

Shielding for Critical Organs and Radiation Exposure Dose Distribution in Patients with High Energy Radiotherapy

Sung Sil Chu, Ph.D. Chang Ok Suh, M.D.,
Gwi Eon Kim, M.D

Department of radiation Oncology, College of Medicine
Yonsei University

고 에너지 방사선치료에서 환자의 피폭선량 분포와 생식선의 차폐

추성실, 서창옥, 김귀언
연세대학교 의과대학 방사선종양학교실

(2001년 3월 10일 접수, 2002년 2월 28일 채택)

Abstract - High energy photon beams from medical linear accelerators produce large scattered radiation by various components of the treatment head, collimator and walls or objects in the treatment room including the patient. These scattered radiation do not provide therapeutic dose and are considered a hazard from the radiation safety perspective. Scattered dose of therapeutic high energy radiation beams are contributed significant unwanted dose to the patient. ICRP take the position that a dose of 500mGy may cause abortion at any stage of pregnancy and that radiation detriment to the fetus includes risk of mental retardation with a possible threshold in the dose response relationship around 100 mGy for the gestational period.

The ICRP principle of as low as reasonably achievable (ALARA) was recommended for protection of occupation upon the linear no-threshold dose response hypothesis for cancer induction. We suggest this ALARA principle be applied to the fetus and testicle in therapeutic treatment. Radiation dose outside a photon treatment field is mostly due to scattered photons. This scattered dose is a function of the distance from the beam edge, treatment geometry, primary photon energy, and depth in the patient. The need for effective shielding of the fetus and testicle is reinforced when young patients are treated with external beam radiation therapy and then shielding designed to reduce the scattered photon dose to normal organs have to be considered. Irradiation was performed in phantom using high energy photon beams produced by a Varian 2100C/D medical linear accelerator (Varian Oncology Systems, Palo Alto, CA) located at the Yonsei Cancer Center. The composite phantom used was comprised of a commercially available anthropomorphic Rando phantom (Phantom Laboratory Inc., Salem, YN) and a rectangular solid polystyrene phantom of dimensions 30cm x 30cm x 20cm. the anthropomorphic Rando phantom represents an average man made from tissue equivalent materials that is transected into transverse 36 slices of 2.5cm thickness. Photon dose was measured using a Capintec PR-06C ionization chamber with Capintec 192 electrometer (Capintec Inc., Ramsey, NJ), TLD(VICTOREEN 5000. LiF) and film dosimetry V-Omat, Kodak). In case of fetus, the dosimeter was placed at a depth of 10cm in this phantom at 100cm source to axis distance and located centrally 15cm from the inferior edge of the 30cm x

30cm² x-ray beam irradiating the Rando phantom chest wall. A acryl bridge of size 40 cm x 40 cm² and a clear space of about 20 cm was fabricated and placed on top of the rectangular polystyrene phantom representing the abdomen of the patient . The lead pot for testicle shielding was made as various shape, sizes, thickness and supporting stand. The scattered photon with and without shielding were measured at the representative position of the fetus and testicle. Measurement of radiation scattered dose outside fields and critical organs, like fetus position and testicle region, from chest or pelvic irradiation by large field of high energy radiation beam was performed using an ionization chamber and film dosimetry. The scattered doses outside field were measured 5 - 10% of maximum doses in fields and exponentially decrease from field margins. The scattered photon dose received the fetus and testicle from thorax field irradiation was measured about 1 mGy/Gy of photon treatment dose. Shielding construction to reduce this scattered dose was investigated using lead sheet and blocks. Lead pot shield for testicle reduced the scatter dose under 10 mGy when photon beam of 60 Gy was irradiated in abdomen region. The scattered photon dose is reduced when the lead shield was used while the no significant reduction of scattered photon dose was observed and 2-3 mm lead sheets reduced the skin dose under 80% and almost electron contamination. The results indicate that it was possible to improve shielding to reduce scattered photon for fetus and testicle when a young patients were treated with a high energy photon beam.

Key words : Radiation therapy. Linear accelerator. High energy radiation, Scatter dose. Fetus. Testicle.

요약 - 의료용 선형가속기에서 발생하는 고 에너지 광자선은 콜리메이터에 의하여 누출되며 치료 두부(head), 콜리메이터, 환자를 포함한 치료실내의 모든 벽과 구성 물질들에 의하여 많은 산란선이 발생된다. 방사선치료는 종양에 따라서 최소한 40 Gy에서 80 Gy까지 조사되기 때문에 주위건 강조직 특히 생식가능한 사람에 대한 생식선의 피폭선량을 평가하여야하며 종양치료를 영향을 주지 않은 범위에서 가능한 방법을 동원하여 피폭선량을 줄여야한다. 방사선 안전관리등의 기술기준에 관한 규칙(과학기술부령 제17호) 제3절 의료분야의 특별기준, 제44조(진료환자의 방사선피폭)에 의하면 진료를 위한 환자 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 최소의 수준으로 유지하기 위한 절차를 구비하여야 하며 과학기술부 장관은 이에 준하는 의료시설 및 장비취급의 기술기준을 정하고 고시하여야한다고 명시되어있다. 고 에너지방사선은 악성종양환자들의 치료성적을 향상시키는 동시에 치료후 방사선에 의한 만성효과가 발생 될 수 있기 때문에 주선속의 다양한 산란선과 누출선의 선질변화와 선량을 측정하고 생식선과 같은 주요장기를 산란선으로부터 차폐할 수 있는 기구를 제작 사용함으로써 방사선 피폭선량을 최대한으로 감소시킬 수 있었다. 고 에너지 방사선은 의료용 선형가속기(CLINAC 2100C/D, 2100C, 600C)에서 발생시킨 4, 6, 10 MV x-ray와 코발트원격 치료장치(ALCYON II)의 코발트선원에서 방출되는 1.25 MV의 감마선을 이용하였다. 선량측정은 폴리시틸렌과 인체팬텀(Rando)사용하였으며 측정기는 이온함, TLD 및 필름을 사용하였다. 고 에너지 방사선에 의한 산란선은 장치의 콜리메이터 뿐만 아니라 치료실 벽 인체내부등 모든 방향에서 방사됨으로 납 벽들에 의한 차폐율측정은 많은 변수를 가졌으며 고환인 경우에는 3면이 모두 차폐되도록 향아리모양으로 제작하였다. 태아인 경우 태아가 위치하고 있는 골반위에 육교모양의 선반을 만들고 그 위에 납 벽들을 장치하도록 고안하였다. Co-60 감마선, 4 MV x-선, 10 MV x-선에서 발생하는 누출선량과 산란선량에 의한 평균 피폭선량은 조사면 중심으로부터 10, 30, 60cm 거리에서 조사면내 최대선량에 대하여 각각 10⁻², 10⁻³, 10⁻⁴의 비율로 측정되었으며 거리에 따라 지수함수로 줄어들었다. 흉부에 국한된 종양을 10 MV x-ray, 12 x 12 cm² 조사면으로 치료하였을 때 자궁에 받는 피폭선량은 0.9 mGy/Gy이며 고환이 받는 피폭선량은 0.6 mGy/Gy 이었으며 해장과 신장은 각각 4.8 mGy/Gy 와 2.5 mGy/Gy이다. 10 MV x-선, 14x14 cm² 조사면 경계로부터 10 cm 밖에서 납벽들의 반가층 두께는 약 9.0 mm 이었고 20 cm 밖에서는 반가층 두께가 약 6.5 mm로 측정되었다. 복부에 위치한 악성종양을 60 Gy 조사하였을 경우 태아가 위치하고 있는 자궁의 피폭선량은 약 370 mGy이고 이곳을 10 mGy이하가 되도록 차폐하려면 약 6.2 cm 두께의 납 벽들을 자궁위에 장착하여야 하며 골반치료시 고환에 10 mGy이하가 되도록 차폐하려면 약 5 cm 두께의 납 향아리가 요구된다. 고 에너지 고 준위 방사선치료시 고환은 3면을 향아리모양으로 차폐할 수 있어 피폭선량을 상당히 줄일 수 있으며 자궁인 경우 체내에서 산란된 선량의 차폐는 불가능하였다.

중심어: 방사선치료. 선형가속기, 고 에너지 방사선. 산란선. 태아, 고환

서 론

최근 인간이 최대로 두려워하는 질병중의 하나가 암이며 발생률이 증가하는 동시에 사망률도 증가추세에 있어 이를 치료할 수 있는 치료법을 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다.

악성종양을 치료하기 위하여 방사선, 수술, 화학, 면역, 온열, 유전자요법등 가능한 모든 방법을 동원하고 있지만 경우에 따라 방사선요법이 가장 효과적이고 필수적인 치료법으로 확고한 위치를 차지하고 있다.

방사선방어차원에서는 미세한 방사선량이라도 확률적으로 장해를 유발시키고 백혈병을 발생시키며 수명을 단축시킬 수 있기 때문에 방사선의 위해를 생각해야 하지만 정당화(Justification) 차원에서 악성종양을 치료함으로써 생명을 유지하고 고통을 완화시키기 때문에 방사선의 이기를 선택하는 것이 당연하다.

건강조직을 보호하면서 악성종양에만 집중적으로 방사선량을 부여하기 위하여 종양의 특성과 위치에 따라 수십 MeV의 전자선, x-선 또는 수백 MeV의 하전입자선들이 개발되어 있고 외부, 내부 및 접촉치료방법이 각각 특성에 알맞게 선택되고 있으며 고성능 치료계획 컴퓨터를 이용하여 다문조사, 회전조사, 3차원 입체조형치료등으로 방사선치료효과를 높이고 있다. 따라서 방사선 치료를 받은 환자들의 완치율이 점점 증가하여 정상인과 똑같은 생활과 수명을 유지함으로써 방사선에 의한 후유증을 생각하게되고 특히 만성영양과 유전적 영향을 고려하지 않을 수 없게 되었다.

방사선치료는 종양에 따라서 최소한 40 Gy에서 80 Gy까지 조사되기 때문에 주위건강조직 특히 생식가능한 사람에 대한 생식선의 피폭선량을 평가하여야하며 종양치료에 영향을 주지 않은 범위에서 가능한 방법을 동원하여 피폭선량을 줄여야 한다[13].

본 암센터에서는 일평균 200여명의 방사선치료 환자중 약 30%정도의 가임가능 연령층이 치료를 받으며 흉부의 종양치료선량이 평균 60 Gy이면 생식선의 선량은 약 40 mSv로 측정되었으며 이 값은 일반 정상인에 대한 법적 선량한도의 40 배정도 많은 피폭선량이다. 의료용 선형가속기에서 발생하는 고에너지 광자선은 치료두부(head), 콜리메이터, 환자를 포함한 치료실내의 모든 벽과 구성 물질로부터 많은 산란선을 발생시킨다.

NCRP[1] 는 태아의 피폭에 대하여 전체 5

mSv이하로 제한하고 매월 0.5 mSv를 넘지 않도록 경고하였고 ICRP[2]는 여성 하복부 표면의 피폭선량을 2 mSv이하로 제한하였으며 가능하다면 임신중에는 방사선치료를 피하는 것이 상책이지만 위협적인 악성종양으로 방사선치료가 불가피할 경우 반드시 태아와 건강부위의 피폭을 최소화하기 위하여 차폐를 꼭 시행하여야 하며 피폭선량을 측정 기록 하여야한다고 제안하고 있다.

태아에 500 mGy 이상일때 임신부는 낙태를 권유받으며 임신 기간중 100 mGy 이상 받은 태아는 적어도 정신적인 장애와 기형적인 현상 또는 백혈병등 암의 발생이 가능하다고 경고한다.

가임여성의 경우 난소에 2.5-5 Gy 는 영구불임이 될 수 있으며 가임 남성의 정자는 0.15 Gy일시 불임현상이 나타나고 3.5-6 Gy 에서 영구불임이 초래될 수 있다[6].

방사선 안전관리등의 기술기준에 관한 규칙[14] 제3절 의료분야의 특별기준, 제44조(진료환자의 방사선피폭)에 의하면 진료를 위한 환자 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 최소의 수준으로 유지하기 위한 절차를 구비하여야 하며 과학기술부 장관은 이에 준하는 의료시설 및 장비취급의 기술기준을 정하고 고시하여야 한다고 명시되어 있다.

고 선량 고 에너지방사선에 의한 조사면 밖의 피폭선량은 고에너지에 의한 콜리메이터의 누출선량과 평판여과판과 콜리메이터 벽의 산란선 및 환자와 침대에 의한 산란선에 의하여 발생된다.

두께 10 cm 텅스텐 콜리메이터의 투과선량은 약 1000분의1정도이며 방사선 누출에 관한 QA규정에도 10-3 이하로 정하고 있으며 산란선은 고 선량 고 에너지방사선에 의하여 많이 발생되고 주로 전 방위 산란임으로 깊이에 비례하여 증가되는 현상이 있다[5,11].

고 에너지방사선은 악성종양환자들의 치료성과를 향상시키는 동시에 치료후 방사선에 의한 만성효과가 발생 될 수 있기 때문에 주선속에 의한 산란선과 누출선량의 선질 및 선량을 측정하고 생식선과 같은 주요장기를 산란선 및 누출선으로부터 차폐할 수 있는 기구를 제작 사용함으로써 방사선 위해를 최대한으로 감소시킬 수 있다[10].

저자들은 이런 관점에서 방사선치료부위에 따른 생식선등 주요장기의 피폭선량을 측정하고 피폭선량을 최대한으로 줄일 수 있는 차폐방법을 모색하였다.

재료 및 방법

방사선치료에 의한 생식선등 주요장기의 피폭 선량을 측정하고 차폐기구를 제작하기 위하여 연세암센터에 설치된 의료용 방사선치료장치와 측정기 및 기구를 사용하였다.

고에너지 방사선은 의료용 선형가속기 (CLINAC 2100C/D, 2100C, 600C)에서 발생시킨 4, 6 10MV x-ray와 코발트원격치료장치(ALCYON II)의 코발트 선원에서 방출되는 감마선을 이용하였다.

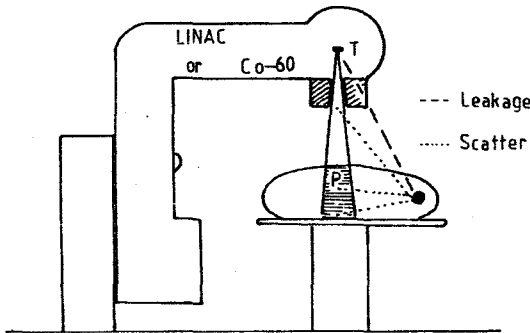


Fig. 1. Schematic diagram for production of scatter and leakage dose from high energy radiation therapy machine

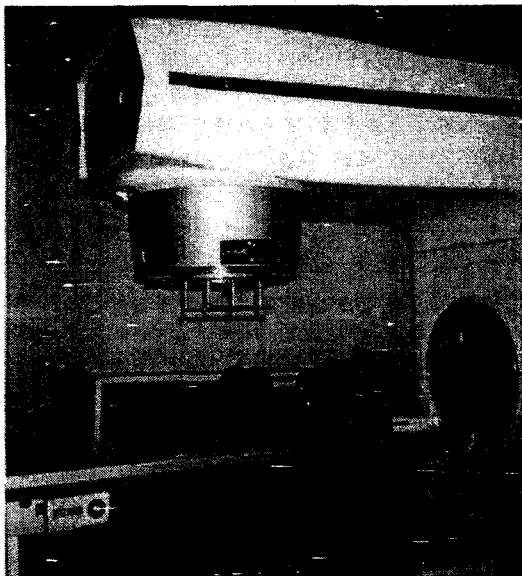


Fig. 2. Dosimetry setup. Measurement of scatter and leakage dose in Rando phantom with TLD chips and film

방사선 측정용팬텀은 30cm x 30cm x30cm 크기의 폴리스틸렌(polystyrene) 팬텀과 인체팬텀을 사용하였으며 인체팬텀은 상업용으로 판매하는

Rando 팬텀으로서 크기와 장기 및 구성물질을 인체의 재원과 유사한 물질로 제작되었다.

선량측정기는 이온함(Capintec 192 electrometer & PR-06C probe, Markus chamber)과 TLD(VICTOREEN 5000, LiF)을 이용하였고 선량분포 측정을 위하여 광밀도측정기(photodensitometer, Welhoffer 700i)에 의한 필름(V-Omat, Kodak)으로 측정하였다. 방사선조사부위는 두부, 흉곽 복부, 골반으로 분류하고 조사면은 5x5 cm², 12x12 cm², 14x14 cm², 20x20 cm² 로 각각 정하고 각 조사면 경계로부터 거리에 따른 피폭선량을 측정하였다. 태아의 위치는 골반내로 정하고 깊이를 10cm에 위치하는 것으로 정하였으며 인체의 주요장기는 뇌, 수정체, 갑상선, 폐, 췌장, 신장, 자궁, 고환등을 선택하였고 여기에 대한 누출선 및 산란선의 영향을 측정하였다. 선량측정은 폴리스틸렌과 인체팬텀(Rando)사용하였으며 측정기는 이온함, TLD 및 필름을 사용하였다. 고 에너지 방사선에 의한 산란선은 장치의 콜리메이터 뿐만 아니라 치료실 벽 인체내부등 모든 방향에서 방사됨으로 납 벽들에 의한 차폐율측정은 많은 변수를 가졌으며 고환인 경우에는 3면이 모두 차폐되도록 항아리모양으로 제작하였다. 태아인 경우 태아가 위치하고 있는 골반위에 육교모양의 선반을 만들고 그 위에 납 벽들을 장치하도록 고안하였다.

결 과

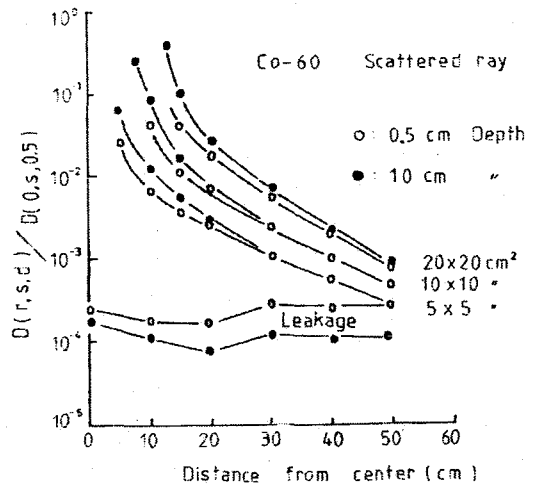


Fig. 3. Scatter and leakage dose ratio to the outside fields for field center from Co-60 tele-therapy units, r: distance from center, s: SSD, d: depth

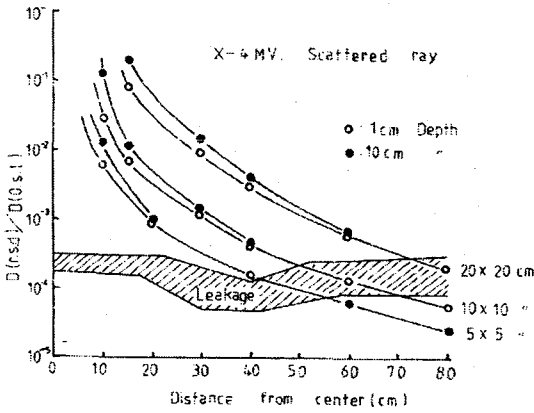


Fig. 4. Scatter and leakage dose ratio to the outside fields for field center of 4MV photon from linear accelerator. r: distance from center, s: SSD, d: depth

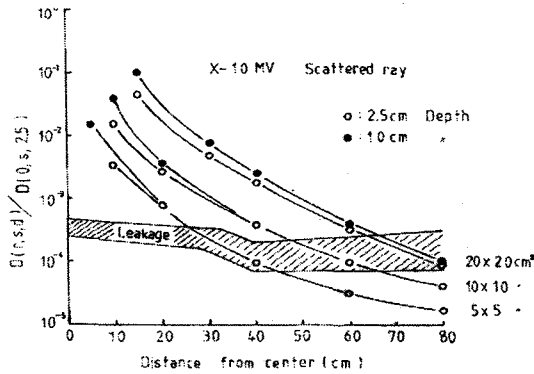


Fig. 5. Scatter and leakage dose ratio to the outside fields for field center of 10MV photon from linear accelerator. r: distance from center, s: SSD, d: depth

그림 3, 4, 5는 각각 Co-60 감마선, 4MV x-선, 10MV X-선에서 발생되는 누출선량과 산란선량을 조사면 중심으로부터 거리에 따라 측정한 값으로서 방사선치료 조사면 경계로부터 밖으로 10, 30, 60 cm 거리에서 누출선량과 산란선량을 합한 평균 피폭선량은 조사면내 최대선량의 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} 의 선량비율로 측정되었으며 거리에 따라 지수함수적으로 줄어들었다.

고 에너지 방사선에 의한 조사면 부근의 누출 및 산란선량을 측정하고 분포도를 인체모형에 도시하였다. 표1은 갑상선암등 경부에 국한된 중앙치료의 평균 치료조사면을 $5 \times 5 \text{ cm}^2$ 로 결정하였을

Table 1. 경부 치료시 방사선량 1 Gy에 대한 주요 장기의 피폭선량

Field size : $5 \times 5 \text{ cm}^2$

단위: mGy

부위	방사선 Co-60 γ	LINAC X-4MV	LINAC X-10MV
뇌	1.9	1.5	1.3
수정체	2.8	1.8	1.2
갑상선	B	B	B
폐	1.1	0.9	0.8
췌장	0.5	0.4	0.3
신장	0.4	0.3	0.3
자궁	0.3	0.3	0.3
고환	0.3	0.3	0.3

Table 2. 흉부 치료시 방사선 1 Gy에 대한 주요 장기의 피폭선량

Field size : $12 \times 12 \text{ cm}^2$

단위 : mGy

부위	방사선 Co-60 r	LINAC X-4 MV	LINAC X-10 MV
뇌	3.4	2.7	1.8
수정체	4.2	3.8	2.2
갑상선	68.5	54.2	48.3
폐	120.0	100.0	80.0
췌장	6.3	5.5	4.8
신장	3.1	2.9	2.5
자궁	1.2	1.0	0.9
고환	0.8	0.7	0.6

때 조사면을 중심으로 누출선량과 산란선에 의한 주요장기의 피폭선량을 측정 표시한 것으로서 주로 수정체와 뇌부분이 많이 피폭되고 있다.

그림6은 흉선종(thymoma)등 흉부에 국한된 중앙치료의 평균 치료조사면을 $12 \times 12 \text{ cm}^2$ 로 결정하였을 때 조사면을 중심으로 누출선과 산란선의 선량분포이며 표 2는 주요장기의 피폭선량을 측정 표시한 것으로서 주로 폐와 갑상선부분이 많이 피폭되고 있다. 즉 흉곽을 10 MV x-ray를 조사하였을 때 자궁에 받는 피폭선량은 0.9 mGy/Gy이며 고환이 받는 피폭선량은 0.6 mGy/Gy 이었으며 췌장과 신장은 각각 4.8 mGy/Gy 와 2.5 mGy/Gy이다.

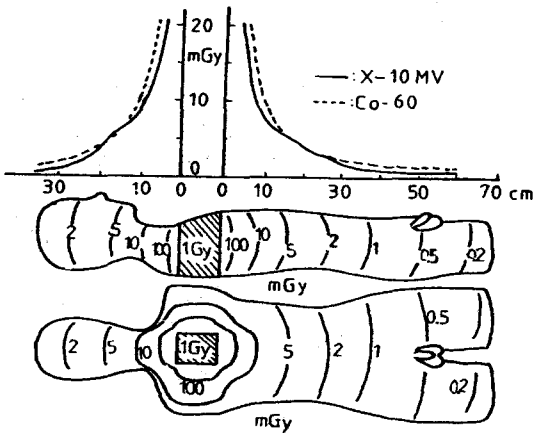


Fig. 6. Scatter and leakage dose distribution(mGy) in Rando phantom from 1 Gy thorax irradiation

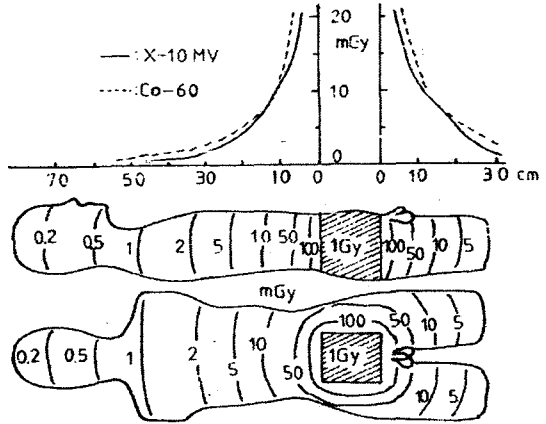


Fig. 7. Scatter and leakage dose distribution(mGy) in Rando phantom from 1 Gy pelvis irradiation

Table 3. 복부 치료시 방사선량 1 Gy에 대한 주요 장기의 피폭선량

Field size : 14 x 14 cm² 단위: mGy

부위	방사선 Co-60 γ	LINAC X-4MV	LINAC X-10MV
뇌	0.3	0.2	0.2
수정체	0.4	0.3	0.3
갑상선	2.8	2.6	1.9
폐	30.1	26.3	20.2
체장	B	B	B
신장	B	B	B
자궁	10.2	8.9	6.2
고환	5.2	4.8	4.2

Table 4. 골반 치료시 방사선량 1 Gy에 대한 주요 장기의 피폭선량

Field size : 14 x 14 cm² 단위: mGy

부위	방사선 Co-60 γ	LINAC X-4MV	LINAC X-10MV
뇌	0.2	0.1	0.2
수정체	0.3	0.2	0.2
갑상선	1.2	0.9	0.8
폐	2.0	1.7	1.5
체장	5.5	4.5	3.7
신장	42.3	40.7	39.8
자궁	B	B	B
고환	73.2	60.5	58.2

표 3은 체장암등 복부에 국한된 종양치료의 평균 치료조사면을 14x 14 cm²로 결정하였을 때 조사면을 중심으로 누출선 및 산란선에 의한 주요장기의 피폭선량을 측정 표시한 것으로서 주로 폐와 자궁부분이 많이 피폭되고 있다.

그림 7은 방광암등 골반에 국한된 종양치료의 평균 치료조사면을 14x 14 cm²로 결정하였을 때 조사면을 중심으로 피폭선량의 선량분포이며 표 4는 주요장기의 피폭선량을 측정 표시한 것으로서 주로 신장과 고환부분에 많이 피폭되고 있다.

고 에너지 x-선에 의한 산란선은 다 방향이기 때문에 납벽들의 차폐위치에 따라 차폐율이 다소 변동하였으나 콜리메이터 방향에서는 누출선과

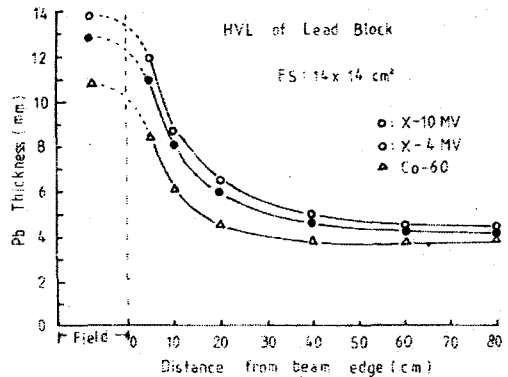


Fig. 8. Half value layer of lead sheet for high energy photon scattered and leaked ray

대부분의 산란선이 함께 조사되므로 차폐효과를 측정하는데 가장 적당하였으며 10MV X-선, 14x14 cm² 조사면 경계에서 10cm 밖에서 납벽들의 반가층 두께는 약 9.0 mm 이었고 20 cm 밖에서는 반가층 두께가 약 6.5 mm로 측정되었다.

복부에 위치한 악성종양을 60 Gy 조사하였을 경우 태아가 위치하는 자궁의 피폭선량은 약 370 mGy이고 이곳을 10 mGy이하 되도록 차폐하려면 약 6.2 cm두께의 납 벽들을 자궁위에 장착하여야 한다. 그림 9는 고환에 도달하는 피폭선량을 감소시키는데 필요한 납 향아리의 두께를 표시한 것으로서 골반치료시 고환에 10 mGy이하가 되도록 차폐하려면 약 5 cm 두께의 납 향아리가 요구된다. 그림 10은 방사선치료시 납 향아리로 고환을 차폐한 사진으로서 산란선과 누출선량을 감소시키고있다.

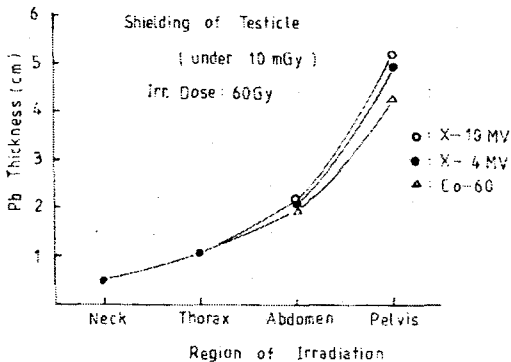


Fig. 9. Requirement of shielding lead thickness(cm) for testicle to be reduced 10 mGy from 60 Gy irradiated with high energy photon



Fig. 10. Testicle shielding from photon scattered and leaked ray with lead shielding pot.

고찰

방사선치료는 종양이 위치하는 국소부위에 40-80 Gy의 고 준위 방사선량을 투여하며 주위 건강조직에도 상당한 피폭이 예상되며 전신적으로 단 시간내에 다량의 방사선에 피폭될 경우 수 시간 또는 수주일 이내에 사망 할 수 있는 상황이 일어날 수 있다[3,13].

전신이 100 Sv 또는 그이상의 방사선에 피폭된 경우 사람은 수십 시간내에 사망하며 이때의 증상으로는 심한 오심 및 구토가 방사선 피폭 후 수분내에 나타나고 이어서 방향감각 상실, 근육운동의 조화 상실, 호흡곤란, 설사, 경련을 일으키고 혼수상태에 빠져 사망하게된다[6].

이러한 중추신경계 증후군은 뇌혈관벽 손상에 의하여 뇌속의 작은 혈관으로부터 체액이 뇌실질로 빠져나감으로써 뇌압이 상승되어 일어나는 것으로 이해되고 있다[3].

전신에 10 Sv 이상의 방사선이 조사된 경우 보통 3 일 내지 10일 이내에 위장계 증후군으로 사망하며 특징적 증상으로는 오심, 구토 및 지속적인 설사가 있으며 식욕이 감퇴되고 행동이 느려지고 수일내에 탈수, 체중감소, 탈진이나 사망하게된다[6].

위장계 증후군의 기전은 방사선에 의하여 위장관내의 상피세포가 사멸되기 때문이며 미세혈관 의손상도 이에 기여하는 것으로 인정되고 있으며 수분 손실에 의한 설사 및 탈수 그리고 위장관벽을 통한 박테리아의 침입에 의한 폐혈증으로 사망한다.

3-8 Sv의 방사선을 전신에 받으면 수주일 이내 골수증후군으로 사망한다. 오심 및 구토등의 전구 증상이 나타난 후 아무증상이 없다가 3주일 정도 지나면 오한 피로감, 반점형 피하출혈, 구강내 궤양, 탈모가 나타나며 차차 조절기능 장애에 의하여 피로감, 발열, 출혈등이 나타나 사망하게된다 [9].

골수에는 적혈구, 백혈구 및 혈소판등 혈액의 각종세포를 생성하는 간세포가 있으며, 방사선에 의하여 이러한 간세포가 죽게됨으로 혈액내에 이미 순환되고 있는 세포가 수명이 다하면 혈액내의 백혈구 감소에 따른 감염, 혈소판감소에 따른 출혈등이 나타나는 것이다.

다량의 방사선을 전신에 받는 경우 급성 방사선 증후군 이 나타나게 되나 그이하의 전신조사인 경우 또는 장기간에 걸쳐 소량의 방사선에 피폭되는 경우에는 전혀 다른 효과를 가져온다

즉 다량의 방사선에 의한 급성증후군은 중요세포의 사멸에 기인하는 것이나 만성 증후군은 세포의 핵에 손상을 주며 이러한 손상이 세포의 자손으로 전해진다. 인체를 구성하는 세포는 크게 체세포와 생식세포로 나뉘어 있는데 세포핵의 손상이 체세포에 일어난 경우 일부에서 백혈병 또는 기타 암이 발생할 수 있으며 생식세포에 일어난 경우에는 그 자손에서 유전적 변이로 나타날 수 있다. 방사선은 핵산(유전자) 변이를 잘 일으킬 수 있으므로 정상세포에 변이를 일으켜 이것이 암으로 진행된다. 암의 발생 과정은 3단계로 나누며 제1단계를 initiation 제2단계를 promotion 제3단계를 progression 이라고 한다[6].

제1단계는 충분한 양의 발암물질에 노출되어 세포핵내에 형태학적으로 또는 기능적으로 감지할 수 없는 변화가 일어난 것을 말하며 제2단계로 이러한 잠복기 형태의 암에 다른 자극이 가해져 세포핵내의 변화가 세포의 형태학적 및 기능적 변화로 나타나는 것을 말한다.

방사선은 핵산 곧 염색체의 결합을 끊는 역할이 있으므로 끊어진 염색체가 비정상적으로 재결합될 경우 유전자의 위치가 변동됨으로 정상적으로 억압되어 있던 발암유전자가 발현되는 위치에 옮겨 활성화되면서 암으로 진행될 수 있다. 방사선 피폭 후 암으로 진단되기까지는 상당히 긴 시간이 필요하고 실제로 방사선에 피폭된 사람에서는 피폭 후 수십년간에 걸쳐 암이 발견되고 있으며 모든 사람이 10 mSv의 방사선에 피폭된 경우 인구 백만명당 500명이 암으로 사망할 수 있다.

모든 사람이 10mSv의 방사선에 피폭될 경우 그 자손에서 이상이 나타날 가능성은 백만명당 50명으로 매우 낮은 편이다[2].

히로시마와 나가사키에서 원자폭탄 투하로 임신중 방사선피폭을 받고 태어난 사람에서의 조사결과에 의하면 1600명중 30명에서 심한 지능장애가 나타났으며 히로시마의 경우발생빈도는 방사선 피폭선량에 비례하여 증가되었다. 그러나 나가사키의 경우 1.5 Sv 이하인 경우에는 소두증의 증가는 관찰되지 않았다. 히로시마와 나가사키에서의 조사결과에 의하면 방사선량의 증가에 따라 거의 직선적으로 지능장애의 발생빈도가 증가하였으며 10 mSv 당 0.4%의 비율로 지능 장애가 발생하였다. 임신시기별로 구분하면 임신 8주 이내에 피폭된 경우는 지능 장애자가 없었고 8내지 15주인 경우 가장 높아 22명이 이시기에 해당되었다[2,8].

태아사망은 임신초기(2-3주이내)에 비교적 다량의 방사선을 받은 경우에 발생할 수 있으며 1 mSv 이하인 경우는 발생하지 않았으며 선천성기형이나 성장장애는 임신4주 이후에 방사선을 받을 경우 발생할 수 있으나 50 mSv 하에서는 발생하지 않았다[4].

지능장애는 8주에서 15주까지가 가장 예민한 시기이며 16주에서 25주까지 사이에 방사선을 받는 경우에도 나타날 수 있으며 가장 예민한 시기인 8주에서 15주 사이에 피폭된 경우 10 mSv당 IQ가 0.3정도 낮아진다[6].

방사선치료는 종양에 따라서 고 에너지 엑스선을 최소한 40 Gy에서 80 Gy까지 조사되기 때문에 주위건강조직 특히 생식가능한 사람에 대한 생식선의 피폭선량을 평가하여야하며 종양치료에 영향을 주지 않은 범위에서 가능한 방법을 동원하여 피폭선량을 줄여야한다[13].

방사선치료 환자 중 약 30%정도의 가임가능 연령층이 치료를 받으며 복부의 종양치료선량이 평균 60 Gy이면 이때 생식선의 선량은 약400 mSv로 측정되고 태아일 경우 낙태를 권유받을 피폭선량이며 임신 기간 중 100 mSv이상 받은 태아는 적어도 정신적인 장애와 기형적인 현상 또는 백혈병등 암의 발생이 가능하다[11].

가임여성의 경우 난소에 4 Sv는 영구불임이 될 수 있으며 가임 남성의 정자는 150 mSv에서 일시 불임현상이 나타나고 5 Sv 에서 영구불임이 초래될 수 있다.

임신 중에는 방사선치료를 피하는 것이 상책이지만 위협적인 악성종양으로 방사선치료가 불가피할 경우 반드시 태아와 신강부위의 피폭을 최소화하기 위하여 차폐를 꼭 시행하여야 하며 피폭선량을 측정 기록 하여야한다.

방사선 안전관리등의 기술기준에 관한 규칙[14] 제3절 의료분야의 특별기준, 제44조(진료환자의 방사선피폭)에 의하면 진료를 위한 환자 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 최소의 수준으로 유지하기 위한 절차를 구비하여야 하며 과학기술부 장관은 이에 준하는 의료시설 및 장비취급의 기술기준을 정하고 고시하여야한다고 명시되어 있다.

방사선치료는 종양을 치유하기 위하여 수십 Gy의 고 준위 방사선을 종양에 투여하여야 하지만 주위 중요 장기에 대한 손상을 막아야하며 주요 장기의 견딤선량(tolerance dose)과 유효선량한도를 고려하여야한다.

고 에너지방사선은 악성종양환자들의 치료성과

를 향상시키는 동시에 치료후 방사선에 의한 만성효과가 발생 될 수 있기 때문에 주선속에 의한 산란선과 누출선량의 선질 및 선량을 측정하고 생식선과 같은 주요장기를 산란선으로부터 차폐할 수 있는 기구를 제작 사용함으로써 방사선 위험을 최대한으로 감소시킬 수 있다.

결 론

암을 치료하기 위하여 고 에너지 고 선량을 종양에만 집중 투여하고 정상조직과 주위의 주요장기의 방사선 피폭을 최대한 감소시킴으로서 암의 완치율을 높이고 방사선의 후유증을 제거하여 정상적인 삶의 질을 누릴 수 있다. 특히 방사선 치료과정에서 생식기와 같은 주요장기와 건강조직에 일정한 방사선이 피폭되어 방사선 후유증으로 인한 장애를 평생 동반할 수가 있다.

고 에너지 치료방사선에 의한 누출선과 산란선은 환자의 종양부위 이외에 주요장기 또는 건강조직에 상당한 피폭을 유발시키며 흉곽이나 복부 또는 골반에 넓게 조사된 방사선에 의한 산란선은 난소, 태아 및 고환과 같은 방사선에 민감한 장기에 영향을 준다.

조사면 밖의 산란선량은 조사면내 최대선량의 약 5-10%로 측정되었으며 조사면 경계로부터 지수함수적으로 피폭선량이 감소하였다. 흉곽조사에서도 태아가 받는 피폭선량은 방사선치료선량의 약 0.9 mGy/Gy로 측정되어 종양 치료계획선량이 60 Gy이면 태아가 받는 피폭선량은 약 54 mGy로서 NCRP의 선량제한 권고치인 5 mGy를 훨씬 능가한다.

저자들은 우선 고 에너지 방사선치료에서 종양 이외의 부위에 위치한 주요장기의 산란선 피폭선량을 측정하였고 ALARA(as low as reasonably achievable) 개념에 의한 최대한 피폭을 줄일 수 있도록 여러 가지 차폐방법을 제시함으로써 후유증을 최대한 줄이면서 종양에 충분한 선량을 부여할 수 있어 치료효과를 향상시킬 수 있다고 생각한다.

방사선 안전관리등의 기술기준에 관한 규칙, 제3절 의료분야의 특별기준에 의하면 진료를 위한 환자 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 최소의 수준으로 유지하기 위한 절차와 기술기준을 정하는데 기초 자료가 될 수 있다고 생각하며 방사선으로 치료받는 환자들에게도 질병의 현황과 건강장기에 따른 제어 가능한 선량(controllable dose)을 정하고 시행함으로써 방사선의 이점을 최대로

이용할 수 있다.

흉곽, 복부 및 골반부위에 방사선을 조사하였을 때 고환인 경우 3면을 향아리모양으로 차폐할 수 있어 피폭선량을 상당히 줄일 수 있으며 자궁인 경우 방사선조사부위 조직에서 산란된 선량의 차폐는 불가능하였다.

참고문헌

1. NCRP report 91. "Recommendations on limits for exposure to ionizing radiation", National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD 20814, (1987).
2. ICRP report 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Pergamon, Oxford, (1991).
3. ICRP report 44. Protection of the Patient in Radiation Therapy Pergamon, Oxford, (1991).
4. ICRP report 49. Developmental Effects of Irradiation on the Brain of the Embryo and Fetus Pergamon, Oxford, (1986).
5. ICRP report 26. "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection Pergamon", Oxford, (1977).
6. E.J. Hall. Radiobiology for the Radiologist, 5th ed. J.B. Lippincott, New York, (2000).
7. H. Ing, W.R. Nelson and R.A. Shore. "Unwanted photon and neutron radiation resulting from collimated photon beams interacting with the body of radiotherapy patients." Med. Phys. 9,27-33(1982).
8. J.A. Antolak and E.A. Strom. "Fetal dose estimates for electron beam treatment to the chest wall of a pregnant woman." Med. Phys. 25,2388-2391(1998).
9. M. Mazonakis, J. Damilakis, N. Theohaveris and N. Gourtsoyiannis, "Brain radiotherapy during pregnancy : An analysis of conceptus dose using anthropomorphic phantoms." Br. J. Radiol. 72,274-278(1999).
10. S.C. Roy and G.A. Sandison. "Shielding for neutron scattered dose to the fetus in

patients teated with 18 MV x-ray beams.”
Med. PPhys. 27,1800-180 (2000).

11. R.Neta. “The promise of molecular epidemilogy in defining the association between radiation and cancer.” Health Physics, 79,77-84 (2000).
12. T.D. Luckey, “Radiation hormesis overview” Radiation Protection Management, 22-34, July/August,(1999).
13. C.A.Perez, L.W.Brady. “Principles and practice of radiation oncology.” 2nd edition JB Lippincott company. NY(1992).
14. 방사선 안전관리등의 기술기준에 관한 규칙. 과학기술부령 제17호(2000.4.18)