

# 골반 방사선치료후 발생한 골변화의 증례 및 고찰

아주대학교병원 치료방사선과 및 <sup>1</sup>핵의학과

강승희 · 전미선 · 박찬희<sup>1</sup> · 오영택

## Bony Change Developing Radiation Therapy in Pelvic Malignancies: Cases and Review

Seunghee Kang, Mison Chun, Chan Hee Park<sup>1</sup>  
and Youngtaek Oh

Department of Radiation Oncology, <sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine  
Ajou University School of Medicine, Suwon, Korea

A few patients who received pelvic radiotherapy have experienced low back pain and presented with various radiographic changes of pelvic bone during the follow up period. In these cases, it is important to differentiate diagnoses between insufficiency fracture of pelvic bone and bony metastases. In the present work, we report 5 patients who received radiation for uterine cervical cancer (3), rectal cancer (1), and malignant lymphoma (1) and later developed bone pain and radiographic changes such as insufficiency fracture of the sacroiliac joints, symphysis pubis or acetabulum, osteosclerosis, and compression fracture of the lumbar spine. These women were in postmenopausal status. The prescribed external radiation dose ranged from 4500 cGy to 5400 cGy. The patients complained of low back pain which was radiating to leg either immediately after the completion of radiotherapy or up to 14 months after the completion of irradiation. Medical image findings were based on pelvic X-rays, whole body bone scan, CT scan, MRI, and other special radionuclide studies. Those patients with typical radiographic bony changes were treated conservatively with analgesics and bed rest as much as they could. In two cases out of five, the symptoms were subsided or reduced in 3 months and 10 months, respectively.

To be aware of such clinical situation is important since it might otherwise be mistaken as symptoms and signs of metastasis. The purpose of this report is to describe the clinical and radiographic characteristics of these cases and to discuss their management. (Ajou Med J 1998; 3(1): 68~73)

**Key Words:** Radiation, Pelvic malignancy, Bony change, Pelvic insufficiency fracture

### 서 론

골반부위에 방사선치료를 받았던 악성종양 환자가 추적관찰기간동안 요통을 호소한 경우에 시행된 전신 골 핵의학검사(whole body bone scan)에서 골반골의 음영의 변화를 보일 수 있다. 이런 경우 골전이의 가능성

이외에 방사선치료에 의한 불완전 골절(insufficiency fracture)에 대해서도 감별진단하여야 한다. 불완전 골절 이라함은 폐경후 골다공증과 같이 탄성 저항력(elastic resistance)이 부족한 뼈가 정상적인 스트레스(normal physiologic stress)에도 불구하고 골절되는 경우를 말하며 이러한 조건을 갖는 환자에서 방사선치료는 탄성 저항력을 더욱 감소시킨다고 한다.<sup>1</sup> 따라서 방사선에 의한 골 변화는 폐경후 골다공증에 의해 뼈가 약화되어 있거나 방사선치료중 뼈의 대사에 영향을 줄 수 있는 약을 복

저자연락처: 강승희, (442-749) 경기도 수원시 팔달구 원천동 산 5번지, 아주대학교병원 치료방사선과, Tel: (0331) 219-5884, Fax: (0331) 219-5894

용한 경우에 더 흔하게 발생한다.

본 연구에서는 골반 부위에 방사선치료를 받은 환자로서 추적관찰기간 중의 요통의 원인이 방사선에 의한 골 변화로 확진된 환자들의 증례를 살펴보고 이에 대한 고찰을 하고자 한다.

### 재료 및 방법

1994년 8월에서 1997년 6월까지 골반내에서 발생한 종양으로 골반 부위에 방사선치료를 받은 환자 383명(여 270명, 남 113명)중 요통을 호소하여 시행한 전신골 핵의학검사 및 컴퓨터단층촬영 혹은 자기공명촬영상 원발 종양의 원격전이 증거 없이 영상학적인 골 변화를 보여 주었던 5명의 환자를 대상으로 하였다. 5명의 환자들은 골반 내에 위치한 다양한 악성종양(자궁경부

암 3명, 직장암 1명, 악성임파종양 1명)으로 방사선치료를 받았다(Table 1). 방사선치료는 15 MV, 선형 가속기를 이용하여 골반 및 하부 요추에 4500~5400 cGy를 조사하였다. 방사선 조사량은 환자가 받은 전체 선량중 차폐물이나 조사야의 축소에 의해 골반뼈가 의미 있는 선량(significant dose)을 조사 받지 않은 경우에는 이러한 선량을 제외시키고 계산하였다. 자궁경부암의 경우 외 부방사선치료 이외에 강내방사선치료가 시행되었다. 한 명의 환자가 직장암으로 수술 후에 방사선치료와 함께 약물치료(5-FU, leucovorin)를 받았고 다른 한 명이 악성 임파종으로 약물치료(CHOP 요법)를 받았다. 방사선치료중 혹은 추적관찰기간중 골밀도에 영향을 줄 수 있는 약을 복용한 경력은 없었다.

환자의 나이는 각각 48, 70, 79, 74, 67세였고 모두 폐경후 환자였다.

증상이 있는 이들 환자들에서 진단을 위하여 일반

Table 1. Patient's characteristics

Pt's No	Age/Sex	Diagnosis	Stage	Radiation dose*	Symptom onset	Radiologic change		Follow-up status
						WBBS**	Others	
1	74 / F	Cervical cancer	IB1	4500	0 mo	H-sign, & markedly increased uptake in Lt pubis near the symphysis	Pelvic & Lumbar spine X-ray : osteoporosis Pelvic CT : sclerotic change (insufficiency fracture) of Lt pubic ramus	improved symptom
2	70 / F	Rectal cancer	C2	5400	8 mo	markedly increased uptake of both sacroiliac joint & lower L-spine	--	no symptom
3	79 / F	NHL†	III	4500†	14 mo	increased uptake in L3,4,5	Lumbosacral spine X-ray : compression fracture in L4,5 MRI : R/O radiation osteitis compression fracture in L3,4,5	no change of symptom
4	48 / F	Cervical cancer	IB2	4500	2 mo	decreased uptake in L4 & sacroiliac joint	Pelvic CT : no abnormal bony lesion	no change of symptom
5	67 / F	Cervical cancer	IIB	4500	8 mo	increased uptake in Rt sacroiliac joint & Lt acetabulum	Lumbar spine X-ray : osteoporosis Tallium scan : increase uptake in Rt acetabulum MRI : radiation osteitis at L4~5, L5~S1 body Bone biopsy for abnormal lesion : no tumor cells	no change of symptom

\*RT dose means only external radiation dose to pelvis, \*\*whole body bone scan

†Non-Hodgkin's lymphoma, †Irradiation to left hemipelvis and L4,5

X-선 촬영 및 전신골 핵의학 검사는 기본적으로 시행되었고 필요한 경우 컴퓨터단층촬영, 자기공명촬영, Thallium 동위원소 촬영 등이 시행되었다.

방사선치료후 추적 관찰 기간은 방사선치료 종료후 14~21개월이었다.

## 결 과

방사선치료 종료후 증상을 처음으로 호소할 때까지의 기간은 각각 종료 직후, 2, 8, 8, 14개월이었으며 증상은 주로 요통과 함께 다리 쪽으로의 방사통이었다. 증상발현후 증상의 호전이 없어 골절이나 감별진단하기 위해 검사가 시행되기까지 걸린 기간은 0, 0, 2, 6, 15개월이었다. 이학적 검사상 특징적인 증후는 없었다.

일반 X-선 사진에서 변화를 보인 경우가 3예 있었는데 소견은 제 4, 5번 요추의 압박 골절이 1예에서, 골다공증 소견이 2예에서 보였다. 그러나 골절이 관찰된 경우는 없었다. 전신골 핵의학 검사상 천추-장골 결합부위(sacroiliac joint), 치골, 요추, 비구개(acetabulum)등에 동위원소의 흡수가 증가된 소견을 주로 보였고 특징적인 H-sign(Honda sign)을 보인 경우도 1명에서 있었다(Fig. 1). 예외적으로 1명의 환자에서는 동위원소의 흡수가 감소되었다. 전신골 핵의학 검사에서 골절이나 감별이 어려워 컴퓨터 단층촬영과 자기공명촬영이 시행된 경우가 각각 2예 있었고 특수 핵의학 검사 및 조직 검사가 필요했던 경우도 1예 있었다. 컴퓨터단층촬영을 시행하였던 2명중 1명은 좌측 치골의 경화소견이 관찰되었고(Fig. 2) 전신골 핵의학 검사상 동위원소의 흡수가 감소하였던 다른 1명은 특이한 변화를 나타내지 않았다. 컴퓨터 단층촬영에서도 골절선(fracture line)이 관찰된 경우는 없었다. 1예는 요통이 발생했던 시기에 시행한 전신골 핵의학 검사에서 좌측 비구개와 우측 천골-장골 결합부위에 골절이 의심되었으나 특수 핵의학 검사인 Thallium scan에서는 우측 비구개만이 전이소견을 보였다. 감별진단을 위해 조직검사를 시행한 결과 악성종양세포는 발견되지 않았고 이후 추적검사, 특수 핵의학 검사와 자기공명촬영에서 정상소견을 보였다.

위의 한명을 제외한 모든 환자에서 추적관찰을 위해 전신골 핵의학 검사등 영상적인 검사는 시행하지 않았다.

방사선에 의한 골변화로 진단된 후 환자들은 모두 보존적인 치료를 받았다. 2명의 환자는 각각 3, 10개월 뒤에 증상이 완화 혹은 소실되었으나 다른 3명은 마지막 추적관찰시까지 증상이 지속되었다.

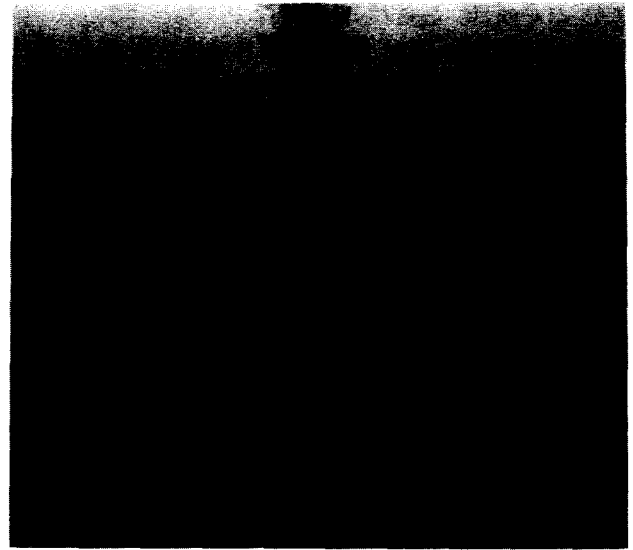


Fig. 1. Finding of whole body bone scan. There is an increased density of the sacroiliac joint area, bilaterally and sacrum ("Honda sign").



Fig. 2. CT scan of pubic region. It shows unilateral sclerosis of left pubic ramus.

## 고 찰

방사선에 의한 뼈의 변화는 방사선 조사량, 방사선의 종류(quality of beam)에 관련된다. Orthovoltage와 같이 뼈의 상대적인 흡수선량이 높은 치료기계를 사용하였던 시대에 비해 megavoltage의 방사선치료기계가 사용되면서 방사선에 의한 골변화(자연골절(spontaneous fracture), 가관절증(pseudoarthrosis), 무균성 괴사(aseptic necrosis), 골흡수(bone resorption) 등)의 발생은 급격하게 감소하였다. 또한 정상 성인의 뼈가 방사선을 조사받았을 때 영상학적으로 변화가 나타나는 한계치(threshold dose: TD5/5~50/5)는 60~100 Gy이나 골반내 중앙에서 골반

뼈가 받는 방사선량은 주로 TD5/5-50/5의 60~80% 정도인 50~60 Gy로써 방사선에 의한 골절은 흔하지 않다.<sup>2</sup> 그러나 방사선을 받은 뼈는 탄성 저항력(elastic resistance)이 감소하여 정상적인 외부충격에도 쉽게 손상을 받을 수 있고 특히 체중을 지지하고 있는 뼈(weight bearing bone)의 경우 불완전 골절을 포함하여 다양한 영상학적인 변화를 나타낼 수 있다.<sup>1</sup> 또한 뼈의 상태(bone physiology)에 영향을 미치는 다양한 인자들, 즉 폐경 상태, 복약, 내분비 상태, 영양상태 등은 방사선에 의한 변화를 가속화할 수 있다.<sup>3</sup> 골밀도에 영향을 미치는 약으로는 스테로이드, 해파린, 갑상선 호르몬, 비스테로이드성 소염제 등이 있다.<sup>4</sup>

방사선에 의한 골 변화의 정확한 빈도는 알 수 없으나 University of Kentucky의 경험에 따르면 방사선에 의한 골염(radiation osteitis)이 약 0.3%로 추산되며 Ergun 등과 Hanif등에 의하면 대퇴골 경부의 괴사는 0.1~10%이다.<sup>5,6</sup> 반면에 Abe등은 방사선치료후 연속적으로 시행한 영상학적 검사상 골반골의 골절이 34%에서 관찰되었다고 보고하고 있다.<sup>7</sup> 방사선에 의한 불완전 골절은 남자에 비해 여자에서 더 흔하게 나타난다. 특히 폐경 후 여자 환자는 골다공증등 뼈의 상태가 기본적으로 약화되어 있어 남자에 비해 방사선치료후에 골반뼈의 골절 빈도가 증가하는 것으로 보인다. 남자의 경우 전립선암 환자에서 방사선치료후 골반뼈의 골절은 관찰되지 않는 반면<sup>8</sup> 전고관절 대치술(total hip replacement) 후 골화성 근염(myositis ossificans)이 여자보다 남자에서 더 흔하게 발생한다.<sup>9,10</sup> 방사선치료를 받지 않은 일반인에서 나이에 따른 골다공증에 의한 골절의 빈도를 살펴보면 65~69세에서 2.4 /10,000명, 70~74세에서 10.9/10,000명, 75~79세에서 18.3 /10,000명, 80세 이상에서 38/10,000명이다(Dennis Black, PhD., oral communication, september, 1994).<sup>4</sup> 본 연구에서는 방사선치료를 받고 증상이 있었던 경우에만 전신골 핵의학검사를 비롯한 검사들을 시행하였기 때문에 무증상의 골절을 포함하는 빈도까지는 알 수 없었다.

방사선에 의한 골변화는 병리학적으로는 충혈(hyperemia), 골괴사(osteonecrosis), 골손상의 회복(repair of bone) 등으로 나타난다.<sup>11</sup> Rubin과 Casarette에 따르면 방사선에 의한 골절은 성숙된 뼈(mature bone)의 미세혈관구조(fine vasculature)들의 손상의 결과로서 혈관폐쇄에 의해 골막의 혈관(perosteal vasculature) 및 조골세포(osteoblast)가 손상을 받고 조골세포와 파골세포(osteoclast)의 균형이 깨지면서 발생한다고 하였다.<sup>12</sup> 따라서 이러한 변화는 임상적으로 후기(late) 부작용으로 나타난다. 영상학적으로는 전신골 핵의학검사에서 동위원소의 흡수의 증가 혹은 감소로 나타나며 천추 및 천추-장골 결합부위

의 골절이 충분히 진행된 경우에는 "H(Honda)" sign으로 나타난다.<sup>13</sup> 그러나 일반 X-선 촬영에서는 변화가 보이지 않거나 미미한 정도로밖에 관찰되지 않는다. 다양한 문헌에서 방사선 조사야와는 무관하게 비대칭적인 골변화를 보고하고 있다. 그 이유에 대해서 정확히 알 수는 없으나 환자들의 습관에 따라 골반에 대한 체중부하가 비대칭적이기 때문으로 설명하고 있다.<sup>5</sup>

진단은 증상 및 전신골 핵의학검사 만으로도 가능하며 대개 이외의 부가적인 진단 방법은 불필요하다. 전이성 병소에서는 동위원소의 흡수가 대칭적으로 나타나는 경우가 드물기 때문에 적절한 증상이 있는 환자에서 H-sign은 불완전 골절에 진단적이라 할 수 있다. 또한 방사선을 받은 뼈는 골전이(osteolysis)가 발생할 가능성이 적고<sup>14,15</sup> 치료후 단기간 내에 방사선을 받았던 뼈에서만 선택적으로 전이성 병소가 발생하는 것이 가능하지 않을 것으로 생각되기 때문에<sup>1</sup> 방사선에 의한 골변화로 진단할 수 있다. 간혹 경화성 골전이(osteoblastic metastatic lesion)와의 감별이 어려운 경우에 컴퓨터 단층촬영이 가장 좋은 방법이며<sup>6</sup> 그 외 자기공명촬영, 특수 검사(종양표식자를 이용한 핵의학검사), 및 조직검사등을 드물게 시행할 수 있다. 컴퓨터단층촬영은 단순 X-선 촬영에서 관찰되지 않는 미세한 골밀도(bone density)의 변화를 매우 민감하게 보여줄 수 있다. 즉 골전이 혹은 골수염(osteomyelitis)에서의 골수의 변화는 방사선치료후 관찰되는 후기 골석회화(late bone sclerosis) 혹은 골수 섬유화(marrow fibrosis)에 비해 골밀도가 떨어져 있다.<sup>16,17</sup> 또한 골전이에 비해 방사선에 의한 골변화의 증상은 좀더 급성으로 나타나는 경향이 있다. Fu등에<sup>5</sup> 의하면 증상이 방사선치료후 5년 이상 경과한 다음에 나타나는 경우 방사선에 의한 이차성 육종과의 감별진단이 필요하다고 하였다. 이차성 육종의 경우 전형적으로 경화성 소견(blastic appearance)을 나타내며 골의 파괴, 주위에 종괴형성, 종양에 의한 조골세포의 생산, 칼슘침착등의 소견을 보이며 잠복기가 불완전 골절에 비해 훨씬 더 긴 것으로 알려져 있다.

방사선에 의한 골변화의 임상례들을 보고한 문헌들이 있다. Lundin등은<sup>1</sup> 13명의 부인과 종양 환자를 대상으로 보고하였는데 방사선치료후 증상발현까지의 기간이 대개 50주 이내였으나 2명에서는 88주, 89주로 1년 이후에도 발생함을 보고하였다. 증상은 주로 요추부위였고 대개는 둔부, 치골부위, 다리등으로의 방사통을 호소하였다. 1회 이상의 전신골 핵의학검사를 시행한 환자중 동위원소의 흡수부위가 주변으로 더 진행된 경우가 2예에서 있었으나 대개는 흡수의 정도가 감소하였고 5명에서 정상으로 회복되었다. 증상의 소실과 전신골 핵의학검사의 이상 소견이 정상화되는 시기가

반드시 일치하지는 않았다. 치골골절의 경우 천추골절에 비해 일반 X-선 촬영에서 골절을 나타내는 경우가 많은데 이는 아마도 내전근(adduction muscle)의 영향으로 약화된 뼈가 효과적으로 고정(ineffective immobilization)되지 못하기 때문으로 분석하였다.<sup>18,19</sup> Abe 등은<sup>6</sup> 부인과암으로 골반부위에 고선량의 방사선치료(평균 46 Gy)를 받은 환자 80명을 대상(30~80세, 평균 62세)으로 후향적으로 골변화에 대하여 분석하였다(대조군: 50세 이상의 유방암 환자). 29명(36%)에서 전신골 핵의학검사상 비정상 소견을 보였고 이중 27(34%)명이 불완전 골절을 보였다(2명은 골전이로 판명되었다). 골절된 환자의 대부분은 50 Gy 이상의 방사선을 조사받았고 골절은 치료종료후 13개월 이후에 발생하였다. 골절 환자의 78%가 증상을 경험하였고 폐경후 환자에서만 골절이 관찰되었으며 증상이 있었던 경우가 증상이 없었던 환자에서보다 더 많은 골절이 발생하였다(84% vs 11%). 반면 유방암 환자는 5%에서 골반뼈의 불완전 골절이 발생하였다. 부위별 발생빈도는 천추-장골 결합부위 61%(천추비익(sacral ala) 53%, 내측 장골 8%), 상부 천추(S1-S2) 28%, 하부 천추 4%, 치골 4%, 좌골 3%였다. 이들은 이러한 고빈도의 이유를 설명하지는 못하였다. 반면 Konski 등<sup>10</sup>은 자궁내막암으로 방사선치료를 받은 75명중 2명(2.7%)에서만 골반골절이 발생하였고 시기는 방사선치료후 평균 29개월이었다고 보고하였다. Fu 등<sup>5</sup>은 자궁경부암과 자궁내막암으로 방사선치료를 받은 환자중 골절이 발생한 12명(폐경후 11명)에 대해 보고하였다. 에스트로겐 대체요법을 받은 환자는 한 명도 없었다. 한 명을 제외한 모든 환자에서 급성증상으로 나타났다. 방사선조사량은 40~61.2 Gy(mean 54.5 Gy)였다. 강내치료시 골반뼈가 조사받는 방사선량은 근접방사선 조사량의 5~10% 정도였다. 영상학적으로 변화가 나타난 시기는 6개월~8년(중앙값 3년)까지로 다양했다. 이들 모두는 진단후 침상안정 및 진통제의 사용, 물리치료 등의 보존적인 치료로 거의 완전히 증상이 완화되었고 증상은 2년정도 지속되었다. 그러나 50%의 환자는 3개월 이내에 증상이 경감되었다. Grigsby 등<sup>20</sup>은 진행되거나 재발된 부인과암 환자에서 골반 및 서혜부에 방사선을 조사한 결과 골반뼈의 골절은 관찰되지 않았고 대퇴골 경부 골절이 5년에 11%, 10년에 15%(cumulative actuarial incidence) 발생하였다고 하였다. 골절은 방사선 조사량과는 관련이 없었고 흡연력, 방사선치료 전에 영상학적으로 골다공증의 증거가 있었던 경우가 의미 있는 관련성을 보였다. 근접방사선치료(brachytherapy)가 치골과 좌골의 골절에 영향을 미칠 수 있다는 보고가 있기는 하나<sup>21</sup> 증명된 바는 없으며 Mandell은 뼈의 피질부위(cortical bone)에 I-125를 이용한 영구삽입술

을 시행한 결과 이러한 시술이 골절 등의 부작용을 증가시키지는 않았다고 보고하였다.<sup>22</sup>

여러 보고에서 나타난 바와 같이 방사선에 의한 골변화의 치료는 보존적인 방법만으로 가능하다. 체중 부하를 최대한 억제하고 증상에 따라 진통제를 사용하며 경우에 따라 물리치료가 도움이 될 수 있다. 간혹 고압 산소요법이 효과적인 경우도 있다고 한다.<sup>23</sup> 본 환자들의 경우도 진통제 및 침상안정등 대증적인 요법이 효과적이었다.

## 결 론

이상에서 살펴본 바와 같이 현대적인 치료기기 및 치료방법의 사용으로 방사선에 의한 골변화는 드물게 발생하나 뼈의 상태에 영향을 미칠 수 있는 다양한 선행 혹은 병행 요인을 갖고 있는 경우 방사선치료가 골절의 빈도를 증가시킨다. 따라서 골반 방사선치료후 다양한 시기에 나타나는 요통을 비롯한 뼈의 통증을 골전이로 진단하기 전에 방사선에 의한 불완전 골절을 의심해 보는 것이 필요하다. 이러한 골변화는 다양한 원인들의 복합적인 상호작용의 결과로 발생하는 것으로 생각되며 증상의 소실 시기는 다양하지만 대증적 치료로 충분한 증상의 개선을 기대할 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Lundin B, Bjorkholm M, Lundell M and Jacobsson H: Insufficiency fractures of the sacrum after radiotherapy for gynecological malignancy. *Acta Oncologica* 29 Fasc(2): 221-215, 1990
2. Evans RG: The bone. In Moss' Radiation Oncology: Rationale, Technique, Results(ed. James DC). 7th ed, St Louis, Mosby, 1994, pp829-830
3. Resnick D and Niwayama G: Osteoporosis. In *Diagnosis of bone and joint disorders*(ed. Resnick D and Niwayama G) Philadelphia, WB Saunders, 1988, pp2022-2085
4. Konski A and Sowers M: Pelvic fractures following irradiation for endometrial carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 35(2): 361-367, 1996
5. Hanif I, Mahmoud H and Pui C: Avascular femoral head necrosis in pediatric cancer patients. *Med Ped Oncol* 21: 655-660, 1993
6. Fu AL, Greven KM and Maruyama Y: Radiation osteitis and insufficiency fractures after pelvic irradiation for gynecologic malignancies. *Am J Clin Oncol(CCT)* 17(3): 248-254, 1994
7. Abe H, Nakamura M, Takahashi S, Maruoka S, Ogawa Y and Sakamoto K: Radiation-induced insufficiency fractures of the

- pelvis: Evaluation with  $^{99m}\text{Tc}$ -methylene diphosphonate scintigraphy. *Am J Radiology* 158: 599-602, 1992
8. Ray GR, Cassady JR and Bagshaw MA: Definitive Radiation therapy of carcinoma of the prostate. *Radiology* 106: 407-415, 1973
  9. Blount LH, Thomas B, Tran L, Selch MT, Sylvester JE and Parker RG: Postoperative irradiation for the prevention of heterotopic bone: Analysis of different dose schedules and shielding considerations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 19: 577-581, 1990
  10. Kanski A, Pelligrini V, Poulter C, Devanny J, Resier R, Everts CM, Henzler M and Rubin P: Randomized trial comparing single dose vs. fractionated irradiation for prevention of heterotopic bone: Preliminary report. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 18: 1139-1142, 1990
  11. Hattner RS, Hartmeyer J and Nara WM: Characterization of radiation-induced photopenic abnormalities on bone scans. *Radiology* 145(1): 161, 1982
  12. Rubin P and Casarett GW: Mature cartilage and bone. In *Clinical radiation pathology*(ed. Rubin P and Casarett GW) Philadelphia, WB Saunders, 1968, pp557-608
  13. Daffner RH and Pavlov H: Stress fracture. In *Radiology*(ed. Taveras JM, Ferrucci JT) Philadelphia, JB Lippincott, 1995, pp1993-2004
  14. Tapan AH and Shankar G: Prophylactic pelvic girdle irradiation in the treatment of prostatic carcinoma. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 7: 817-819, 1981
  15. Herebergs A, Werner A and Brenner HJ: Reduced thoracic vertebrae metastases following post mastectomy parasternal irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 11: 773-776, 1985
  16. Kuhn JP and Berger PE: Computed tomographic diagnosis of osteomyelitis. *Radiology* 130: 503, 1979
  17. Helms CA, Cann CE, Brunelle FO, Gilula LA, Chafetz N and Genant HK: Detection of bone marrow metastases using quantitative computed tomography. *Radiology* 140: 745, 1981
  18. Casey D, Mirra J and Staple TW: Parasymphyeal insufficiency fractures of the os pubis. *Am J Radiology* 142: 581-586, 1984
  19. Davies AM, Evans NS and Struthers GR: Parasymphyeal and associated insufficiency fractures of the pelvis and sacrum. *Br J Radiol* 61: 103-108, 1988
  20. Grigsby PW, Roberts HL and Perez CA: Femoral neck fracture following groin irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 32(1): 63-67, 1995
  21. Dalinka MK, Edeiken J and Finkelstein JB: Complications of radiation therapy: Adult bone. *Semin Roentgenol* 9: 29-40, 1974
  22. Mandell L, Nori D, Anderson L, Belanich M and Hilaris B: The effects of permanent I-125 interstitial implantation on cortical bone. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 11: 1029-1034, 1985
  23. Hart GB and Mainous EG: The treatment of radiation necrosis with bypervaric oxygen. *Cancer* 37: 2580-2585, 1976
-