다르기 때문입니다. 남성의

생식세포에 있어 성숙된 精母세포는 비교적 감수성이 높아 다른 생식세포에 비해 낮은 선량으로 세포사(死)가 일어나 일시적 불임이 됩니다. 또한 선량이 높아지면 精子를 만들어내는 원천이 되는 精原세포는 세포사를 일으켜 영구 불임이 됩니다. 여성의 생식세포에 있어서는 제2차 卵母세포의 감수성이 높고, 제1차 卵母세포의 감수성은 낮습니다.

방사선 작업자의 상한 선량은 선량한도로서 제한되어 있기 때문에 통상의 방사선 작업시에 생식선에 일시적 불임내지 영구 불임이 발생할 정도의 선량을 입는 가능성이 없습니다. 따라서 방사선 작업이 원인이 되어 불임이 발생하는 일은 있을 수 없습니다.

불임은 여러가지 원인으로 발생합니다. 그러므로 방사선 작업에 관계없이 부부 어느 쪽 내지 양쪽에 원인이 있어 아이를 낳지 못하는 부부, 즉 불임의 부부가 1할 정도 있다는 것을 염두에 둘 필요가 있습니다.

表 不妊에 관한 문턱線量 (急性피폭의 경우)

性 別	一般的不妊	永久不妊
男性	0.15 Gy	3.5~6 Gy
女性	0.65~1.5 Gy	2.5~6 Gy



문19 胎兒의 장해

배 속에 아이가 있을 경우에 방사선을 입었을 때, 그것이 원인으로 태어나는 아이가 기형아이거나, 몸이 왜소하거나, 또는 지능 지체아일 경우가 있는지요?

답: 통상의 방사선 작업에서 입은 방사선이 원인이 되어 기형아나 지능 지체아가 생기는 일은 없습니다.

인간의 아기는 어머니의 배 속에서 약 9개월 동안 자라납니다. 이 시기의 아기를 태아라 부릅니다.

卵子와 精子가 수정하는 단계에서는 오직 1개였던 세포가 여러번 세포분열을 되풀이하여, 9개월이 되면 1조개 이상의 세포로 이루어진 약 3킬로 무게의 개체로 성장됩니다. 세포분열을 활발히 되풀이하는 집단세포일수록 감수성이 높고 방사선 등의 영향을 잘 받기 때문에, 태아는 아동이나 성인에 비해 감수성이 높다고 할 수 있습니다.

태아의 시기에는 세포가 분열하는 것 뿐만 아니라 개개의 조직이나 장기로 분화됩니다. 따라서 어느 시기에 방사선을 입었는가에 의해 나타난 영향도 다릅니다.

태아의 방사선 피폭에 의해 발생하는 가능성이 있는 태아 특유의 영향 중 주요한 것은 다음 세가지입니다.

- ① 유산 (태사망)
- ② 기형
- ③ 지능 지체 (정신발달 지체)

각각의 경우 영향의 감수성이 높은 시기는 다르며, 상기 세가지 영향은 확정적 영향으로 분류됩니다. 문턱 선량이 존재하여, 감수성이 높은 시기에 이 문턱 선량을 초과한 피폭이 아닌 경우 영향이 발생하지 않습니다. 表에 세가지 영향의 감수성이 높은 시기와 문턱 선량의 값이 있습니다. 여성 작업자의 복부 선량은 3개월 동안 13밀리시버트로 제한이 되어 있기 때문에 통상의 방사선 작업으로 태아의 영향이 문제되는 경우가 없습니다. 젊은 여성이 임신하여 방사선 작업을 했을 경우, 배속의 아기 선량을 추정할 수 있도록 복부에 개인 모니터를 부착할 필요가 있습니다.

다른 영향과 마찬가지로 태아의 경우도 방사선 이외의 환경 중에 여러가지 요인으로 발생하는 가능성이 큼니다. 따라서 방사선 작업자의 경우도 방사선 피폭과는 관계없이 기형아 등을 출산하는 가능성이 충분히 있습니다. 방사선 피폭과는 관계가 없는 선천 이상아 (심장 기형과 같은 重症의 기형에서 血管腫과 같은 輕症 등을 포함)의 발생율은 신생아 100만당 약 6만, 즉 약 6 퍼센트로 알려져 있습니다.

表 胎兒에의 影響

影 響	感受성이 높은 時期	문턱線量
流 産	受精~15日	0.1 Sv
奇 形	受精後 2~8週	0.1 Sv
知能遲滯	受精後 8~15週	0.12 Sv



문20 방사선과 신체적 영향

방사선에 의해 발생한 장애는 회복이 가능한지요? 또한 방사선을 입은 것으로 감기에 잘 걸리거나 신체가 허약하게 되는 일은 없는지요?

답: 방사선에 의해 발생한 영향·장애가 회복될 것인지 아닌지는 입은 선량과 관계가 있습니다. 또한 통상의 방사선 작업에는 방사선 장애라 알 수 있는 영향·장애는 발생하지 않도록 관리되어 있습니다.

방사선이 원인이라 뚜렷히 알 수 있는 영향·장애는 사고 등에 의해 대량의 방사선을 입은 경우가 아니면 발생하지 않습니다. 또한 방사선을 입은 것에 의해 발생한 장

해가 회복될 수 있는지는 입은 선량과 관계가 있습니다. 선량이 적은 경우 나타난 영향은 일시적인 것으로 어느 기간이 지나면 원상으로 회복합니다. 그러나 선량이 높을수록 장애의 정도는 차츰 무겁게 되어 회복이 어려워집니다.

이러테면 사고 등에 의해 피부의 일부에 한꺼번에 대량의 방사선을 입은 경우를 생각해 봅시다. 입은 선량이 3~5 시버트의 경우 피부가 붉게 되거나 털이 빠지지만 이것은 일시적인 것으로 수개월 지나면 피부는 원상 회복이 됩니다. 5~10 시버트의 경우에는 화상을 입은 경우처럼 물집이 생기지만, 이것도 수개월이 지나면 피부는 원래대로 회복이 됩니다. 그러나 방사선의 양이 25 시버트를 초과하면 방사선을 입은 부위의 피부에 潰瘍이 생겨, 潰瘍이 치유된 이후에도 피부 표면(표피)가 얇게 되거나 피부 밑의 조직이 딱딱하게 되거나 두텁게 되고, 또한 피부에 색소의 의한 얼룩(색소이상)이 생기기도 하여 원래대로의 피부로 회복되는 일이 없습니다.

어느 쪽이든 이런 장애가 나타나는 선량은 방사선 작업자의 피폭 선량의 상한치(선량한도)에 비해 훨씬 높은 선량입니다.



또한 방사선 작업자가 통상의 작업 과정에서 방사선을 입은 것으로 감기에 걸리기 쉽거나 신체가 허약하게 되는 일은 없습니다. 감기에 걸리기 쉽거나 신체가 허약하게 되는 것은 신체의 면역 기능과 관련이 있는 것으로 생각됩니다. 면역에는 임파계의 세포나 골수계의 세포 등 여러 종류의 세포가 관련이 있지만, 면역과 관계가 있는 여러가지 세포의 변화는 백혈구가 감소하는 정도의 방사선을 입는 경우가 아니면 발생하지 않는 것으로 생각됩니다. 따라서 통상의 방사선 작업으로 면역 기능에 변화가 일어나는 일은 없습니다.

문21 방사선과 암의 관계

방사선을 입은 사람은 반드시 암에 걸리는 건가요?

답: 입은 선량이 수백 밀리 시버트이하의 경우에는 방사선에 의해 암에 걸리는 가능성은 거의 없습니다.

암은 사람의 신체 중에 있는 일부의 세포가 이상하게 계속 增殖하여 정상적인 장기나 몸 전체에 확산되는 것입니다. 어떻게 하여 정상적인 세포가 암 세포로 변하는가에 대해서는 명백히 밝혀지지 않았지만, 복수의 요인이 관련된 것으로 생각되고 있으며 방사선이 전혀 관여하지 않더라도 암은 발생합니다. 방사선 피폭과 관계없이 발생하는 암을 자연암이라 부르고 있습니다. 일본에서 자연암으로 죽는 비율은 현재 27 퍼센트로, 약 4명 중 1명 꼴로 암이 원인이 되어 사망하고 있습니다. 따라서 방사선 작업자라도 방사선 피폭 유무에 관계없이 4명 중 1명이 암으로 죽는 가능성이 있는 것입니다.

방사선을 입은 경우, 이 자연 발생의 비율보다 암에 걸리는 확률이 높은 것인가에 대해서는, 히로시마(廣島)·나가사키(長

崎)의 원폭 피폭자를 대상으로 조사한 것에 의하면, 500밀리 시버트보다 높은 선량의 방사선을 입은 사람들에게는 암의 발생율이 자연암보다 증가한다는 사실은 밝혀졌지만, 200밀리 시버트보다 낮은 선량의 피폭 집단에게는 암의 발생율이 증가한다는 사실은 인정하지 않고 있습니다 (95퍼센트 신뢰 한계). 그러므로 입은 방사선의 양이 수백 밀리 시버트 이하의 경우에는 암의 증가한다는 염려는 없는 것으로 생각해도 좋다고 생각합니다.

한편, 암은 방사선 방호상 확률적 영향으로 구분되어, 영향의 발생에는 문턱 선량이 존재하지 않는 것으로 가정하고 있습니다. 그러므로 적은 피폭 선량으로도 암에 걸린다고 염려하는 사람들이 많지만, 이것은 방사선 방호기준을 작성하거나 방사선 방호수단을 고려할 때 사용되는 안전측의 가정에 지나지 않으며, 실제 이런 빈도로 암이 발생하는 것은 아닙니다. 왜 이런 가정을 두는가 하면 다음과 같은 이유 때문입니다.

앞에도 말한 바와 같이 사람의 疫學조사 내지 세포나 동물을 이용한 실험에서는 低線量·低線量率 피폭의 경우 암이 증가한다는 것은 인정하지 않지만, 이런 사실에서 암발생에 문턱선량이 있다고 단정할 수는

없습니다. 왜냐하면 현 시점으로는 암이 되는 과정을 다음과 같이 생각하고 있기 때문입니다. 암이 되는 최초의 변화는 세포의 핵중에 있는 DNA에서 생긴 상처라고 일컬어지고 있습니다. DNA에 생긴 상처의 대부분은 원래대로 치유되지만, 원상회복이 안된 일부의 상처는 수년 내지 수십년이라는 긴세월 (잠복기간) 후에 암 세포로 변화하는 가능성이 있습니다.

을 하기 때문에 낮은 선량의 경우일지라도 매우 낮은 확율이나마 암을 유발하는 원인이 될 수 있는 것입니다.

문턱 선량이 없다고 가정했을 경우의 선량(실효선량 당량)과 암의 증가 비율을 표에 제시합니다. 표에서도 알 수 있듯이 低線量 피폭의 경우, 암 증가의 가능성은 數퍼센트이며 자연발생 암의 비율에 비해 그 가능성은 적다고 생각할 수 있습니다.

表 문턱線량이 없다고 가정했을 경우에 암으로 사망

1mSv/年の 피폭을 0歲~평생 계속했을 경우	0.4%
2mSv/年の 피폭을 0歲~평생 계속했을 경우	0.8%
10mSv/年の 피폭을 18~65歲까지 계속했을 경우	1.8%
20mSv/年の 피폭을 18~65歲까지 계속했을 경우	3.6%

{BEIR-V, NRC, 1990에서}