

Investigation of organ dose difference of age phantoms for medical X-ray examinations

Sang Hyun Park · Choon Sik Lee* · Woo Ran Kim and Jai Ki Lee

Hanyang University, *Innovative Technology Center for Radiation Safety

X선 촬영 시 연령별 장기선량 차이 연구

박상현 · 이춘식* · 김우란 · 이재기

한양대학교 원자력공학과, *방사선 안전 신기술 연구센터

(2002년 11월 7일 접수, 2003년 2월 11일 채택)

Abstract - Methodology for calculating the organ equivalent doses and the effective doses of pediatric and adult patients undergoing medical X-ray examinations were established. The MIRD-type mathematical phantoms of 4 age groups were constructed with addition of the esophagus to the same phantoms. Two typical examination procedures, chest PA and abdomen AP, were simulated for the pediatric patients as well as the adult as illustrative examples. The results confirmed that patients pick up approximate 0.03 mSv of effective dose from a single chest PA examination, and 0.4 to 1.7 mSv from an abdomen AP examination depending on the ages. For dose calculations where irradiation is made with a limited field, the details of the position, size and shape of the organs and the organ depth from the entrance surface considerably affect the resulting doses. Therefore, it is important to optimize radiation protection by control of X-ray properties and beam examination field. The calculation result, provided in this study, can be used to implement optimization for medical radiation protection.

Key words : pediatric radiology, X-ray examination, organ equivalent dose, effective dose, MIRD-type mathematical phantom

요약 - 진단 X선 촬영에 의한 소아 및 성인의 장기 등가선량과 유효선량을 구하는 방법론을 개발하였다. 연령에 따른 체격의 차이가 방사선량 분포에 미치는 영향을 평가하기 위해, 식도를 포함한 4개 연령군의 MIRD형 수학적 모의피폭체를 제작하였다. 두 가지의 전형적인 진단 X선 절차인 흉부 PA와 복부 AP 진단 X선 촬영을 모사하여, 연령별 선량을 계산하였다. 흉부 PA 진단 X선 촬영절차에 의해서 환자들은 대략 0.03mSv의 유효선량을 피폭하는 것으로 나타났다. 복부 AP 진단 X선 촬영절차의 경우 연령에 따라서 0.4에서 1.7mSv의 유효선량을 받는 것으로 나타났다. 한정된 조사장을 갖는 방사선에 대해서 선량을 평가했기 때문에, 장기의 위치와 크기, 모양, 그리고 방사선이 입사하는 표면으로부터의 깊이 등이 선량 계산에 상당한 영향을 미쳤다. 따라서 진단 X선의 조사장이나 선질의 조절 등을 통해 방호의 최적화를 위한 노력이 중요한 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 선량계측 절차는 의료방사선 방호의 최적화를 위한 수단으로 활용될 수 있다.

중심어 : 소아 방사선학, X선 촬영, 장기 등가선량, 유효선량, MIRD형 수학적 모의피폭체

서론

진단 X선을 포함하는 의료상 피폭이 인류의 인공방사선 피폭의 대부분을 차지한다는 보고[1]가 의료상 피폭을 보다 정량적으로 평가할 필요성을 시사한다. 국제원자력기구(International Atomic Energy Agency, IAEA)의 기본안전기준[2]은 의료상 피폭의 불균형을 완화하기 위해, 참조준위를 제시하여 선량을 제약하고 있다. 의료상 피폭은 개인선량 한도의 적용을 받지 않기 때문에 정립된 절차에 대해서는 개개 환자의 선량을 평가하지 않고 의료절차의 품질관리 측면에서 입사선량 등 지표량을 감시하는 것이 관행이다. 그러나 방사선 피폭에 대한 대중의 관심이 점점증하고 있는 현재 상황을 볼 때, 진단 방사선 절차에 따른 환자의 유효선량에 대해서도 보다 체계적인 자료를 구축해야 할 필요가 있다. 특히 진단 X선 촬영이 방사선 의료행위의 대부분을 차지하므로 진단 X선에 의한 환자의 피폭이 우선 관심사가 된다.

Hart등[3, 4]은 몬테칼로 계산을 통하여 6개 연령군의 진단 X선 촬영절차별 선량평가를 수행한 바 있다. 또한 Jones와 Shrimpton은 CT 촬영절차에 대해서 동일한 방법으로 선량평가를 수행하였다[5].

진단 X선 절차는 전신피폭이 아니라 콜리메터로 조절된 한정된 영역에만 피폭하기 때문에 입사선량 또는 개인 선량계를 사용하여 측정할 수 있는 선량과 실질적인 유효선량과는 근본적으로 괴리가 있다. 따라서 진단 X선 절차에 대해서 행위별

로 체내 장기의 등가선량과 이를 종합한 유효선량의 경향에 대해 평가해야 의미가 있다. 본 연구에서는 흉부PA 진단 X선과 복부AP 진단 X선 촬영절차에 대하여 선량평가를 수행하였다. 본 연구의 목적은 신체 규격의 차이에 따른 진단 X선에 의한 선량계측학적 차이를 평가하고자 하는 것이다. 특히 신체가 작은 소아 및 아동의 선량특성을 평가했다. 만약 성인과 동일한 방사선장이 적용된다면 연령이 감소할수록 작은 신체조건으로 인해 더 많은 장기들이 방사선장에 포함될 뿐 아니라, 인체 두께에 의한 방사선 차폐효과가 감소하므로, 동일한 목적의 진단 X선 절차에서 소아 또는 미성년 환자의 선량이 더 클 것으로 예상된다. 그러나 체격이 작아지면 조사량을 조절하거나 X선의 투과력을 조절하는 등의 기법이 사용될 수 있으므로 단순히 결론을 내릴 수는 없다. 이러한 방호 최적화 관점에서 진단 X선 절차와 피검자의 신체적 특성에 따른 선량계측학적 차이에 대한 정보는 중요하다.

재료 및 방법

인형 모의피폭체 모델

연령에 따른 체격의 차이를 모사하기 위해서 Cristy 등[6]이 구성한 6개 연령군 MIRD형 모의피폭체 중 0, 5, 15세 양성모의피폭체와 MIRD5 남성 성인 모의피폭체[7]를 사용하였다. 그림 1은 각 모의피폭체의 $y=0$ 일 때 x, z 평면에서의 단면을 보여준다.

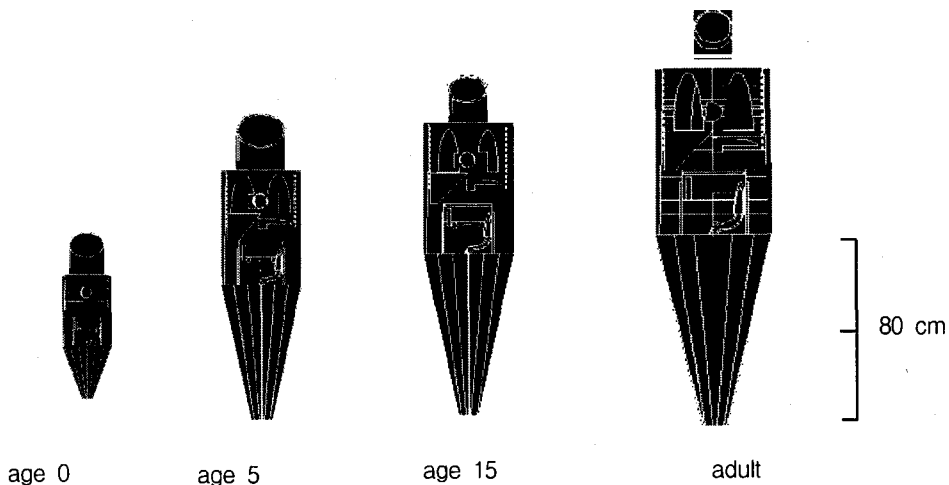


Fig. 1. Cross sectional images of the four phantoms cut by xz plane(rendered by MCNP4B).

표1은 사용한 모의피폭체의 제원을 보여준다.

Table 1. Masses and heights of phantoms of 4 age-groups.

Age	Whole-body mass (kg)	Trunk height(cm)	Total height(cm)
0	3.6	21.6	51.49
5	19.8	40.8	109.2
15	56.8	63.1	163.99
adult	73.7	70	174

본래 MIRD형 모의피폭체에서 모사하지 않은 식도에 대해서는 Zankl과 Drexler[8]가 모사한 타원형 실린더와 두 개의 평면에 의해 표현되는 모델을 사용하였다. 식도 모델을 표현하기 위해 사용한 방정식은 다음과 같다.

$$\left(\frac{x-x_0}{a}\right)^2 + \left(\frac{y-y_0}{b}\right)^2 \leq 1$$

$$z_1 \leq z \leq z_2 \tag{1}$$

이 식도 모델은 그림2에서 보인 것처럼 인체 내 목에서부터 위의 맨 위쪽 부위로 연결하며, 척추의 전방부에 위치하고 있고 약간 왼쪽으로 치우친 해부학적 형태를 갖고 있다.

Zankl은 성인 남성과 15세에 대한 식도모델 자료만 제시하고 있으므로 본 연구에 사용된 0, 5세 모의피폭체의 식도는 Zankl 식도를 각 모의피폭체의 크기에 맞게 수정한 것이다. 이에 따라 결정된 성인 및 미성년에서 식도 방정식에 사용되는 인자는 표2와 같다.

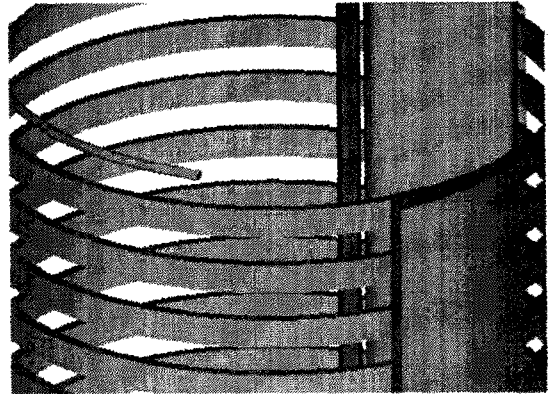


Fig 2. 3 dimensional image of esophagus model of age 0 phantom (rendered by Sabrina 4.12)

방사선장

진단 X선 촬영 조건은 NRPB-R262와 NRPB-R279의 자료를 사용하였다. NRPB-R279에 의하면 런던 5개 병원을 샘플링하여 0세부터 15세 사이 환자들의 진단 X선 촬영 빈도수를 조사한 결과 흉부 촬영빈도가 가장 높은 것으로 밝혀졌다. 따라서 본 연구에서는 흉부PA 진단 X선 및 ICRP60[9]에서 제시한 주요장기가 다수 피폭되는 복부AP 촬영상황을 모사하여, 4개 연령군별로 장기선량과 유효선량을 계산하였다. X선 스펙트럼의 경우 흉부PA는 최대에너지가 120keV이며, 복부AP를 촬영하기 위해 모사한 X선 스펙트럼의 최대에너지는 75keV이다. 표3은 흉부PA와 복부AP 진단 X선 촬영 조건을 설명하고 있다[3, 4].

계산수단

선량계산에는 일반목적 몬테카를로 코드 MCNP4B[10]를 사용하였다. 4개의 모의피폭체에

Table 2. Parameters used for describing esophagus in phantoms of 4 age group

Age	a	b	x ₀	y ₀	z ₁	z ₂	volume (cm ³)	mass (g)
0	0.3	0.19	0.25	1.23	13.14	24	1.95	2.02
5	0.6	0.24	0.30	1.50	25.06	43	8.12	8.44
15	1.0	0.40	0.50	2.40	41.00	70	36.4	36.0
adult	1.0	0.40	0.50	2.50	43.00	75	40.2	39.7

Table 3. Details of X-ray projections in chest PA and abdomen AP examinations.

Age (years)	*FSD (cm)	Center(X,Y,Z) (cm)	Field size at midplane of phantom(cm)	Field size at image receptor width×length(cm)
Chest PA				
0	160	(0,0,16.69)	12.62×12.62	13×13
5	160	(0,0,30.02)	22.01×21.06	23×22
15	160	(0,0,52)	32×40	30×32
adult	160	(0,0,52)	32×40	35×44
Abdomen AP				
0	75	(0,0,8.69)	13.19×16.02	14×17
5	75	(0,0,14.02)	21.08×27.5	23×30
15	75	(0,0,20)	28.2×37.6	30×40
adult	75	(0,0,20)	30×40	35×47

*FSD = focus to surface distance.

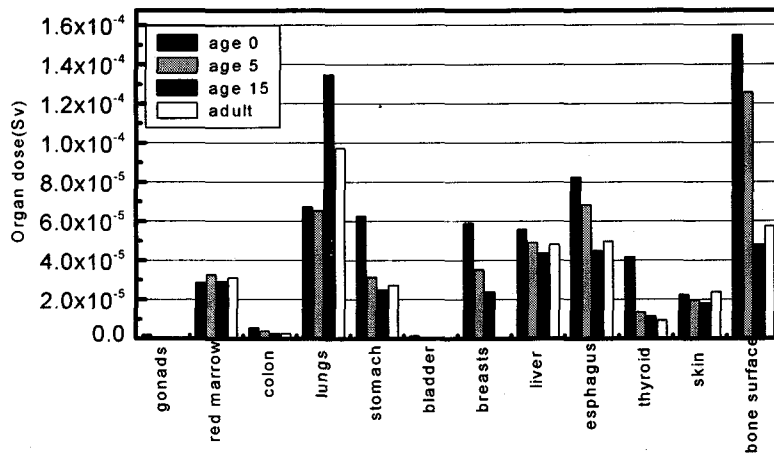


Fig 3. Organ doses for a chest PA X-ray examination

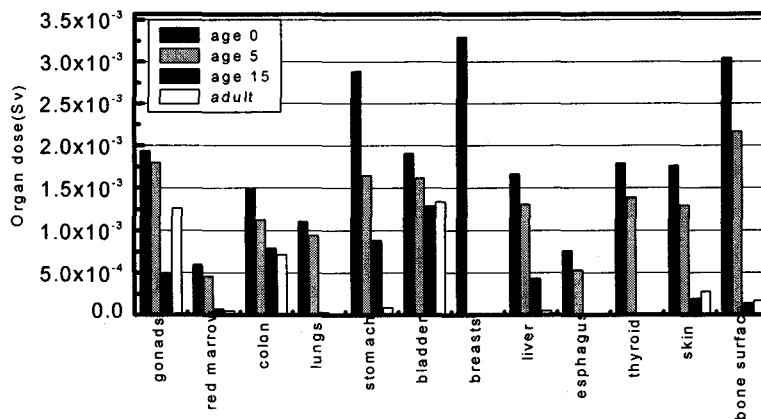


Fig 4. Organ doses for an abdomen AP X-ray examination

표준 광자 방사선장과 흉부PA 및 복부AP 진단 X선을 조사시켰으며 각각의 경우에 대하여 장기 선량과 유효선량을 계산하였다. 진단 X선의 경우 점선원으로서 콜리메이터를 지나면서 촬영 부위에만 광자가 입사하는 사각뿔 형태의 빔으로 조사하였다[11]. 선량 평가자로는 *F6 tally를 사용하였으며 상대 오차를 10% 이하로 낮추기 위해 최고 5×10^7 개의 history를 사용하였다.

결과 및 논의

진단 X선에 의한 장기선량 및 유효선량

흉부 PA와 복부 AP 진단 X선 절차의 장기선

량을 각각 그림3과 그림4에 보였으며 유효선량을 그림5와 6에 나타내었다. 흉부 촬영에서는 대부분의 장기가 연령이 낮을수록 높은 선량을 보이고 있으나, 폐의 경우 15세 연령군에서 최대 선량을 보였다. 이것은 각 모델에서 폐의 크기 및 배열 차이에 기인한 것으로 평가된다(그림 7). 폐는 조직가중치가 상대적으로 높은 0.12이기 때문에, 이 값이 유효선량 계산에도 영향을 미치게 되어 실제로 5세의 유효선량이 15세보다 작게 나오는 원인이 된다.

복부 촬영의 경우 위의 선량은 0세 모의피폭체의 유효선량이 성인의 유효선량보다 4배 이상의 값을 갖는 것으로 나타났다(그림6). 그림 4와

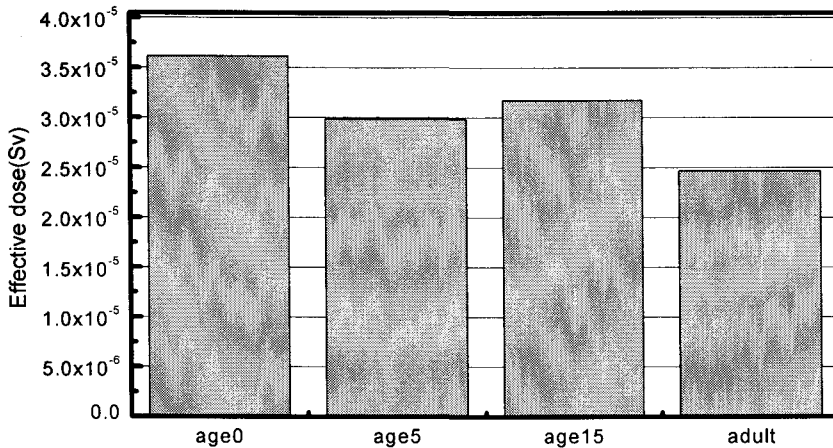


Fig 5. Effective doses of phantoms of 4 age groups for Chest PA X-ray examination

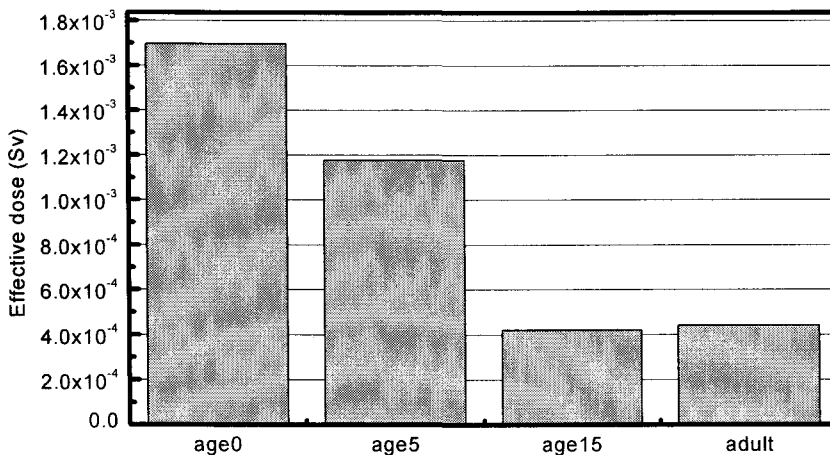


Fig 6. Effective doses of phantoms of 4 age groups for abdomen AP X-ray examination

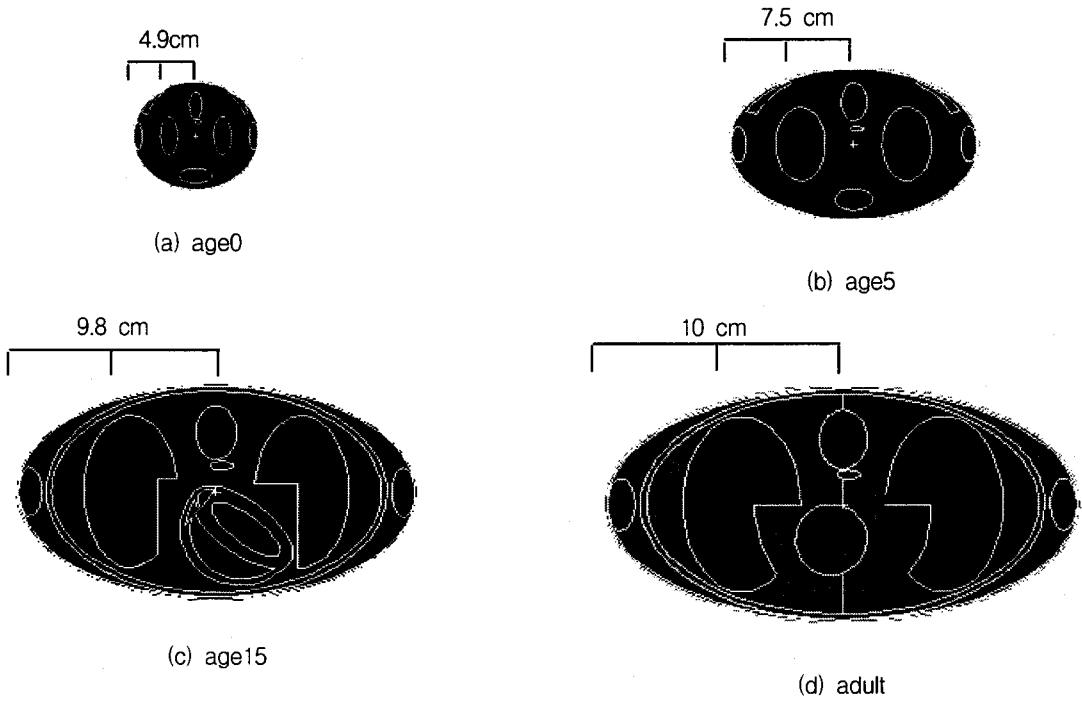


Fig 7. Cross-sectional comparison of lung shapes of 4 age group phantoms.

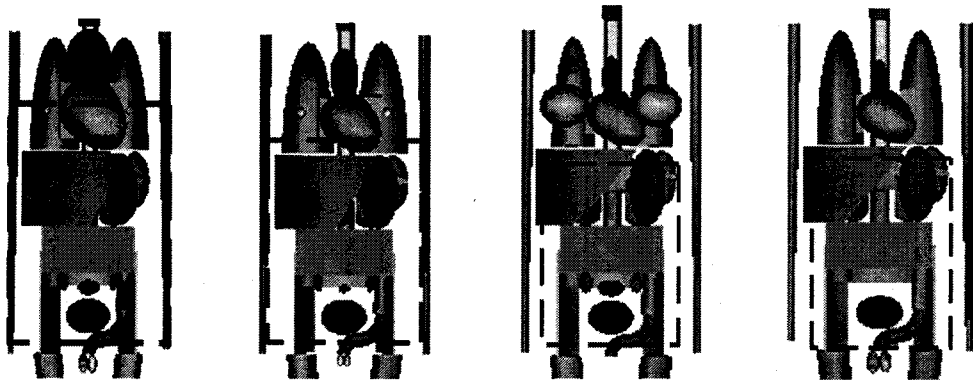


Fig 8. Projections for abdomen AP X-ray(rendered by Sabrina[12])

8을 통해서 알 수 있듯이 0세의 경우 타 연령군에 비해서 상대적으로 크다. 위 선량의 연령별 격차가 큰 것은 위의 복부 표면으로부터의 깊이의 차이 때문이다. 0세의 경우 AP 방향에서 고려한, 위의 깊이는 1.14cm에 불과하다. 그러나 15세와 성인의 경우 위의 깊이는 각각 2.12, 2.16cm이다. 또한 AP 조건의 복부 촬영 시 앞가슴 표면의 선량이 0세에서만 나타난다는 사실을 알 수 있다.

NRPB-R279의 자료에 근거하여 복부 AP 촬영 환경을 모사할 때, 0세의 경우만 앞가슴 표면이 X선장에 포함된다. 뿐만 아니라, 조직가중치가 높은 폐의 경우, 15세와 성인의 경우는 방사선장에 포함되지 않으나, 0세의 경우 폐의 절반 이상이 방사선장에 포함된다(그림 11).

복부 촬영에 사용되었던 X선은 최대에너지 75keV의 스펙트럼에서, 가장 높은 빈도수를 가지

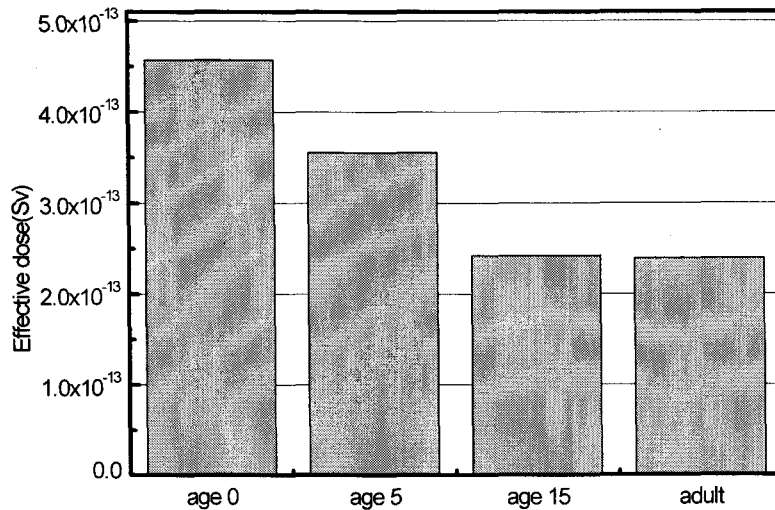


Fig 9. Comparison of effective dose of different age-groups at 34.5keV

고 방출되었던 에너지가 34.5keV였다. 34.5keV의 평행하고 넓은 감마빔을 AP방향으로 입사시켜 연령별 유효선량을 계산하여 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 알 수 있듯이 0세의 유효 선량이 성인보다 2배 이상 큰 값을 보인다. 이를 통하여 방사선의 에너지가 감소하면서 연령별 유효선량의 차이가 증가함을 알 수 있다. 결국 복부 촬영에서 0세 모의피복체의 유효선량이 성인의 유효선량보다 4배 이상의 값을 갖는 이유는 장기의 깊이, 촬영에 사용되는 X선장의 범위, 장기의 모양 및 조직가중치, 그리고 에너지 의존적 경향을 보이는 유효선량의 성질에 의한 것임을 알 수 있다.

결 론

4개 연령군을 대표하는 MIRD형 수학적 모의피복체를 몬테칼로 방법으로 모사하여 흉부, 복부 진단 X선 환경에서 받는 장기의 등가선량과 인체 유효선량을 계산하여 비교하였다. 제한된 조사선장의 크기를 갖는 흉부 및 복부 진단 X선 절차에서 연령이 증가할수록 선량은 감소하였다. 특히 복부 AP촬영에서는 성인에 비해 아동의 유효선량이 4배 이상 높았다. 이와 같은 선량차이는 X선 촬영 시 몸통 내 중요 장기들이 노출되는 범위와 그 장기들의 표면으로부터 깊이 차이에서

기인한다. 또한 복부 AP촬영에 사용된 방사선장의 에너지가 비교적 저 에너지였기 때문에 유효선량의 차이가 크게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 평가할 때 아동 및 유아에 대한 진단방사선 촬영은 조사선장의 크기나 사용 X선의 선질을 조정하여 초기에 의도한 의료목적 달성하면서도 최소의 선량을 부여하기 위한 최적화하는 노력이 요구된다. 본 연구에서 계산을 수행하지 않은 머리, 척추, 골반 그리고 방광 등의 진단 X선 촬영절차에 대해서도 정확한 선량 계산 및 평가가 필요하다. 이 연구에서 개발된 선량계측 방법을 진단목적 X선의 인체촬영 시 피폭선량의 최적화를 위한 평가 수단으로 이용할 수 있다.

참고문헌

1. United Nations Environment Programme, Radiation : Doses, Effect., Risks, 2nd Ed, Blackwell Reference (1991).
2. International Atomic Energy Agency, 1996 International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety series No. 115 (1996).
3. D. Hart, D. G. Jones and B. F. Wall, Estimation

- of Effective Dose in Diagnostic Radiology from Entrance Surface Dose and Dose-Area Product Measurements, Report NRPB-R262, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, UK(1994).
4. D. Hart, D. G. Jones and B. F. Wall, Coefficients for Estimating Effective Doses from Pediatric X-ray Examinations, Report NRPB-R279, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, UK(1995).
5. Jones, D. G. and Shrimpton, P. C. Survey of CT Practice in the UK. Part 3: Normalized Organ Doses Calculated using Monte Carlo Techniques. Chilton, NRPB-R250 (London, HMSO) (1991).
6. M. Cristy and K. F. Eckerman, Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources, Oak Ridge National Laboratory Report ORNL/TM-8381/V1 (1987).
7. W. S. Snyder, M. R. Ford and G. G. Warner, Estimates of Specific Absorbed Fraction for Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of a Heterogeneous Phantom, Society of Nuclear Medicine, New York, MIRD Pamphlet No.5. Revised(1978).
8. M. Zankl, N. Petoussi, and G. Drexler, "Effective Dose and Effective Dose Equivalent -The Impact of the New ICRP Definition for External Photon Irradiation," Health Phys., 62(5), 395-399 (1992).
9. International Commission on Radiological Protection, 1990 Recommendation of the International commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Pergamon Press, (1990).
10. LANL Group X-6, MCNP-A General Monte Carlo Code N-Particle Transport Code Version 4B, LA-12625-M(1997).
11. D. G. Jones and B. F. Wall. Organ Doses from Medical X-ray Examinations Calculated Using Monte Carlo Techniques, Report NRPB-R186, National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, UK(1985).
12. K. A. Van Riper, SABRINA User's Guide, LA-UR-93-3696, LANL (1993).