

<원저>

일반인들의 항공여객기 이용 시 우주방사선 피폭선량 비교 분석

장동근¹⁾·신상화²⁾¹⁾동남권원자력의학원 핵의학과·²⁾부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과

Analysis of Cosmic Radiation Dose of People by Abroad Travel

Donggun Jang¹⁾·Sanghwa Shin²⁾¹⁾Department of Nuclear Medicine, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center²⁾Department of Radiological Science, College of Health Science, Catholic University of Pusan

Abstract Humans received an exposure dose of 2.4 mSv of natural radiation per year, of which the contribution of spacecraft accounts for about 75%. The crew of the aircraft has increased radiation exposure doses based on cosmic radiation safety management regulations. There is no reference to air passengers. Therefore, in this study, we measured the radiation exposure dose received in the sky at high altitude during flight, and tried to compare the radiation exposure dose received by ordinary people during flight.

We selected 20 sample specimens, including major tourist spots and the capital by continent with direct flights from Incheon International Airport. Using the CARI-6/6M model and the NAIRAS model, which are cosmic radiation prediction models provided at the National Radio Research Institute, we measured the cosmic radiation exposure dose by the selected flight and departure/arrival place.

In the case of exposure dose, Beijing was the lowest at 2.87 μ Sv (NAIRAS) and 2.05 μ Sv (CARI - 6/6M), New York had the highest at 146.45 μ Sv (NAIRAS) and 79.42 μ Sv (CARI - 6/6M).

We found that the route using Arctic routes at the same time and distance will receive more exposure dose than other paths. While the dose of cosmic radiation to be received during flight does not have a decisive influence on the human body, because of the greater risk of stochastic effects in the case of frequent flights and in children with high radiation sensitivity. Institutional regulation should be prepared for this.

Key Words: Space radiation, Exposure dose, Arctic route, NAIRAS, CARI-6/6M

중심 단어: 우주방사선, 피폭선량, 북극항로, NAIRAS, CARI-6/6M

I. 서 론

자연방사선이란 자연계에서 오는 방사선을 말하며 크게 지각방사선과 우주방사선으로 구분할 수 있다. 유엔방사선 영향위원회(United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; UNSCEAR)에 따르면 자연

방사선으로부터 받게 되는 연간 방사선 피폭선량은 2.4 mSv로 알려져 있으며[1], 이 중에서 우주선에 대한 기여도는 약 75%를 차지하는 것으로 나타나 있다[2].

우주방사선이란 우주에서 지구로 쏟아지는 고에너지 미립자와 감마선 및 이들이 대기의 분자와 충돌하여 2차적으로 발생하는 고에너지 미립자와 감마선의 총칭이며, 우주방

사선의 생물학적 영향에 대한 규명과 노출에 대한 위험은 정확히 밝혀진 부분이 많지 않아 주의의 대상이다[3].

방사선은 거리 역자승 법칙에 따라 선원과의 거리가 가까워질수록 방사선 피폭선량은 기하급수적으로 늘어나게 되며[4,5], 우주방사선 또한 지상에서 상공으로 고도가 높아짐에 따라 방사선 피폭선량은 기하급수적으로 증가하게 될 것이다.

우주방사선에 대한 노출이 높은 직업군으로 항공기 승무원을 대표적으로 꼽을 수 있으며[6], 우주방사선 안전 관리 규정에 따라 방사선 피폭선량에 대한 관리가 이루어지고 있다[7]. 하지만 승무원과 같이 항공기를 이용하는 항공객에 대해서는 언급을 하고 있지 않아 연간 방사선 피폭선량은 초과하더라도 제도적으로 규제할 방법이 없이 노출되어 있다[8].

일반인들의 해외여행은 매년 꾸준히 증가하고 있고, 2017년 약 7,500만 명으로 과거 2009년에 비해 약 230% 증가한 것으로 나타나 있다[9]. 이 중에서 0세~10세의 낮은 연령대에서 가장 높은 증감률을 나타냈다[10].

이에 본 연구에서는 일반인이 항공여객기 이용 시 높은 고도에서 받게 되는 우주방사선에 대한 피폭선량을 비교 분석하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 비행기 편 선정 기준

인천 국제공항에서 직항 노선이 있는 국제공항을 선택하였으며, 주요 여행지 및 수도를 포함하여 각 대륙별로 반영하였다. 아시아 9개국, 유럽에서 5개국, 북아메리카에서 3개국, 오세아니아에서 3개국으로 총 20개국의 표본을 반영하였으며, 남아메리카 및 아프리카의 경우 인천 국제공항에서 가는 직항 노선이 없어 표본을 제외하였다.

2. 우주방사선 예측 모델

1) 우주방사선 예측 모델

우주방사선 예측모델인 미 연방항공청(Federal Aviation Administration)에서 개발한 CARI-6/6M 모델과 미 항공우주국(NASA)에서 개발한 NAIRAS (Nowcast of Atmospheric Ionizing Radiation for Aviation Safety)모델을 이용하였으며, CARI-6/6M은 1989년 개발된 CARRIER란 프로그램의 상위버전으로 항공사 코드와 비행고도 및 시간 등을 입력하여

우주방사 선을 산출한다. 그러나 태양방사선이 반영되어 있지 않고, 우주방사선 산출 시 약 1개월 이상 기다려야 하는 등 실시간 정보를 반영하고 있지 못하는 단점이 있다. NAIRAS의 경우 은하 방사선 및 태양방사선의 효과를 모두 반영하기 때문에 CARI 모델보다 정확한 우주방사선 산출이 가능하고, 실시간으로 자신의 우주방사선량을 알 수 있다는 장점이 있다[11]. 두 예측모델의 특징은 Table 1과 같다.

2) SAFE (Safety Aviation Flight Environment)

국립전파연구원(National Radio Research Agency)에서는 SAFE(Safety Aviation Flight Environment)[12] 서비스를 제공하고 있으며, SAFE에서는 비행 중 받게 되는 우주방사선에 대한 피폭선량을 CARI-6/6M 모델과 NAIRAS 모델을 이용하여 공개하고 있다. 본 연구에서는 SAFE를 이용하여 유효 선량률과 누적 선량, 비행시간, 비행 거리를 산출하였으며, 산출된 피폭선량을 북극항로 이용 여부에 따라 비교 분석하였다.

III. 결과

1. 우주방사선 피폭선량 분석

1) 고도별 우주방사선 피폭선량

NAIRAS 예측모델의 이용하여 고도별 우주방사선 분석 결과, Fig. 1과 같이 5 km 상공에서 약 2.5 $\mu\text{Sv/hr}$, 11 km에서 약 10 $\mu\text{Sv/hr}$, 15 km에서 약 40 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 나타났다.

2) 대륙별 우주방사선 피폭선량

대륙별 우주방사선 피폭선량을 분석한 결과, 거리와 비행시간에 따라 비례하게 나타났으며, 북경이 2.87 μSv (NAIRAS)와 2.05 μSv (CARI-6/6M), 뉴욕이 146.45 μSv

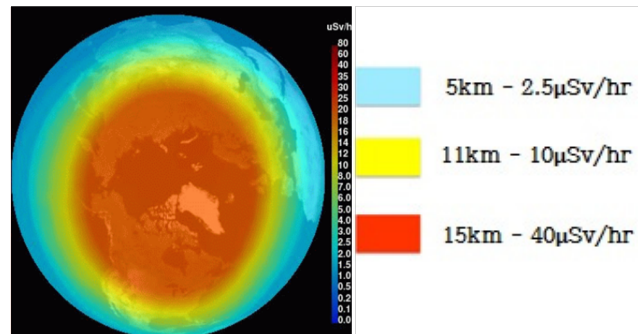


Fig. 1 Cosmic Radiation Exposure Dose by Altitude

Table 1 Cosmic radiation prediction model

Prediction model	Main feature
CARI-6/6M	[Target] Up to 26,5 km altitude [Features] Not considering the impact of solar particle influx [Calculation criteria] 1 month
NAIRAS	[Target] Hourly radiation calculation by latitude and longitude [Feature] Considering the impact of solar particle influx [Calculation standard] 1 hour

Table 2 NAIRAS, CARI-6/6M Cosmic radiation exposure factors by city

Continent	City	Arcticuse	Time (min)	Distance (km)	NAIRAS (μ Sv)	CARI-6/6M (μ Sv)
North East Asia	Tokyo	X	138	1,196	4,32	5,21
	Beijing	X	94	911	2,87	2,05
South East Asia	Bangkok	X	309	3,668	7,06	17,96
	Cebu	X	232	3,029	5,95	10,26
South West Asia	Hanoi	X	214	2,683	5,35	11,39
	Delhi	X	432	4,651	10,62	27,88
	Colombo	X	499	5,794	11,92	29,11
Middle East	Dubai	X	493	6,729	25,14	40,61
	Tel Aviv	X	615	8,039	47,53	55,14
Europe	London	O	638	8,855	119,15	74,15
	Paris	O	619	8,921	99,78	56,92
	Rome	O	705	8,959	130,09	87,32
	Madrid	O	730	9,959	116,53	71,22
	Frankfurt	O	598	8,538	110,66	66,60
North America	New York	O	797	11,069	146,45	79,42
	San Francisco	O	538	9,080	44,86	29,07
	Van couver	O	559	8,195	91,37	48,16
Oceania	Auckland	X	647	9,650	24,29	26,81
	Guam	X	270	4,962	4,58	7,02
	Sydney	X	564	8,338	29,27	25,7

(NAIRAS)와 79.42 μ Sv (CARI-6/6M)로 각각 최소, 최대 값을 나타냈다.

대륙별 우주 방사선 피폭선량의 평균값은 NAIRAS에서 아시아는 10 μ Sv 이하로 나타났으며, 중동과 오세아니아가 각각 35 μ Sv, 20 μ Sv 전후, 유럽과 아메리카가 100 μ Sv 전후로 나타났다. CARI-6/6M에서의 우주방사선 피폭선량의 평균값은 아시아가 15 μ Sv 전후로 나타났으며, 중동과 오세아니아가 각각 50 μ Sv, 20 μ Sv 전후, 유럽과 아메리카가 각각 70 μ Sv, 50 μ Sv로 나타났다.

3) 북극항로 이용유무에 따른 우주방사선 최대 선량률 분석

북극항로의 경우 여부는 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 직접 경로를 파악하여 북극 통과여부에 따라 결정하였으며, 북극항로 이용 여부에 따라 북극 항로를 이용하지 않을 경우에 Fig. 4와 같이 시간당 최대선량이 약 5 μ Sv/h 전후로 나타났으며, 북극항로를 이용할 경우에 Fig. 5와 같이 시간당 최대선량이 약 10 μ Sv/h 이상으로 나타났다.

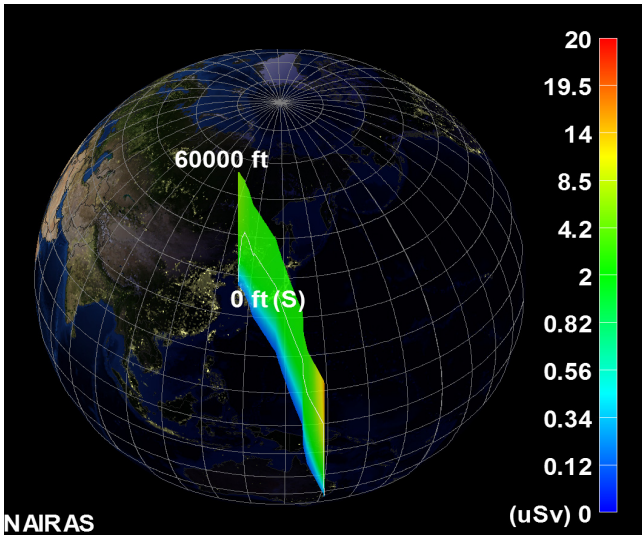


Fig. 2 Routes not Using the Arctic Route (Sidney)

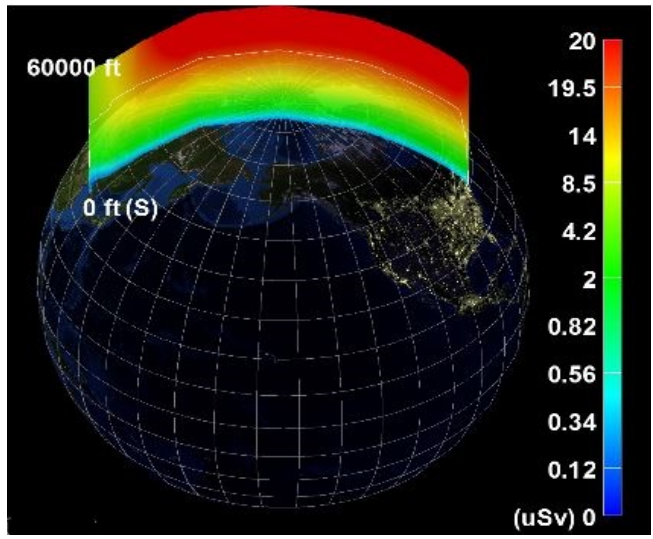


Fig. 3 Routes Using the Arctic Route (New York)

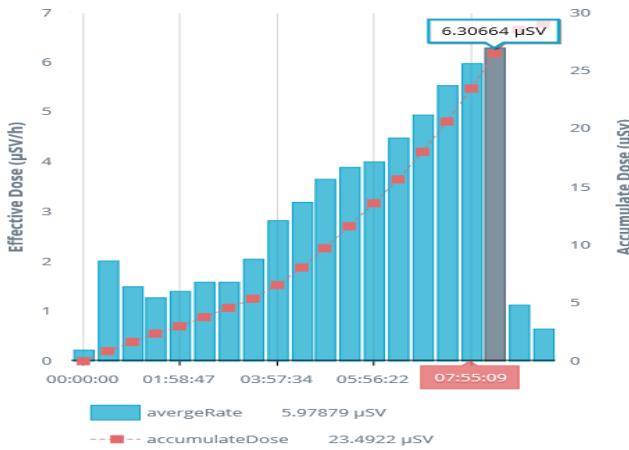


Fig. 4 Maximum Dose Rate if Non-operating Arctic Route (Sidney)

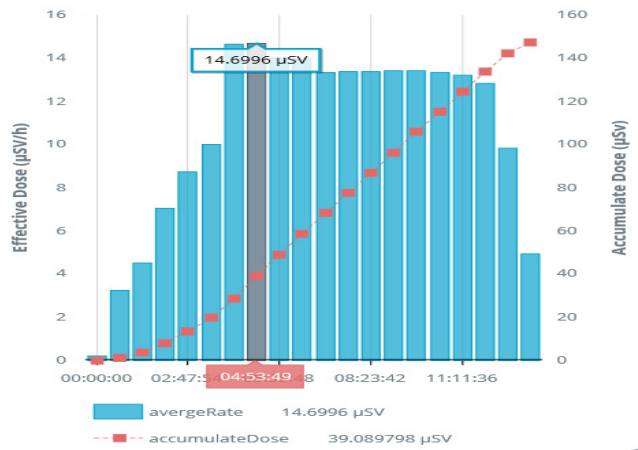


Fig. 5 Maximum Dose Rate When Using the Arctic Route (New York)

IV. 고찰

우주방사선에 대한 실험 결과 첫째, NAIRAS를 이용하여 비행고도에 따른 우주방사선에 대한 피폭을 분석한 결과, 고도 5 km에서 약 2.5 $\mu\text{Sv/hr}$, 11 km에서 약 10 $\mu\text{Sv/hr}$, 15 km에서 약 40 $\mu\text{Sv/hr}$ 로 고도가 높아짐에 따라, 받게 되는 우주방사선의 피폭선량은 기하급수적으로 증가하는 것으로 나타났다.

둘째, 인천 공항에서 출발하는 20개 항로에 대한 우주방사선 피폭선량을 비교 분석한 결과, 모든 표본의 평균 누적선량은 51.89 μSv (NAIRAS)와 38.60 μSv (CARI-6/6M)으로 저선량 피폭임을 확인할 수 있었다. 예측모델에 따라, 같은 항로의 피폭선량 값이 다르게 나타났으며, 이는 NAIRAS와 CARI-6/6M이 측정 고도, 태양입자의 유입 영

향 고려 유무, 산출 기준, 위도 및 경도 등 측정 기준의 차이에서 기인한 것으로 나타났다.

셋째, 북극 항로를 이용할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 우주방사선의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났으며, 북극 항로를 이용하지 않을 경우 우주방사선의 대부분이 지구 자기장에 의해 차폐가 되지만 북극항로를 이용할 경우에는 우주방사선의 직접적인 영향을 받기 때문인 것으로 나타났다 [13]. 같은 목적지 상 북극항로 이용 유무에 따른 누적선량의 차이는 보이지 않는 것으로 나타나 있으며 [14], 이러한 이유로 북극항로를 경유함으로써 얻어지는 시간단축이 증가하는 유효 선량률과 상쇄되기 때문인 것으로 알려져 있다.

넷째, 예측모델을 이용한 우주방사선의 피폭선량 추정 값의 신뢰도를 위해 기존 연구들과 비교해본 결과, 우주방사선은 태양의 활동에 따라 변화하므로 [15] 예측모델 사용시

점에 따라 선량에 대한 변동률이 높게 나타날 것으로 예측되었으며, 동일 시점에서 비행기에 탑승하여 우주방사선 피폭선량을 실측한 경우가 예측모델을 이용한 선량 값보다 다소 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다[14]. 이러한 이유는 비행의 기체 및 부품 등 다양한 물질에 의한 2차선(산란선)에 발생으로 추정되며, 실제 비행 중 받게 되는 피폭이 본 연구의 결과보다 더 높을 것으로 사료된다.

다섯째, 우주방사선에 의한 피폭의 위험성을 비교 분석한 결과, 인천공항에서 최대거리인 뉴욕을 왕복할 경우 약 300 μSv 를 받는 것을 알 수 있으며, 이는 일반인의 선량한도의 약 1/3 수준으로 1년에 뉴욕을 3회 이상 다녀올 경우의 피폭 선량이 일반인의 선량한도에 준하는 경우가 발생한다. 지상에 도달하는 우주방사선은 규제하지 않는 것으로 정해져 있으나[16], 이처럼 높은 고도의 우주방사선의 경우 규제가 필요하며, 실제 승무원과 같은 항공 종사자들은 생활주변방사선 안전 관리법[7]에 따라 법적인 규제를 받고 있다. 이처럼 일반인들도 비행 중 우주방사선으로부터 받게 되는 방사선 피폭에 대해 인지하고 있어야 하며, 우주방사선에 대한 선량한도에 대해 규정이 마련되어야 할 것이다.

여섯째, 방사선의 감수성이 가장 높은 태아에게 우주방사선에 대한 피폭을 고려한 결과, 임신부가 흉부방사선 촬영 시 태아가 받게 되는 피폭은 평균 0.01 mGy 이하로 알려져 있으며[17], 태아가 전신 피폭을 받았다고 가정하였을 때, Gy와 Sv의 값은 같다고 볼 수 있어, 뉴욕(왕복)을 기준으로 우주방사선에 의한 피폭이 약 30배 높음을 알 수 있다. 임신부는 방사선에 대해 매우 부정적인 견해[18]를 가지고 있음에도 불구하고, 우주방사선에 의한 피폭은 경각심이 매우 낮은 것으로 나타났으며, 기존에 연구에서 임신 36주 이상부터 해외여행 가능한 것으로 많이 알려져 있으나[19], 방사학적 견해를 토대로 임신부가 해외여행 시 받게 되는 우주방사선의 피폭기준에 대한 정립이 필요할 것으로 사료된다.

일곱째, 방사선장해에 대한 확률적 영향을 비교해본 결과 32,000 km 비행 시 받는 방사선 피폭선량이 암의 발생 확률을 1/1,000,000만큼 증가시키는 것으로 알려져 있으며, 이 수치는 일상생활에서 담배 4 개비를 핀 것과 동일한 암 발생 확률이며, 다른 사례로는 와인 0.5 L 로 인한 간경화 발생 확률, 땅콩버터 10숟가락으로 인한 간 암 발생 확률, 다이어트 소다 30캔으로 인한 암 발생 확률, 광산에서 2개월 동안 일하여 암이 발생할 확률과 같은 발생 확률을 가진다[20]. 이처럼 비행 중 받게 되는 우주방사선 피폭선량은 저선량으로 인체에 결정적인 영향을 끼치는 것은 아니지만, 방사선장해를 발생시킬 수 있는 확률이 존재한다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

일반인들이 항공여객기 이용을 통해 받게 되는 우주방사선은 지상에서 받는 우주방사선 보다 매우 높다. 본 연구의 분석 결과, 비행고도에 따라 최대 40 $\mu\text{Sv/hr}$ 의 방사선량을 받으며, 비행거리에 따라 왕복할 경우 최소 약 10 μSv (북경)에서 최대 약 290 μSv (뉴욕)의 우주방사선량을 받는 것으로 나타나 다수의 해외여행을 통해 선량한도 1 mSv를 초과할 우려가 있음이 확인되었다. 하지만 일반인들이 해외여행을 통해 받게 되는 우주방사선에 의한 피폭선량은 전혀 규제되고 있지 않으며, 앞으로 항공여객기 이용에 따른 우주방사선 피폭선량에 대한 기준 및 규제가 정립되어야 한다.

REFERENCES

- [1] Charles M. UNSCEAR report 2000 : sources and effects of ionizing radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2001;21(1):83-6.
- [2] Jun JS, Oh HP, Ha CW, Oh HJ, Kang IS. Study on the quantification of cosmic-ray component contributed to natural background radiation exposure, Korean Association for Radiation Protection, 1988;13(2):9-20.
- [3] Kim JH, Yoo Sj. Application and development of radiation worker management program, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 2017;18(11):367-73.
- [4] Jeon MC, Lim HS, Han MS. The study about attenuation of scatter ray according to distance inverse square law at general projection, Korean Society of Radiological Science, 2011;34(3):183-8.
- [5] Kang HS, Kim CK, Huh J. An experimental study of the inverse square law, Korean Society of Radiological Science, 1986;9(1):89-92.
- [6] Lee JJ, Pyo jh, Kwon YJ, Nam WW, Kim SH. Measures for protecting air crew from cosmic radiation and practical assessment, The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, 2015;2015(4):951-4.
- [7] Nuclear Safety and Security Commission, Act on protective action guidelines against radiation in the natural environment, Article 2, 2017.

- [8] Choi SH, Lee J, Kim HJ. A reseach on improvement measures for safety management of aviation cosmic radiation. *The Korean Journal of Air & Space Law and Policy*. 2016;31(2):215-36.
- [9] Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Retrieved from <http://stat.molit.go.kr/>. Date Accessed, June 4, 2018.
- [10] Tourism knowledge & information system. Retrieved from <https://know.tour.go.kr/stat/statMain.do>. Date Accessed, June 4, 2018.
- [11] Korea foundation of nuclear safety, The flight crew should know the story of cosmic radiation, KoFONS/RE-015/2016
- [12] Safety during aviation flight environment from radiation. Retrieved from <http://kswcpub.rra.go.kr:8081/safe/main/main?target=pub>. Date Accessed, June 4, 2018.
- [13] Jang WI, Kim MS. Space radiation and cancer risk. *Preceeding of the Spring Conference of the Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*. 2015;4:955-9.
- [14] Hwang JA, Lee JJ, Cho KS. Safety standards and management policy on the polar route space radiation. *Korea civil aviation association*. 2010; 53(1):73-90.
- [15] Kim HJ, Chang BU, BYun JI, Song MH, Kim JH. Preliminary Study on Applicability of Accumulate Personal Neutron Dosimeter for Cosmic-ray Exposure of Aviators. *Journal of radiation protection*. 2013;38(1):44-51.
- [16] International commission on radiological protection. *Scope of radiological protection measures*. ICRP Publication 104. 2007.
- [17] International commission on radiological protection. *Pregnancy and medical radiation*. ICRP Publication 84. 1999
- [18] Park JK. Gynecologic Patients' Recognition of Radiation Exposure in Gyeongbuk Area. *The Korea Contents Association*. 2008;8(8):176-87.
- [19] Yoo BW. Travel medicine. *Journal oh the korea medical association*. 2010;53(6):501-9.
- [20] Little JB. *Biologic Effects of Low-Level Radiation Exposure*. *Radiology : Diagnosis, Imaging Intervention* Ed Taveras JM Philadelphia. JB. Lippincott 1992:1-2