

X-線 照射가 래트 태아의 발육에 미치는 영향

오홍근 · 김용준¹
전북대학교 수의과대학

Effect of X-irradiation on Fetal Development During Pregnancy in the Rats

Hong-Geun Oh and Yong-Jun Kim¹

College of Veterinary Medicine, Chonbuk National University, Chon-Ju, 561-756, Korea

Abstract : This study was carried out to find if the X-irradiation being used for clinical diagnosis during pregnancy would affect fetal development and cause fetal malformation in rats or not. To determine the dose and irradiation frequency of X-irradiation and gestation period by which fetal development would be affected when irradiated during pregnancy, seventy-two Sprague Dawley female rats (8 weeks old) were used for the experiment and grouped into three according to different gestation period of 5-8 days, 10-13 days, and 6-12 days of gestation. Experimental rats were irradiated on the daily irradiation conditions of 40, 60, 80 kvp(kilo volt peak), 150 mA(milliampere), 0.25 scc and 4 times/day for both 5-8 days and 10-13 days of gestation, and 100 kvp, 100 mA, 2 min, and 4 times/day for 6-12 days of gestation. Rats were put in a small dark box when irradiated, which animals were sacrificed on the 20th day of gestation and mean litter size, fetal body weight, fetal crown-rump length(CRL) were investigated along with pathological findings.

1. Litter size were significantly decreased in the rats which were irradiated by both 60 and 80 kvp during 5 to 8 days of gestation and by 100 kvp during 6-12 days of gestation compared to those from the control rats(p<0.05)
2. Fetal body weight was significantly decreased in the fetus from the rats which were irradiated by both 60-80 kvp during 5-8 days of gestation and by 100 kvp during 6-12 days of gestation compared to those from the control rats(p<0.05)
3. There was no significant difference of fetal crown-rump length between all the experimental rats and the controls.
4. Fetal absorption, fetal death, and fetal malformation were not observed in the fetus from the rats irradiated by 40-80 kvp during 5-8 and 10-13 days of gestation, however, the pathological findings were found in those from the rats irradiated by 100 kvp during 6-12 days of gestation.
5. The harmful effect of x-irradiation on fetal development was estimated to occur when irradiated during 5-8 days of gestation.

These results indicated that even X-irradiation for clinical diagnosis could affect fetal development in the early embryonic stage and when the fetus were exposed to frequent and prolonged x-irradiation with over dose.

Key words : X-irradiation, gestation period, litter size, fetal body weight, crown-rump length, malformation

서 론

동물에서 질병진단을 위하여 X-선 조사는 필수적인 진단 기법으로 널리 이용되고 있다. 그러나 사람 및 동물에서 과량의 X-선 조사와 반복적인 조사에 의해 기형이 유발된다는 점이 여러 연구자들에 의해 보고되었다^{1-3,6-10,12-19}.

Brizzee 등⁴은 X-선 조사가 중추신경계에 영향을 주어 세포들이 조직적 변형을 일으켜 행동장애를 일으킨다고 보고하였고, Ronald 등¹¹은 임신 9일령과 17일령의 Wistar rat에 0.6Gy의 X-선을 조사하여 산자수 및 태아 체중의 감소와 정소하강 및 질의 개구 시기가 지연됨을 보고하였다. Wilson 등²⁰도 임신 9일령 rat가 X-선에 노출되었을 때 산자수, 태

아 체중, 태아 Crown-Rump length(이하 CR length)감소를 보고하였다. 이와 같이 X-선으로 인한 태아의 기형이나 산자수, 체중의 감소들이 보고되었으나 이 연구들에서 사용된 X-선 조사량은 주로 치료방사선에서 사용되는 많은 조사량이 사용되어 태아의 기형이나 성장지연 등을 보고한 연구가 대부분이었다. 따라서 본 실험에서는 일반 개업의들이 일반적으로 사용하는 진단방사선기를 이용시에도 방사선을 증가할 때 태아 발육에 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 임신한 rat에 X-선을 조사하였다. 또한 X-선 조사시 임신기간 중 어느 시기에 태아의 영향을 주는가를 확인하기 위하여 초기 기관형성기(initial organogenetic stage)인 임신 5-8일간, 기관형성기(organogenetic stage)인 임신 10-13일간 그리고 초기기관형성기와 기관형성기를 포함한 임신 6-12일간의 3개군으로 임신기간을 구분하고 각 임신기간별로 서로 다른 용량의 X-선을 조사하여 태아산자수, 태아 CR length, 태아 체중 및 병리적 소견을 조사하여 X-선의 조사가 태아에 미치는 영향 및 기형유발 여부를 알아보려고 하였다.

본 연구는 99년도 전북대학교 연구기반 조성 연구비에 의해 수행되었음.

¹Corresponding author.
E-mail : yjk@moak.chonbuk.ac.kr

재료 및 방법

실험동물

1) **Female rat** : 본 실험에 사용된 암컷 래트(Sprague-Dawley)는 8주령 72두를 사용하였다. 실험 rat의 체중은 220 g 이상이였다. Female rat의 발정기 상태 검사는 Christie의 질도말 방법에 준하여 실시하였고 그 방법은 멸균된 cotton swab에 생리식염수를 묻히고 나서 질 점액을 채취한 후 슬라이드에 도말하였고 Giemsa 염색후 광학 현미경 400배 시야에서 질상피세포를 관찰하였다. 질도말 검사에 의한 발정기 판정은 각화세포가 90% 이상일 때를 기준으로 하였다.

2) **Male rat** : 교배를 하기 위해 사용된 male rat(Sprague-Dawley)는 10주령의 체중 300 g 이상으로서 20두를 사용하였다.

교배 및 임신확인

교배는 오후에 male rat가 들어있는 cage에 발정기 상태로 판정된 female rat를 1:2의 비율로 넣어 합숙을 시켰다. 합숙 후 다음날 질도말 검사에 의해서 정자의 존재여부에 따라(Fig 1) 정자가 관찰된 female rat를 실험에 사용하였으

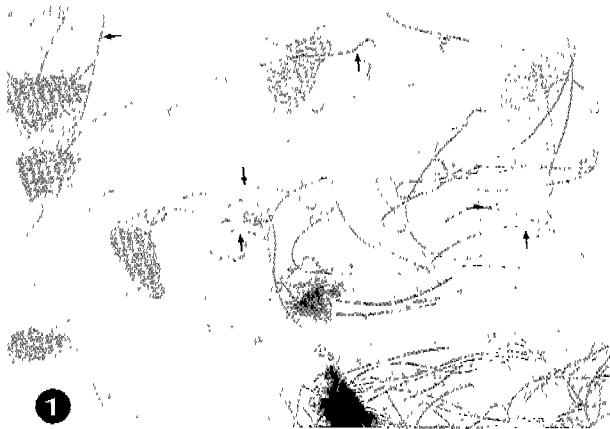


Fig 1. Vaginal smear after mating. See a lot of spermatozoa (arrows).

며 정자가 확인된 날을 임신 1일령으로 간주하였다.

실험군의 설정

임신일령에 따른 X-선 진단기(ACOMA, MC-150, USA)의 조사시기는 Table 1과 같이 3개 군으로 구별하였으며 각 임신일령군마다 대조군을 설정하였고 X-선 조사량에 따라 실험군을 설정하였다.

Table 1에서와 같이 임신한 rat에서 초기 기관형성기와 기관형성기에 X-선 조사시 태아에 미치는 영향을 각각 알아보기 위하여 임신 5-8일간 군과 10-13일간 군의 두 군을 설정하였고, 각 임신기간의 rat에 대하여 40, 60, 80 kvp로 X-선량을 구분하여 실험동물에 X-선을 조사하였다. 또한 임신기간별로 대조군을 각각 설정하였다. X-선 조사시 밀리암페어(mA)는 모두 150 mA이었고 조사시간은 각각 0.25초이었으며 이러한 조건에서 1일 4회, 4일 연속 X-선을 조사하였다. 한편, 초기 기관형성기와 기관형성기를 모두 포함한 임신기간 즉, 임신 6-12일간의 실험군에 대하여는 X-선량은 100 kvp, 100 mA이었으며, 조사시간은 2분간의 조건을 설정하여 1일 4회 7일간 연속 조사하였다.

실험동물의 X-선 조사 방법

각 실험군에 따라 작은 암상자를 이용하여 실험동물들을 상자내에 넣은 후 천으로 위를 덮고나서 상자가 X-선 조사범위내로 들어오도록 조정한 후 1일 4회씩 조사하였다.

실험조사 내용

1) **산자수** : 임신일령과 X-선 조사량에 따른 태아 산자수의 변화를 관찰하기 위하여 X-선 조사후 임신 20일령에 female rat를 희생시켜 각 실험군별로 산자수를 조사하였다.

2) **태아의 체중** : 임신일령과 X-선 조사량에 따른 태아 체중의 변화를 관찰하기 위하여 X-선 조사후 임신 20일령에 female rat를 희생시켜 각 실험군별로 태아 체중을 조사하였다. 태아 체중은 전자저울(Sartorius)을 이용하여 개체의 체중을 조사하였다.

3) **태아의 CR length** : 임신일령과 X-선 조사량에 따른 태아 앞은키의 변화를 관찰하기 위하여 X-선 조사후 임신

Table 1. Experimental group according to days of gestation and dosage of X-ray

Gestation Period (days)	No. of Animals	X-ray		Time of Irradiation	Duration and Times of Irradiation
		kvp	mA		
5-8	7	Control		0.25 sec.	4 days, 4 times/day
	4	40	150		
	4	60			
	5	80			
10-13	8	Control		0.25 sec.	4 days, 4 times/day
	5	40	150		
	5	60			
	4	80			
6-12	14	Control	100	2 min.	7 days, 4 times/day
	17	100			

20일령에 female rat를 희생시켜 각 실험군별로 태아 CR length를 조사하였다. 태아의 CR length를 조사하기 위하여 일반적인 scale을 이용하였다.

4) 병리조건 : X-선 처리군과 대조군에서 태아의 병리적 소견을 육안 및 실체 현미경하(10×)에서 관찰하여 비교하였다.

통계분석

본 실험에서 얻은 결과는 ANOVA를 실시하였고 ANOVA 처리시 유의한 결과는 Duncan 다중비교를 하였다.

결 과

임신한 rat에 일정한 임신기간동안 X-선을 조사한 후 임신 20일령에 희생시켜 임신기간군별로 X-선 처리군과 대조군간의 태아의 산자수를 비교한 결과는 Table 2와 같다.

임신 5-8일간 X-선 조사량을 40, 60, 80 kvp로 하여 4일간 조사했을 때 산자수는 각각 11.96두, 11.25두, 11.22두로서 60 kvp 조사군과 80 kvp 조사군은 40 kvp 조사군의 11.96두와 대조군의 12.54두에 비하여 유의성있게 낮은 산자수를 나타내었고(p<0.05), 임신 10-13일간 X-선 조사량을 40, 60, 80 kvp로 했을 때 산자수는 12.57두, 12.43두, 12.38두로서 대조군의 12.64두와 유의적인 차이는 없었다. 임신 6-12일간 100 kvp로 X-선 조사된 군은 9.18두로서 대조군의 12.83두에 비하여 낮은 산자수를 나타내었다(p<0.05).

임신한 rat에 일정한 임신기간 동안 X-선을 조사한 후 임

신 20일령에 희생시켜 태아의 체중을 비교한 결과는 Table 3과 같다.

임신 5-8일간 X-선 조사량을 60 kvp, 80 kvp로 하여 4일간 조사한 경우 태아체중은 각각 3.11 g, 3.13 g으로서 40 kvp 조사군의 3.20 g 및 대조군의 3.21 g에 비하여 낮은 체중을 나타내었고(p<0.05), 임신 10-13일령 군에서 X-선 조사량에 따라 40, 60, 80 kvp로 조사했을 때 태아체중은 각각 3.36, 3.31, 3.25 g으로서 대조군의 3.42 g에 비해 낮은 체중수치를 나타내었으나 상호간에 유의적인 차이는 없었다. 한편, 임신 6-12일기간 동안 100 kvp로 X-선 조사한 경우 태아의 체중은 3.08 g으로 대조군의 3.49 g에 비해 낮은 체중을 나타내었다(p<0.05).

임신한 rat에 일정한 임신기간동안 X-선을 조사한 후 임신 20일령에 rat를 희생시켜 태아의 CR length를 비교한 결과는 Table 4와 같다.

임신 5-8일간 및 임신 10-13일간 모두에서 X-선 조사량을 40, 60, 80 kvp로 하여 4일간 X-선 조사시 태아의 CR length는 각각 3.21, 3.14, 3.11 cm, 대조군은 3.28 cm로서 대조군은 X-선 조사군보다 더 큰 CR length의 수치를 나타내었으나 유의적인 차이는 없었다. 임신 6-12일간 100 kvp로 X-선 조사된 태아의 CR length는 3.11 cm로서, 대조군의 3.26 cm에 비해 작은 값을 나타내었으나 유의적인 차이는 인정되지 않았다.

임신 rat에 X-선 조사 후 실험군에 따라 태아의 병리적 소견을 조사한 결과는 Table 5와 같다.

Table 2. Mean litter size following X-irradiation to pregnant rats according to different gestation period (Mean ± D)

Gestation Days	No. of Pregnant Rats	Mean Litter Size(No. of fetus)					mA of X-ray
		Dosage of X-ray Irradiation					
		Control	kvp				
			40	60	80	100	
5-8*	21	12.54±0.56 ^A	11.96±1.41 ^A	11.25±0.59 ^B	11.22±0.64 ^B		150
10-13*	22	12.64±1.25	12.57±1.98	12.43±2.31	12.38±1.03		150
6-12**	31	12.83±0.98 ^A				9.18±3.65 ^B	100

A,B : Different superscripts denote significant differences within rows(p<0.05)
 * : X-ray was irradiated to experimental rats, 0.25 sec/irradiation, 4 times/day, and for 4 days
 ** : X-ray was irradiated to experimental rats 2 min/irradiation, 4 times/day, and for 7 days

Table 3. Mean fetal body weight following X-irradiation to pregnant rats according to different gestation period (Mean ± D)

Gestation Days	No. of Pregnant Rats	No. of Fetus	Mean Fetal Body Weight(g)				mA of X-ray	
			Dosage of X-ray Irradiation					
			Control	kvp				
			40	60	80	100		
5-8*	21	251	3.21±0.86 ^A	3.20±1.12 ^A	3.11±1.21 ^B	3.13±0.82 ^B	150	
10-13*	22	263	3.42±1.25	3.36±1.35	3.31±0.69	3.25±1.20	150	
6-12**	31	336	3.49±0.57 ^A				3.08±0.37 ^B	100

A,B : Different superscripts denote significant differences within rows(p<0.05)
 * : X-ray was irradiated to experimental rats, 0.25 sec/irradiation, 4 times/day, and for 4 days
 ** : X-ray was irradiated to experimental rats 2 min/irradiation, 4 times/day, and for 7 days

Table 4. Fetal crown-rump length following X-irradiation to pregnant rats according to different gestation period (Mean ± D)

Gestation Days	No. of Pregnant Rats	No. of Fetus	Mean Fetal Crown-rump length(cm)				
			Dosage of X-ray Irradiation				
			Control	kvp			mA of X-ray
			40	60	80	100	
5-8 [†]	21	251	3.28±0.39	3.21±1.30	3.14±0.95	3.11±1.25	150
10-13 [†]	22	263	3.30±1.40	3.32±1.24	3.24±1.31	3.21±1.18	150
6-12 ^{**}	31	104	3.26±0.33			3.11±1.28	100

* : X-ray was irradiated to experimental rats, 0.25 sec/irradiation, 4 times/day, and for 4 days

** : X-ray was irradiated to experimental rats 2 min/irradiation, 4 times/day, and for 7 days

Table 5. Macroscopical findings following X-irradiation to pregnant rats according to different gestation period

Gestation Days	No. of Pregnant Rats	No. of Offspring	Condition of X-ray Irradiation	Macroscopical Finding		
				Fctal Absorption	Fetal Death	Malformation
5-8	21	251	40-80 kvp, 150 mA, 0.25 sec/irradiation, 4 times/day, for 4 days	0	0	0
10-13	22	263	100 kvp, 100 mA, 2 min/irradiation, 4 times/day for 7 days	0	0	0
6-12	31	104	100 kvp, 100 mA, 2 min/irradiation, 4 times/day for 7 days	16	5	2



Fig 2. A sacrificed rat on day 20 of gestation following X-irradiation with 100 kvp, 100 mA, 2 min, 4 times/day, for 7 days during 6-12 days of gestation. See fetal absorption sites(arrow).



Fig 4. Malformation of metacarpal pad on the right hind(large arrow) following X-irradiation during 6-12 days of gestation. Normal formation on the left hind(small arrow) can be seen.



Fig 3. A uterus with entire fetal absorption in the left uterine horn following X-irradiation during 6-12 days of the gestation. Only discoid placentae can be seen(arrow).

Table 5에서와 같이 태아흡수, 사산태아, 기형발생은 임신 6-12일간 100 kvp로 X-선 조사된 군에서 각각 16두, 5두, 2두의 발생이 있었다.

태아의 병리적 소견은 Fig 2, 3에서와 같이 태아의 흡수가 관찰되었으며, Fig 4에서와 같이 태아의 후지중 발가락 기형이 관찰되었다.

고 찰

X-선, γ선과 같은 광자의 조사로 인하여 공기의 단위질량에 생성되는 전체의 전하량을 켈트겐이라고하고 기호는 'R'로 표시하며, 임의의 방사선에 의하여 방사선 조사물질의 단위질량에 부여되는 평균에너지를 'rad'라 한다.

IAEA(International Atomic Energy Association)는 1975

년에 방사선의학의 연구 및 적용과 방사선오차를 줄이기 위해 방사선흡수선량을 설정하였으며 gray로 표시하고 기호는 'Gy' 라고 하였다(1 Gy = 100 rads = 1 J/kg).

본 실험에서 사용된 진단방사선기는 ACOMA, MC-150(USA)이었는데 방사선진단기에서 같은 조사량 즉, kvp, mAs 등을 동일하게 설정하여 조사하더라도 각 기기별로 다른 조사량이 나올 수 있으므로 먼저 높이 27 inch, 100 kvp, 100 mAs, 0.25 sec의 조건으로 방사선을 조사한 후 측정된 값을 공식에 대입하여 알아본 결과 0.0007759 Gy (= 0.07759 rads)로 확인되었다. 이는 X선 조사에 의해 기형을 일으킨 것으로 보고된 방사선량에 비하면 매우 낮은 흡수량이다. 이와 같이 진단 방사선 조사시 낮은 X선 흡수량임에도 불구하고 반복 조사시 또는 X선량을 증가하여 반복 조사시 래트 태아 발육에 영향을 미칠 수 있음이 본 실험 결과 확인되었다.

임신 rat의 초기 기관형성기(임신 5-8일간)에서 kvp의 차이에 따른 영향을 알아보기 위하여 각각 60, 80 kvp로 X선 조사시 대조군보다 산자수 및 태아체중의 감소가 나타났는데 이는 Willson 등²⁰이 보고한 임신 9일령의 래트에 방사선을 조사시 나타난 체중감소, 산자수 저하등의 결과와 유사한 임신시기이었던 것으로 보인다.

또한 임신 6-12일 기간 중 연속 7일간 100 kvp로 X선 조사된 경우는 산자수 및 태아체중에서 대조군보다 유의적인 감소를 나타내었고 기관형성기(임신 10-13일간)에서는 모든 실험군에서 대조군에 비해 유의적인 차이가 인정되지 않았다. 이 결과는 임신 5-8일간 조사된 경우의 결과에서도 볼 수 있었던 것과 같이 방사선이 특히 초기기관형성기에 영향을 준다는 것을 시사할 수 있는 것으로 판단된다.

그러나 본 실험에 사용된 X선 양은 Rusell¹⁵이 래트에 사용한 0.25 Gy의 X선 조사량, Ronald 등¹²이 래트에 사용한 250 kvp에 비해서는 매우 적은 X선량이었음에도 태아 발육에 유해한 영향을 미친 것으로 나타났는데, 이것은 X선 조사 횟수가 1일 4회, 그리고 X선 조사기간이 연속 4일 또는 연속 7일간으로서 X선이 적지않은 기간동안 빈번히 조사되었기 때문인 것으로 보이며, 이와 같이 X선은 적은 양이라도 동물이 방사선에 오랫동안 빈번하게 노출될 때 태아 발육에 영향을 줄 수 있는 것으로 생각된다.

본 연구결과는 Ronald 등¹¹이 Winstar rat를 이용한 연구에서 250 kvp, 15 mA로 X선을 조사시에 산자수 감소, 태아의 체중감소 및 태아흡수를 증가와 새끼의 성장 발육의 지연을 보고한 결과와 Skreb 등¹⁶이 보고한 임신 래트에 방사선 조사시 태아의 체중감소를 보고한 결과와 유사하다고 생각되며 X선이 태아의 기관형성기에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

또한 본 실험에서 6-12일령의 임신 래트에서 발생된 태아 흡수 및 기형발생은 Rusell¹⁵이 mice에서 임신 7일령과 8일령에 0.25 Gy의 방사선을 조사시 골격계통의 기형을 보고한 결과와 관련될 수 있는 것으로 보인다.

그러나 X선 조사에 의한 골격계통의 기형발생에 관하여

는 Brizzee 등⁴이 방사선 조사시 태아의 대뇌반구의 조직학적 변화를 보고한 것과 Tacheuchi 등¹⁸이 방사선 조사시 선천성 수두증을 보고한 것과 같이 어느 특정장기에 대한 비교조사 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

또한, X선 조사시 동물이 원래의 정상적인 상태로 회복되기에 상당한 기간이 소요된다는 것이 알려져 있으므로 Ronald 등¹¹의 보고에서와 같이 임신 rat에 X선이 조사되었을 때 출생한 어린 동물의 성장지연은 발생가능성이 매우 높은 것으로 보여져 이에 대한 연구조사가 더 이루어져야 할 것으로 보인다.

이상의 결과와 다른 연구자들의 보고에서 볼 때 방사선은 설치류에서 임신초기의 태아에 조사시 비록 안전성이 인정된 진단방사선기 일지라도 조사량의 과도한 증가와 함께 조사기간이 길고 조사 횟수가 빈번할 때 태아에 해로운 영향을 줄 수 있는 것으로 사료되어 임신 동물에서는 특히 임신 초기에 진단방사선 촬영시 많은 주의를 기울여야 할 것으로 생각된다.

결 론

X선을 임신래트에 조사시 임신시기와 X선의 조사량에 따라 태아발육과 기형유발에 미치는 영향을 알아보기 위하여 8주령의 Female Sprague Dawely rats 72두를 이용하여 자연교배를 시킨 후 임신시기별로 임신 5-8일간 조사군, 10-13일간 조사군, 6-12일간 조사군으로 구분하였고 임신 5-8일간 군과 10-13일간 군에 대하여 1일 4회, 150 mA, 0.25초 조건에서 40, 60, 80 kvp로 X선량을 구분하여 각각 4일간 조사하였고, 6-12일간 군에 대하여 100 kvp, 100 mA, 2분간 1일 4회, 7일간 조사하였다. 모든 실험동물은 각각 임신20일령에 희생시켜 대조군과 비교하여 산자수, 태아체중, 태아 CR length와 병리적 소견을 조사하였고 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 임신 5-8일간 60 kvp, 80 kvp로 4일간 X선 조사 처리한 군과 6-12일간 100 kvp로 X선 조사한 군은 대조군보다 각각 낮은 산자수를 나타내었다($p < 0.05$).
2. 태아의 체중은 임신 5-8일간 60 kvp 또는 80 kvp로 X선 조사한 군과 임신 6-12일간 X선 조사군에서는 대조군보다 태아체중이 감소하였다($p < 0.05$).
3. 태아의 CR length는 임신 5-8일간, 10-13일간, 6-12일간 모두에서 X선 조사한 실험군과 대조군과의 차이는 없었다.
4. 임신 5-8일간과 10-13일간에서 40, 60, 80 kvp로 X선 조사한 경우에서 태아 흡수, 태아 사산, 태아기형은 모두 인정되지 않았으나 6-12일간 100 kvp로 X선 조사한 경우에는 각각 16두, 5두, 2두가 나타났다.
5. X선 조사시 태아에 해로운 영향은 임신 5-8일간에서 더 나타나는 것으로 확인되었다.

이상의 결과 임상진단을 위한 방사선조사라도 임신한 래

트에서 초기 기관형성기에 X-선이 조사되거나, 과량의 X-선으로 빈번하게 또는 장기간 조사된 경우 태아발육에 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Brent RL. The long term effects of embryonic and fatal irradiation. *Pediatr Res* 1968;2:291-292.
2. Brent RL. The effect of embryonic and fatal exposure to x-ray, microwaves, and ultrasound. *Clin Obstet Gynecol* 1983;26:484-512.
3. Brent RL. The effect of low doses x-irradiation during early organogenesis in the mammal. *Teratology* 1979;19:20A.
4. Brizzee KR, Jacobs LA, Bench CJ. Histologic effects of total body x-irradiation in various dose fractionation patterns on fetal cerebral hemisphere. *Radiat Res* 1967;31:415-429.
5. Christie DW. Classification of cell types in vaginal smears during the canine estrous cycle. *Br Vet J* 1972;128:301-309.
6. Jensch RP, Brent RL. Effects of 0.6 Gy prenatal x-irradiation on postnatal neurophysiologic development in the Wistar Rat. *Proc Soc Exp Biol Med* 1986;181:611-619.
7. Jung CJ, Tsai HY. Evaluations of gonad and fetal doses for diagnostic radiology. *proc Natl . Sci Counc Repub China B* 1999;23(3):107-113.
8. Kelein JF, Hilfer C, Shahrvar F. Neonatal radiology casebook. *Pneumoretroperitoneum, J perinatol.* 1993;13(5):413-4.
9. Murphree R, Pace H. The effects of prenatal radiation on postnatal development in rats. *Radiat Res* 1960;12:495-504.
10. Perez Martinez M, Ruiz Cruces R, Martinez Morillom. et al. Organ doses, detriment and genetic risk from simple x-ray examination in Malaga(spain). *Eur J Radiol* 1997;25(1):55-61.
11. Ronald PJ, Robert L.B. The effect of Low-level prenatal x-irradiation on postnatal. Development in the wistar rat(42476). *Proc of the society for Experimental. Biology and Medicine* 1987;184:256-263.
12. Ronald PJ, Robert LB. Effects of prenatal x-irradiation on the 14th-18th days of Gestation on Postnatal growth and development in the rat. *Teratology* 1988;38:43-441.
13. Rugh R, Wohlfromm M, Varma A. Low dose x-ray effects on the pre-cleavage mammalian zygote. *Radiat Res* 1969;37:401-414.
14. Rugh A, Duhamel L, Chandler A, et al. Cataract development after embryonic and fetal x-irradiation *Radiat Res* 1964;22:519-534.
15. Russell LB. Effect of low doses of on embryonic development in the mouse. *Proc Soc Exp Biol Med* 1957;95:174-178.
16. Skreb N, Bijelic N, Lukovic G. Weight of rat embryos after x-ray irradiation. *Experientia* 1963;19:1-4.
17. Starchman DE, Hendrick WR. A Practical guide for protecting personnel, pregnant personnel and patients during diagnostic radiography and fluoroscopy. *Radiol Manage* 1993;15(1):2-30.
18. Takeuchi IK, Takeuchi YK. Congenital hydrocephalus following x-irradiation of pregnant rats on early gestational day. *Neurobehav Toxicol Teratol* 1986;8:143-150.
19. Wasserman HJ. Quantifying the risks of radiation exposure. *S Afr Med J* 1986;70(6):333-6.
20. Wilson JG, Jordan HC, Brent RL. Effects of irradiation on embryonic development. II. X-rays on the 9th day of gestation in the rat. *AmerJ Anat* 1953;92:153-188.