

방사선 노출과 암

단국대학교 의과대학 예방의학교실
하 미 나

Radiation Exposure and Cancer

Mina Ha

Department of Preventive Medicine, Dankook University Colleg of Medicine, Cheonan, Korea

방사선 노출의 건강영향

방사선 노출이 건강에 미치는 영향은 1945년 일본 히로시마 나가사키에 투하된 원자폭탄에 희생되거나 생존한 사람들에게 대한 체계적인 역학연구를 통해 비로소 과학적으로 알게 되었다고 할 수 있다. 원폭생존자에 대한 장기적인 추적을 통한 역학연구는, 특히 방사선피폭과 암 발생과의 관련성에 대한 '황금기준(Gold standard)'으로 역할을 하고 있다.¹⁾

방사선에 피폭된 세포는 크게 3가지 반응을 일으킬 수 있다. 사멸하거나, 악성으로 변하거나, 돌연변이를 일으키거나. 세포가 사멸하면 조직이나 장기 수준에서는 여러 가지 건강 문제가 발생할 수 있다. 대부분 고선량의 방사선 피폭에서 발생하는 급성 혹은 아급성 건강영향이 이러한 세포사멸의 기전에 의한다. 세포가 사멸하지는 않지만, 세포안의 DNA가 손상을 받은 채로 살아남아 악성으로 변하는 수가 있는데 이것에 의해 발생하는 것이 암이다. 또 이러한 DNA의 손상이 생식세포(정자, 난자)에서 생기면, 다음 세대에서 돌연변이나 기형 등의 유전적인 영향이 발생할 수 있다.

따라서, 세포가 사멸되느냐 아니냐에 따라 방사선 피폭

으로 인한 건강영향은 크게 두 가지 유형으로 나타난다. 첫 번째 유형은 어느 정도 이상의 높은 선량에 피폭되어 야 나타나며, 피폭된 후 수분 혹은 수개월, 길게는 수년 후 까지도 나타날 수 있는 건강 문제들이다. 원자폭탄이 터졌을 때 가까이에서 피폭된 사람들이나, 체르노빌 핵발전소 사고 수습에 참여하였던 근로자들 중에서 많이 보였던 '급성 방사선 조사 증후군'이라는 것은 갑자기 1 Sv(1,000 mSv) 이상의 매우 높은 선량에 피폭되었을 때에 수분에서 수 시간 사이에 생기는 심한 신체 증상이다.²⁾ 머리가 아프고 출혈, 감염, 설사 등의 증상에서부터, 순환기, 호흡기, 중추신경계의 기능에 문제가 생기고, 더 심한 경우에는 사망에 이른다. 또 피부화상, 탈모, 불임, 구역질, 백내장과 같은 문제가 발생할 수 있다. 임신부가 높은 선량의 방사선에 피폭되는 경우 태어난 아기에서 정신지체나 지능저하가 생길 수 있다. 피폭된 양에 비례해서 누구에게나 나타나기 때문에 이것을 '결정론적 영향(deterministic health effect)'이라고 한다. 이 결정론적인 영향에는 문턱 선량(threshold)이 있다. 영향이 반드시 나타나지는 않지만, 그것이 어느 정도 이하의 방사선 양에서는 아예 나타나지 않는다, 말하자면 '전혀 영향이 없는' 수준이 있고, 그걸 넘어선 후부터는 누구에게나 영향이 나타난다. 결정론적 건강영향이 나타날 수 있는 최소한의 선량은 통상 100 mSv인데, 적어도 이 선량 이상에서만 혈액학적 검사에서 이상소견이 나타날 수 있다.²⁾

두 번째는 확률론적 건강영향이다. 영향이 어떤 사람에게서 나타나는지, 어떤 사람에서는 나타나지 않는지

교신저자 : 하미나, 330-714 충남 천안시 안서동 산9
단국대학교 의과대학 예방의학교실
전화 : (041) 550-3854 · 전송 : (041) 556-6461
E-mail : minaha@dku.edu

음 세대에서 나타나는 유전적인 영향이 여기에 속한다. 암과 유전영향은 많이 피폭되면 더 높은 확률로, 적게 피폭되면 적은 확률로 문제가 발생한다. 즉, 결정론적 영향과는 달리 문턱 선량이 없고, 혹은 “zero threshold”의 양-반응 관계, 즉 아무리 적은 선량이라도 암 발생의 위험을 나타낸다고 생각하고 있다.²⁾ 피폭선량이 적으면(피폭된 사람 중에) 적은 비율의 사람에서, 피폭선량이 많으면(피폭된 사람 중에) 많은 비율의 사람에서 암과 유전영향이 발생하는 것이다.³⁾ 암과 유전영향은 방사선에 피폭된 후 적어도 수 년 후, 보통은 수십 년 후 혹은 다음 세대에 나타나는 것이어서 당장은 아무런 문제가 느껴지지 않는다. 거의 대부분의 종류의 암이 방사선에 피폭되어서 발생할 수 있다.⁴⁾ 백혈병, 유방암, 대장암, 간암, 방광암, 식도암, 위암, 폐암, 난소암, 뇌종양 등이 발생할 수 있다. 그러나 만성림프구성 백혈병이나, 호지킨 병, 자궁경부암과 전립선암은 방사선과 관련이 없는 것으로 생각하고 있다.

저선량 방사선 노출과 암

그런데, 아주 낮은 선량에 피폭되었을 때 암이 확률적으로 발생한다는 것이 역학적 자료를 통해 과학적으로 증명되었는가? 실제로 방사선에 피폭되었던 사람들에게 대한 연구를 통해 직접 확인된 선량으로는, 일본의 원자폭탄 생존자들의 평균 피폭량이 200 mSv,⁵⁾ scoliosis 환자에서 사용된 의료용 X-ray(유방피폭선량)가 100 mSv,⁶⁾ 원자력발전소 근로자들에서 19.4 mSv,⁷⁾ 그리고 가장 낮은 선량으로는 10 mSv 인데, 이것은 태아 때 방사선에 피폭되어서 어린이 백혈병이 발생하는 경우이었다.⁸⁾

이보다 더 낮은 선량에 피폭되는 부분에 대해서는 적어도 10 mSv 이상의 높은 선량에 피폭된 실제의 자료를 가지고 통계적인 모델을 만들어서, 낮은 선량에서의 암 위험을 추정한다. 따라서 이러한 추정에는 다양한 통계적인 모델링이 존재할 수 있다. 다양한 통계적 모델은 모두 방사선량이 증가함에 따라 암 발생 위험이 증가한다는 것에는 동일하나, 문턱선량의 존재여부와, 암 발생위험 증가의 형태를 다르게 가정할 수 있다(Fig. 1).

실제로 방사선에 피폭된 사람들에게 대한 연구(역학연구) 자료들에 근거해서 매우 낮은 저선량에서의 암 발생 위험을 추정하는 데에는 이 여러 가지 모델들 중에 역치가 없

는 선형 모델(a)이(Linear No Threshold, LNT) 가장 타당한 것으로 받아들여지고 있으며,^{2,3,9)} 이 모델에 근거하여 전리방사선의 피폭에 관한 안전관리 기준을 설정하고 있다.⁴⁾ 고형암(solid cancer)의 경우에는 역치가 없는 선형모델(a)을, 백혈병과 같은 혈액암은 곡선모델(c)에 가장 잘 부합되는 것으로 판단한다.³⁾

그런데 저선량 피폭의 생물학적 영향에 대한 실험실 연구를 진행하던 중에 방사선에 노출시킨 세포 옆에 있던 방사선에 노출되지 않은 세포에서도 DNA에 손상이 일어나는 것을 우연히 발견하였는데 이것을 ‘구경꾼 효과(bystander effect)’라고 한다.¹⁰⁾ 이런 현상은 b 모델이 잘 설명해 줄 수 있다. 즉 피폭된 방사선량과 비례하여 직선적으로 반응이 증가하는 것보다 더 심한 반응이 나타나는 것이다.

d 모델은 일정 선량 이상에서 암 발생이 일어나고 그 이하에서는 암 발생의 위험이 없다고 가정하는 것, 즉 암발생에서 문턱선량을 가정하는 것이다. e 모델은 어떤 선량 이하에서는 오히려 암 예방의 효과가 있을 것이라고 생각하는 것인데, 이것을 호메시스(hormesis) 효과라고 한다. 호메시스 효과는 낮은 방사선량은 오히려 면역기능을 촉진시켜서 신체가 더 잘 적응하도록 한다는 이론인데, in vitro 세포 실험에서는 관찰이 되기도 하는 현상이지만,¹¹⁾

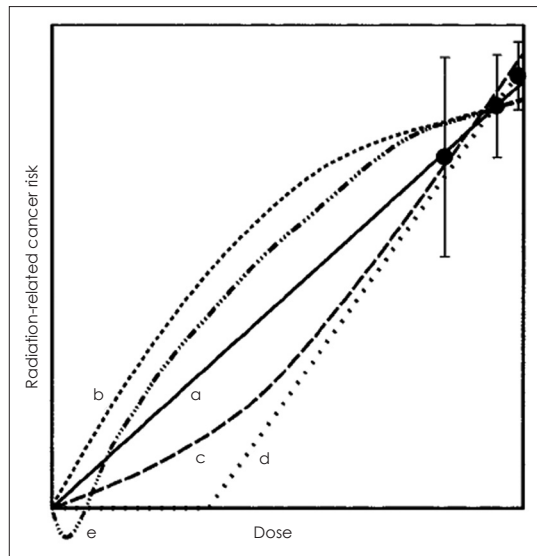


Fig. 1. 피폭방사선량과 암발생 위험간의 관련성에 대한 여러 가지 모델. a: 역치가 없는 선형모델, b: 감소하는 곡선, c: 증가하는 곡선, d: 역치가 있는 선형모델, e: 호메시스 모델.¹¹⁾

실제로 방사선에 피폭된 사람에 대한 역학연구에서 이를 증명하는 현상을 발견하지 못하였다.^{1,3,10,12)} 실제로 전리방사선에 피폭된 사람에서 다양한 면역학적 지표를 검사한 연구들을 종합한 UNSCEAR의 보고에 의하면, 고선량 피폭에서는 일관되게 세포사멸에 의한 면역기능의 억제현상이 보고되고 있으나, 저선량에서는 주로 세포면역기능(cellular immunity)은 감퇴되고, humoral immunity는 증가하며, 염증 profile이 상승되는 결과를 보고하고 있다.¹⁾ 또 일부에서는 역학적 연구에서 호메시스를 보인다고 주장되는 일부 의견도 있으나, 이 때 거론되는 역학적 연구들은 모두 노출요인-건강결과간의 인과관계를 설명할 수 없는 소위 생태학적 연구(ecological study)에 의거하고 있으며, 분석역학적인 연구에 의해서는 어떠한 근거도 제시되지 못하였을 뿐 아니라, 현재까지 축적된 저선량에 관한 역학적 연구 자료를 전혀 설명해 내지 못한다는 점이 지적되었다.³⁾

이러한 in vitro 세포 수준에서 발견될 수 있는 하나의 현상인 호메시스 효과에 근거하여 저선량의 전리방사선이 건강에 오히려 이로울 수 있다는 논리를 세우고 또 이에 기반하여 피폭관리 기준을 설정하게 된다면 매우 심각한 오류가 발생하게 된다.¹²⁾ 그것은 세포 수준에서는 호메시스 효과 뿐 아니라 구경꾼 효과(bystander effect)도 발견되는데, 이러한 점들을 무시하고 일부 지엽적인 미시적 현상에 근거하여 인체라고 하는 거시적 수준에서의 건강문제로 확대해석하는 것에는 논리적인 비약이 존재한다는 점이다. 설혹 거시적인 수준에서 어떠한 유형의 건강영향에서 면역기능(humoral immunity)이 향상된다고 가정하더라도, 다른 유형의 건강영향에서는 면역기능(cellular immunity)을 포함한 다른 생리적 기능이 악화될 수 있다는 점이다. 이것은 마치 일정정도의 알콜섭취가 심혈관계질환으로 인한 사망률을 감소시켜주기도 하지만, 명백히 유방암 및 소화기계암의 발생위험은 증가시키는 데도 불구하고, 심혈관계질환에 대한 사망률 감소효과에 근거하여 알콜섭취에 대한 허용기준을 높게 설정하게 되는 것과 같은 결과가 되는 것이다(물론 현재 우리에게 알콜섭취의 허용기준이란 것은 없다!). 혹은 흡연이 파킨슨병의 발생위험을 감소시켜 준다는 것에 근거하여 명백한 발암물질로서의 흡연을 권장(?)하게 되는 것과 같은 것이다. 또 다른 한편으로는, 전리방사선은 미성숙하고 세포분

열이 활발하게 일어나는 세포에 현저히 더 민감하게 반응하는 소위 '방사선 민감성(radiosensitivity)'이란 특성을 가지고 있다는 사실이 이미 알려져 있다. 이것은, 사회의 구성원 중 방사선에 훨씬 민감한 특정 그룹의 사람들, 즉 어린이 및 임산부가 존재한다는 것을 의미하는데, 전 사회 구성원을 대상으로 설정하게 되는 관리 기준은 이러한 민감 그룹까지 보호될 수 있는 기준이어야 한다. 그런데 호메시스 효과에 근거하면 세포수준에서 혹은 개체수준에서의 '방사선민감성'의 문제를 전혀 포괄해 내지 못한다. 뿐만 아니라 현실에서의 전리방사선 피폭은 대체로 자연방사선으로 인한 피폭인 배경방사선(background radiation)과 직업상 노출되는 직업적 방사선에 이미 피폭되고 있는 상황이어서, 여기에 부가적으로 이루어지는 방사선 피폭이 존재한다면, 실제로는 측정된 피폭량보다 훨씬 높은 수준의 선량에 피폭되고 있다고 보아야 한다. 따라서 '기존 피폭'에 부가적으로 일어나는 선량에 대한 관리기준은 이러한 점을 감안하여 더 보수적으로 설정되어야 하는 것이 원칙이 된다. 이러한 모든 점을 감안하여 공중보건 정책에서는 낮은 선량의 방사선의 영향에 대해서 '역치가 없는 선형모델'(Linear No Threshold, LNT)을 가장 타당한 것으로 생각하고 이것에 근거해서 모든 정책과 관리 기준을 마련한 것이다.

전리방사선의 피폭에 따른 암발생 위험의 크기는 얼마나 될까? 미국립과학원에서는 100 mSv 추가될 때, 1/100의 확률로 암 발생위험이 증가한다고 제시하고 있으며,³⁾ 국립방사선방호위원회에서는 1 Sv(1,000 mSv) 피폭당 5/100의 확률로 암 발생위험이 증가한다고 보고하고 있다.⁴⁾ 현재 전리방사선 피폭의 관리 기준은 일반인에서 연간 1 mSv 이하로 설정되어 있는데, 이것은 만일 연간 1 mSv에 피폭된다면 대략 10,000분의 일에서 1,000,000분의 일 정도의 확률로 암이 발생할 수 있는 피폭 수준이 된다. 이 정도의 위험은 참을만한 수준(tolerable risk) 혹은 받아들일만한 수준(acceptable risk)으로서, 통상 발암성이 있는 유해물질의 관리기준을 정하는 기준이 된다.¹³⁾ Zero threshold의 위험을 가진 유해인자에서 관리기준이란 이처럼 완벽한 안전을 보장해 주는 것이 아니며, 현실적으로 그 사회가 감당하고 받아들일 수 있는 최저수준의 노출이라 할 수 있다. 이에 따라 방사선 피폭관리의 원칙은 가능한 낮은 수준으로 줄인다고 하는 '알랄라'(ALARA, as low as reasonably achi-

evable)가 된다.⁴⁾ 이것은 방사선이 주는 위험을 가능한 최소한으로 낮추되, 비용과 기술 등의 현실성을 고려해서 실행이 가능한 수준까지 줄인다고 하는 것을 말한다.

자연방사선 노출과 암

우리 생활주변에는 자연적으로 발생하는 방사선이 많다. 2007년에 우리나라 사람들을 조사 연구한 자료에 의하면, 일반 국민 1인당 연간 방사선에 피폭되는 총량이 3.73 mSv이다.¹⁴⁾ 이중에 인공적으로 만들어진 방사선(예를 들어, 병원에서 피폭되는 의료방사선, 직업적으로 피폭되는 방사선, 핵 발전소 주변이나 사고로 인해 발생하는 낙진 등)은 20%이고 나머지 80%는 자연에서 발생하는 방사선이다(Table 1).

2000년 자연방사선의 세계 평균값은 2.42 mSv 이어서 우리나라는 자연방사선 피폭 수준이 높은 편이다. 자연 방사선 중에서도 특히 지각 감마선(0.96 mSv)이 세계 평균(0.48 mSv)보다 2배 더 높고 라돈피폭과 음식물을 통한 내부피폭도 세계 평균보다 조금 더 높다. 토양 안에도 방사성 물질들이 방출하는 방사선이 있는데 주로 반감기가 긴 것이 문제가 된다. 우라늄(U-238), 토륨계열(Th-232) 그리고 칼륨(K-40)이 대표적이다. 우리나라의 지각 감마방사선량(토양방사선)의 피폭이 높은 이유는 우리나라에 방사성 물질이 많이 들어 있는 화강암이 많이 분포되어 있

기 때문이다.⁴⁾

자연 방사선 중에 가장 많은 비중을 차지하는 것은 라돈이다. 라돈은 토양에 있는 라듐 원소가 핵분열을 하면서 나오는 기체로 반감기가 3.8일이다. 우리나라의 실내 라돈농도는 전국평균이 53 Bq/m³이며 이것은 세계평균인 39 Bq/m³ 보다 높고, 동아시아에서는 가장 높다.¹⁵⁾ 라돈은 주로 숨을 쉴 때 호흡기로 들어와 호흡기의 점막과 폐포 세포에 도달하여 알파선을 방출, 폐암을 발생시킨다. 라돈은 흡연 다음으로 중요한 폐암 발생의 원인이다. 집안의 환기, 특히 지하공간은 환기를 잘 하는 것이 중요하다.

태양활동에 의해 발생해서 지구까지 날아오는 방사선인 우주선은 태양에 가까울수록(위도와 고도가 높을수록) 피폭량이 많아진다. 지표면에 살고 있으면서도 우주선에 피폭되지만, 비행기를 타고 항공여행을 하는 사람들, 특히 매일 비행기를 타는 조종사, 승무원 등은 더 많은 우주선에 피폭되게 된다.⁴⁾

지구상에 존재하는 방사성 물질들은 주로 식물을 통해서 사람의 몸으로 들어온다. 공기 중의 방사성 물질들은 식물의 잎 등으로 직접 흡수되고, 또 토양속의 방사성 물질들은 식물의 뿌리를 통해 흡수된다. 사람은 이 식물을 직접 먹거나, 이 식물을 먹은 가축에서 나오는 우유, 달걀, 육류 등을 섭취함으로써 방사성 물질들이 사람 몸 안으로 들어오게 된다. 또 마시는 물에 포함되어 있는 미량의 방사성 물질들도 몸 안으로 들어온다.

Table 1. 한국인의 연간 총 방사선 피폭량 분포

피폭분류		집단선량(man-Sv)	개인평균선량(mSv/yr)	비율(%)	비고(UNSCEAR)
직업상피폭	원자력 및 산업	28.9	0.0006	0.02	
	의료기관	37.5	0.0008	0.02	
	소계	79.6	0.0014	0.04	
의료상피폭	X선	31,661	0.6596	17.69	
	핵의학	3,530	0.0735	1.97	
	소계	35,191	0.7331	19.66	
자연방사선	우주선*	12,418	0.2587	6.94	0.39
	지각 감마	45,980	0.9579	25.69	0.48
	흡입	64,832	1.3507	36.23	1.26
	음식물†	20,474	0.4265	11.44	0.29
	소계	143,704	2.9938	80.30	2.42
합계		178,961	3.7284	100.00	

* : 직업상 피폭중 항공승무원의 피폭, 항공여행으로 인한 피폭은 모두 우주선 피폭으로 포함하였음, † : 음식물에 의한 선량은 기존의 데이터에 Pb-210, Po-210에 의한 선량을 합산하였음¹⁴⁾

그 외 방사성 물질이 함유되어 있는 광물을 이용하는 산업원료물질들이나 산업제품들, 벽돌, 타일 등의 건축자재들로부터 방사선에 피폭될 수 있다.⁴⁾

이처럼 우리 주변에 자연적으로 발생하는 방사선이 많이 있고 이것에 늘 피폭되고 있어 이것을 '배경 방사선(background radiation)'이라고도 한다. 이러한 라돈을 비롯한 자연방사선 혹은 생활주변 방사선에 의한 피폭을 줄이는 여러 가지 대책이 필요하며 실제 우리나라를 포함하여 대부분의 나라들에서는 특히 라돈관련 대책은 국가적인 사업으로 추진 시행되고 있다. '생활주변 방사선 안전관리법'이 지난 8월에 국회에서 통과되어 내년부터 발효될 예정으로 있다.

의료 방사선 노출과 암

의료용 방사선은 핵발전소 사고같이 근처에 있는 모든 사람이 무차별로 방사선을 받게 되는 것과는 다르다. 모든 사람이 다 받는 게 아니라 의료기관을 많이 이용하는 사람일수록 많이 받게 되기 때문에 의사가 많은 곳(의료 수준이 높은 나라)에 사는 사람들이 의사가 적은 곳(의료

수준이 낮은 나라)에 사는 사람들에 비해서 진단용 방사선을 더 많이 받는다(Table 2).⁹⁾

의료용 방사선 피폭은 시간이 가면서 계속 늘어나고 있다. 우리나라도 방사선 검사의 빈도가 해가 갈수록 많아지고 있어, 향후 의료방사선으로 인한 건강문제가 더 중요해질 것으로 예상되고 있다(Table 3).

의료용 방사선은 질병의 진단과 치료를 위해 사용될 수밖에 없는 것으로 간주되고 있으나, 이로 인한 2차적인 건강영향에 대한 증거들도 많이 축적되고 있다.

미국의 암등록자료(SEER)를 분석한 결과에 의하면, 2차암(secondary cancer)이 전체 암의 약 14%를 차지하고 있는데, 이것은 일년에 만명당 약 161명의 발생율을 보이는 것이다. 그런데 이 2차암은 대부분 1차암의 치료와 관련하여 발생하는 것으로 추정하고 있다. 1차암의 치료로 사용되고 있는 항암제 약물치료와 면역치료 뿐 아니라, 방사선치료 자체가 강력한 발암성분이기 때문에 암환자에서 2차암의 강력한 위험요인으로 작용한다.¹⁶⁾ 호지킨병 환자의 경우, 30년 후에 약 25%의 환자에서 2차암이 발생하는 것으로 보고하고 있다.¹⁷⁾ 이들 호지킨병환자에서 방사선치료를 시행한 경우, 치료선량이 높을수록 2차암으로서의 유방암의 발생위험이 선량-반응적으로 현저히 증가하였는데, 4 Gy 이하의 선량으로 치료받은 환자에 비하여 40 Gy 이상의 고선량으로 치료한 환자에서 8배 유방암의 발생위험이 더 높았고,¹⁸⁾ 폐암의 경우에도 방사선치료를 하지 않은 환자에 비하여 40 Gy 이상의 고선량으로 치료한 환자에서 10배 폐암의 발생위험이 높았으며, 유의한 선량-반응관계를 나타내었다.¹⁹⁾ 또 유방암을 치료하기 위해 방사선을 사용한 경우, 반대쪽 유방에 2차적인 암이 발생하는 위험이 사용된 선량과 비례하여 증가하였고 치료당시의 연령이 어릴수록 그 위험이 현저히 증가하였다.²⁰⁾ 그런데 무엇보다도 이러한 암환자에서의 방사선 치료로 인한 2차암의 위험은 어린이 암환자에서 중요하다. 어린이 백

Table 2. Estimated annual per caput dose to the world population from diagnostic medical and dental radiological examination (1997–2007)

Health-care level	Population (million)	Annual per caput dose (mSv)		
		Medical	Dental	Total
I	1,540	1.91	0.0064	1.92
II	3,153	0.32	0.0004	0.32
III	1,009	0.03	0.000051	0.03
IV	744	0.03	0.000051	0.03
Global	6,446	0.62	0.002	0.62

* : Health-care level : number of population per doctor
 I : < 1,000, II : 1,000–<3,000, III : 3,000–<10,000, IV : 10,000 or more⁹⁾

Table 3. 우리나라의 CT 검사 수 증가 추세(건수)

CT 검사 건수	2006년	2007년	2008년	2009년
어린이(14세 이하)	3,050,811	3,721,163	4,263,032	4,883,030
증가율(% , 전년도대비)	–	(122.0)	(114.6)	(114.5)
전체	20,174,530	21,960,185	22,633,394	24,057,987
증가율(% , 전년도대비)	–	(108.9)	(103.1)	(106.3)

(두부, 흉부, 복부, 척추 CT 합한 것. 출처 : 건강보험심사평가원)

Table 4. 검사 종류 방사선 피폭량(유효선량)

검사 종류	mSv/검사당
Chest X-ray PA	0.02
Chest X-ray lateral	0.04
Lumbar X-ray PA	1.0
Mammography	0.27
upper GI, barium	2.6
colon, Barium	7.2
Head CT	2.0
Chest CT	8.0
Abdomen CT	10
Pelvic CT	10
Cardiac angiography	6.61
Interventional cardiac angiography	7.42
Thyroid scan	3.61
Bone scan	5.27
Brain SPECT	8.45
Cardiac SPECT	20.4

(출처 : 한국원자력안전기술원. 국민 피폭선량 종합 DB 구축. 25)

혈병 생존환자를 추적조사한 연구에 의하면, 방사선치료를 받은 어린이환자에서 20년 추적 시까지 약 20.9%에서 2차암이 발생한 것에 반하여, 방사선치료를 받지 않은 어린이환자에서는 0.95%에서 2차암이 발생하였다.²¹⁾ 최근에 미국의 암등록자료(SEER)를 분석한 바에 의하면 전체 발생암의 약 8%가 방사선치료에 기인하여 발생하는 것으로 추산되었다(방사선치료의 암발생기여위험율).²²⁾

방사선검사로 받는 방사선의 양은 촬영기계가 신형인지 구형인지에 따라 또 제조회사에 따라 조금씩 다르지만, 한국원자력안전기술원에서 2005년에 발표한 자료에 의하면 병원에서 받는 검사의 종류별로 피폭되는 방사선량은 다음 Table 4와 같다.

진단용 방사선의 경우에는 영국에서 산출한 암발생기여위험도가 0.6%이었고, 영국의 경우, 평균적으로 1년에 1,000명 중 500명정도가 X-ray를 찍는다. 진단용 방사선이 전체 암발생에서 차지하는 기여위험도는 진단용 방사선의 사용빈도가 높아짐에 따라 증가하는데, 일본의 경우에는 1,000명 중 약 1,500명정도가 1년에 한번씩 X-ray를 찍고 이들에서의 암발생기여위험율은 약 3.0%로 추정되었다.²³⁾

병원에서 쓰는 방사선은 병을 진단하거나 치료하기 위해서 불가피하게 사용하는 것이지만, 이 또한 치료와 진

단이 가능한 선에서 피폭을 가능한 한 낮게 줄여주는 것이 중요하다. 특히 어린이에서는 반드시 필요한 경우가 아니면, CT 등의 촬영은 자제하는 것이 좋다.

결론

전리방사선은 group 1의 발암물질(definite carcinogen)이다.²⁴⁾ 발암물질의 경우에는 일반적으로 암발생의 노출역치용량(exposure threshold dose)을 가정하지 않는다. 이론적으로 암발생은 무작위적으로 일어나는 DNA의 손상에 의해 생기는 것이므로, 아무리 낮은 용량이라 하더라도 발암요인과 우연히 부딪혀 일어나는 유전적 손상에 의해 암이 발생할 수 있다. 노출 용량이 적다면 그 확률이 줄어들 뿐이다. 그러므로 발암물질에 있어서는 '가능한 노출을 낮게'하는 것이 그 관리의 원칙이다. 또 이러한 원칙은 전리방사선의 노출원이 자연적인 것이든, 인공적인 것이든 구별하지 않고 적용 가능해야 한다. 이러한 관점에서, 전리방사선의 모든 노출원(source)에 대한 감시와 관리가 전 사회적 차원에서 체계적으로 이루어져야 할 것이다.

중심 단어 : 방사선 노출 · 암.

REFERENCES

- 1) United nations scientific committee on the effects of atomic radiation. *UNSCEAR 2006 report volume 1. Annex a epidemiologic studies of radiation and cancer.* available from URL: <http://www.uncsear.org>.
- 2) Agency for toxic substances and disease registry. *Toxicological profile for ionizing radiation.* ATSDR 1999. available from URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxsubstance.asp?toxid=86>.
- 3) Committee to assess health risks from exposure to low levels of ionizing radiation, national research council. *health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII-Phase 2 2006.* available from URL: <http://www.nap.edu/catalog/11340.html>.
- 4) The 2007 Recommendations of the international commission on radiation protection. *ICRP Publication;2007.*
- 5) Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, Suyama A, Mabuchi K. *Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and noncancer disease mortality: 1950-1997.* *Radiat Res* 2003;160(4):381-407.
- 6) Doody MM, Lonstein JE, Stovall M, Hacker DG, Luckyanov N, Land CE. *Breast cancer mortality after diagnostic radiography: findings from the U.S. Scoliosis Cohort Study.* *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25(16):2052-63.

- 7) Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, Gilbert E, Hakama M, Hill C, et al. Risk of cancer after low doses of ionising radiation: retrospective cohort study in 15 countries. *BMJ* 2005;331(7508):77.
- 8) Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol* 1997;70:130-9.
- 9) United nations scientific committee on the effects of atomic radiation. *UNSCEAR 2008 report volume 1. Annex a medical radiation exposure*. available from URL: <http://www.unscear.org>.
- 10) Kaiser J. A healthful dab of radiation? *Science* 2003;302(5644):378.
- 11) Brenner DJ, Doll R, Goodhead DT, Hall EJ, Land CE, Little JB, et al. Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: assessing what we really know. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2003; 100(24):13761-6.
- 12) Thayer KA, Melnick R, Burns K, Davis D, Huff J. Fundamental flaws of hormesis for public health decisions. *Environ Health Perspect* 2005;113(10):1271-6.
- 13) Human Protection Agency, Radiation Protection Division, An introduction to the estimation of risks arising from exposure to low doses of ionizing radiation. *HPA-RPD-055. 2009*. available from URL: http://www.hpa.org.uk/Publications/Radiation/HPARPDSeriesReports/HPARPD055/View/originalView.jsp?url=/tr_img/2009202/trko200800067815.pdf.
- 14) 한국원자력안전기술원 국민 방사선 위험도 평가. *KINS-GR-355. 2007*. available from URL: http://img.kisti.re.kr/originalView/originalView.jsp?url=/tr_img/2009202/trko200800067815.pdf.
- 15) World Health Organization. 2009. *WHO handbook of indoor radon: a public health perspective*. available from URL: http://www.who.int/ionizing_radiation/env/9789241547673/en/
- 16) Allan JM, Travis LB. Mechanisms of therapy-related carcinogenesis. *Nat Rev Cancer* 2005;5(12):943-55.
- 17) Dores GM, Metayer C, Curtis RE, Lynch CF, Clarke EA, Glimelius B, et al. Second malignant neoplasms among long-term survivors of Hodgkin's disease: a population-based evaluation over 25 years. *J Clin Oncol* 2002;20(16):3484-94.
- 18) Travis LB, Hauptmann M, Gaul LK, Storm HH, Goldman MB, Nyberg U, et al. Site-specific cancer incidence and mortality after cerebral angiography with radioactive thoro-trast. *Radiat Res* 2003;160(6):691-706.
- 19) Gilbert ES, Stovall M, Gospodarowicz M, Van Leeuwen FE, Andersson M, Glimelius B, et al. Lung cancer after treatment for Hodgkin's disease: focus on radiation effects. *Radiat Res* 2003;159(2):161-73.
- 20) Boice JD Jr, Harvey EB, Blettner M, Stovall M, Flannery JT. Cancer in the contralateral breast after radiotherapy for breast cancer. *N Engl J Med* 1992;326(12):781-5.
- 21) Pui CH, Cheng C, Leung W, Rai SN, Rivera GK, Sandlund JT, et al. Extended follow-up of long-term survivors of childhood acute lymphoblastic leukemia. *N Engl J Med* 2003;349(7):640-9.
- 22) Berrington de Gonzalez A, Curtis RE, Kry SF, Gilbert E, Lamart S, Berg CD, et al. Proportion of second cancers attributable to radiotherapy treatment in adults: a cohort study in the US SEER cancer registries. *Lancet Oncol* 2011; 12(4):353-60.
- 23) Berrington de González A, Darby S. Risk fo cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004;363(9406):345-51.
- 24) International Agency for Research on Cancer. *Agents classified by the IARC Monographs, Volume 100D*. available from URL: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/ClassificationsGroupOrder.pdf>.
- 25) 한국원자력안전기술원 국민방사선 위험도 평가. 연구보고서 *KINS/HR-673:2005*.