

X선 조사가 닭 유정란 부화과정에 미치는 영향

전병규¹, 여진동^{2*}

¹대구보건대학교 방사선과, ²서라벌대학교 방사선과

Experimental study for the irradiation effect of x-ray on the hatching process of fertilized eggs

Byeong-Kyou Jeon¹ and Jin-Dong Yeo^{2*}

¹Department of Radiological Science, Daegu Health College

²Department of Radiological Science, Sorabol College

요 약 방사선 감수성이 높은 시기의 닭 유정란에 방사선치료용 선형가속장치를 이용하여 고 에너지 X선을 조사하고, 부화과정 및 생존율, 외형적 기형, 혈액세포의 변화를 관찰하여 방사선 조사가 유정란 부화과정에 미치는 영향에 대하여 연구 하고자 하였다. 방사선 감수성이 가장 높을 것으로 예상 되는 5일째에 고 에너지 10 MV-X선을 5개의 유정란을 한 군으로 설정한 실험군에 각각 5, 7.5, 10 Gy를 조사하고 부화에 입란 하였다. 매일 검란을 실시하여 20일간의 부화과정을 관찰하고 부화 예정 1일 전에는 방사선촬영을 실시하여 부화상태와 전체 골격 형성을 확인하였다. 부화 된 병아리는 방사선촬영과 혈액분석을 실시하였다. 부화율은 대조군과 실험군에서 각각 80, 46.7%이고, 조사 선량 별 부화율은 대조군과 5, 7.5, 10 Gy 에서 각각 80, 100, 40, 0% 로 조사선량이 증가 함에 따라 부화율은 감소 하였다. 기형발생률은 대조군과 실험군에서 각각 0, 60% 이다. 조사선량 별 기형 발생률은 5, 7.5, 10 Gy 에서 각각 20, 80, 80% 이다. 미부화란의 인공 파각 후 좌측날개, 안구돌출, 발, 목뼈 기형이 나타났으며, 조사선량이 증가함에 따라 기형발생률이 증가 하였다. 백혈구 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 87.64, 100.76, 81.42 ($10^3/\mu\text{L}$) 으로 나타났다. 고에너지 X선에 의한 직, 간접적 손상인 부리 이상, 눈 결손, 계태사, 혈액성분의 변화를 확인 하였다. 특히 조사선량이 높을수록 부화율과 백혈구의 평균수치가 감소하였으며, 기형의 발생률과 계태사가 증가 하였다. 기형 발생의 원인은 염색체 이상으로 추정된다. 향후 고 에너지 X선 조사에 따른 기형의 원인을 알아내기 위한 지속적인 유전학적 연구가 필요할 것이다.

Abstract This study examined the irradiation effect of high energy x-rays on the hatching process of fertilized eggs, particularly with regard to malformation and blood cells change.

The experimental groups were five day old fertilized eggs irradiated with x rays at doses of 5, 7.5, 10 Gy using a linear accelerator. The control group was not irradiated. After three weeks, hatched chicks were sacrificed and examined for blood sampling. The survival rate of the x-ray irradiated groups were significantly lower than that of the control group(46.7vs 80%). The malformation rate of the experimental groups was 60%, whereas no congenital malformations were observed in the control group. The experimental groups had a significantly higher malformation rate. The types of malformation were left wing defect, proptosis, microcephaly, cervical spine, and feet anomaly. The incidence of malformation increased with increasing radiation dose. The white blood cell count of control group and each experimental groups (5 and 7.5 Gy) were 87.64, 100.76 and 81.42 ($10^3/\mu\text{L}$), respectively. X-ray irradiation of 5 day old chick embryos increased the rate of death and malformation significantly. The malformations were estimated to have occurred by chromosomal abnormalities.

Further genetic studies will be needed to confirm the correlation between high energy X-rays and the cause of malformations.

Key Words : Fertilized eggs, Malformation, Incubator, Linear accelerator

*Corresponding Author : Jin-Dong Yeo(Sorabol College.)

Tel: +82-10-2547-5369 email: yjd@sorabol.ac.kr

Received October 7, 2013

Revised (1st October 25, 2013, 2nd November 18, 2013)

Accepted December 5, 2013

1. 서 론

방사선은 의료, 살균 등의 여러 분야에서 우리의 삶을 풍요롭게 해주는 존재로 자리 잡고 있다[1,2]. 하지만 최근 후쿠시마 원전 사고로 인해 전 세계적으로 방사선 피폭의 영향에 대한 관심이 높아졌다. 전리방사선 피폭에 의한 영향은 결정적 영향과 확률적 영향으로 분류하며, 결정적 영향은 단기간에 고선량 피폭 시 나타나는 급성 장애로서 증상은 수 시간에서 수 일 이내에 나타나며 피부홍반, 임파구 감소 등의 예를 들 수 있다[3].

전리 방사선이 인체에 조사되면 물리적, 화학적, 생물학적 변화를 초래한다. 물리적으로는 각종 분자나 원자가 여기 또는 전리되어 변화되며, 화학적으로는 유리가 주위의 물, 아미노산, 핵산, 단백질, 탄수화물, 지방을 이루고 있는 분자들과 반응하여 생물분자의 불활성화를 초래하여 변형되고, 생물학적으로는 생물분자에 이상이 생겨 세포의 기능 변화, 세포사 등을 초래하여 돌연변이, 암 발생, 개체사가 나타난다[4].

고 에너지 X선을 조사하면 물리적 변화 단계, 화학적 변화 단계를 거쳐서 전기를 띤 입자가 DNA분자의 사슬을 이루는 결합에 에너지를 가하면 사슬 절단 등 세포의 생명과 기능에 결정적 역할을 하는 DNA분자가 손상되고, DNA분자의 손상에 의해 세포사, 돌연변이, 발암이라는 생물학적 효과가 발생한다[4].

최근 보고에 의하면 저선량 X-선을 조사한 동물 실험에서 미량 원소의 함량이 변화되었고, 5 Gy 방사선 조사 후 10일된 실험군에서 백혈구 및 혈소판의 수가 30% 이상 감소하였고, 혈장에서는 GOT(Glutamic Oxaloacetic Transaminase)의 활성이 감소 한 것으로 보고하였다[5,6].

유정란은 4일째가 되면 뇌의 분화가 진행되고, 심장이 조금씩 커진다. 6일째가 되면 날개와 다리의 형태가 보이기 시작하고, 11일째가 되면 병아리 모양이 된다. 18일째는 노른자의 양분이 줄면서 병아리의 모습이 희미하게 드러나고, 21일째가 되면 병아리가 탄생한다[7].

본 연구에서는 임상에서 사용하는 방사선 치료용 장치 선형가속기(Rapid Arc)를 이용하여 방사선 감수성이 가장 높은 시기인[8] 4-5일째 유정란에 고 에너지 10 MV-X선 5, 7.5, 10 Gy를 실험군에 각각 1회 조사 후, 부화기에 입란하여 부화과정 및 생존율, 기형, 혈액의 변화를 분석하여 고 에너지 X선이 부화에 미치는 영향에 대하여 연구 하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

닭의 유정란을 농장에서 구입 후 온도 37.5℃, 습도 45-70%로 인공부화 시키면서 입란 5일째 방사선치료용 선형가속기(Rapid-arc)에서 발생하는 10MV-X선을 이용하여 5란을 하나의 군으로 하여 X선을 조사하지 않은 대조군(0 Gy) 및 5, 7.5, 10 Gy를 각각 조사한 3개의 실험군을 대상으로 하였다.

2.2 연구방법

부화와 실험을 위하여 다음과 같은 기구를 사용하였다.

- (1) 부화기(Incubator) : (알콤 PX-20 일반형, Korea)
- (2) 방사선치료용선형가속기(Linear accelerator) : (Rapid Arc, Varian, U.S.A)
- (3) 혈액분석기(Blood analyzer) : (Sysmex, XS-800i, Japan)
- (4) 진단용 X선 발생장치(Diagnostic X-ray equipment): (REX-525R, LISTEM, Korea)
- (5) 검란기(Geomran light, Korea)
- (6) 기타준비물 : 저울, 카메라, 혈액 보관용 플라스틱 용기, 증류수

당일 생산된 평균무게 63g/1란, 총 20개의 유정란을 구입하였다. 매일 14시30분에 유정란을 검란을 실시하였으며, 부화기 온도와 습도는 37.5℃, 45-70%를 유지하였고, 전란주기는 1회/hr 로 실시하였다. 부화기(알콤 PX-20)에 입란하여 20일간 부화시켰다.

특히 부화 3일전에는 전란을 중지하여 부화에 영향을 최소화 하였다.

유정란의 방사선 감수성이 가장 높을 것으로 예상되는 입란 5일째에 방사선치료용 선형가속기(Rapid Arc)를 이용하여 SSD(Souce Skin Distance) : 100cm, Field Size: 25cm × 25cm 조사계획에 의하여 1문조사를 실시하였다.

5개의 유정란을 한 군으로 설정하여 X선을 조사하지 않은 유정란을 대조군으로 하였고, 10 MV-X선의 에너지로 3개의 실험군에 5, 7.5, 10 Gy를 각각 조사하였다[Fig. 1].

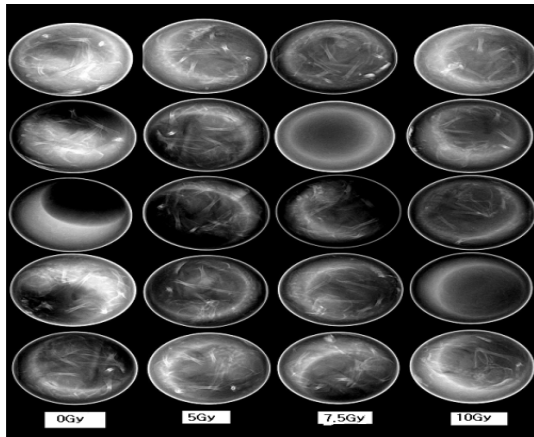
입란 18일째 전란을 멈추고, 20일째에는 자연부화 가능성과 부화상태를 확인하기 위하여, 진단용 X-선 촬영기를 이용하여 45 kVp, 5 mAs, FFD(Film Focus Distance) 80 cm 의 촬영조건으로 방사선 검사를 실시하였다[Fig. 2].

유정란의 무게를 측정하여 입란 전, 후의 무게를 비교하였다. 입란 19일-20일 사이에 부화에 성공한 병아리의

외형 및 골격을 X선 촬영을 통해 관찰하고, 목동맥에서 혈액을 채취하여 성분분석을 실시하였다. 부화에 실패한 병아리는 인공파각을 실시하여 외형을 관찰하고 방사선 검사를 실시하였다.



[Fig. 1] Fertilized eggs in the incubator



[Fig. 2] Radiogram of fertilized eggs in the incubator

3. 결과

3.1 유정란의 부화율 및 기형 발생률

부화 및 기형 발생은 수의학을 전공한 1명의 수의사에 의해 진단되었다. 시진, 촉진 및 방사선 검사를 실시하였으며, 골격, 좌우대칭, 길이 비교, 걸음걸이, 선 자세, 앉은 자세, 울음소리 등을 기초로 진단하였다.

3.1.1 대조군

X-선을 조사하지 않은 대조군의 유정란은 80%의 부화율을 보였으며, 부화하지 못한 것은 인공 파각하여 미부화 (20%) 원인과 기형부위를 관찰한 결과, 무정란이었다. 기형은 발생되지 않았다.

3.1.2 5 Gy 실험군

5 Gy를 조사한 유정란은 모두 부화에 성공하여 100%의 부화율을 보였다. 기형발생률은 20%이며, 척추 부분에서 목을 굴곡 시키지 못하고 신전상태를 유지하는 기형이 발생되었다[Fig. 3].

3.1.3 7.5 Gy 실험군

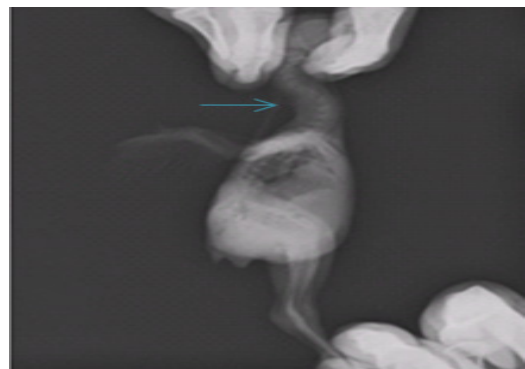
7.5 Gy를 조사한 유정란은 부화율이 40%이다. 미부화율(60%) 중 무정란(20%)과 유정란(40%)은 인공 파각하여 미부화 원인과 기형부위를 관찰 하였으며 기형은 왼쪽 발(20%), 양쪽날개 불균형(60%)이 관찰되었고, 기형발생률은 80% 이다[Fig. 4].

3.1.4 10 Gy 실험군

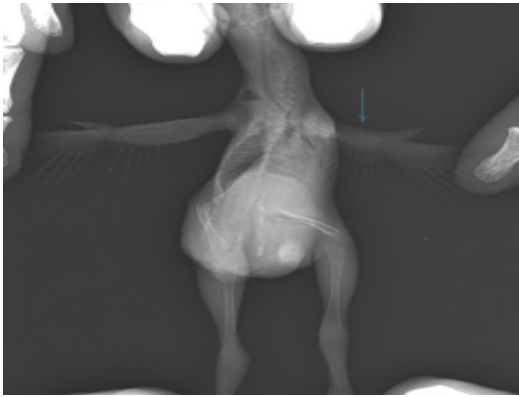
10 Gy를 조사한 유정란은 전체 개체사하여 부화에 모두 실패하였다. 미부화율(100%) 중 무정란(20%)과 유정란(80%)으로 분석되었다.

인공 파각하여 기형부위를 관찰한 결과 좌측 안구돌출(20%), 소두증(20%), 두개골 변형(20%), 좌측날개 불균형(20%) 기형이 관찰되었으며 기형발생률은 80% 이다 [Fig. 5].

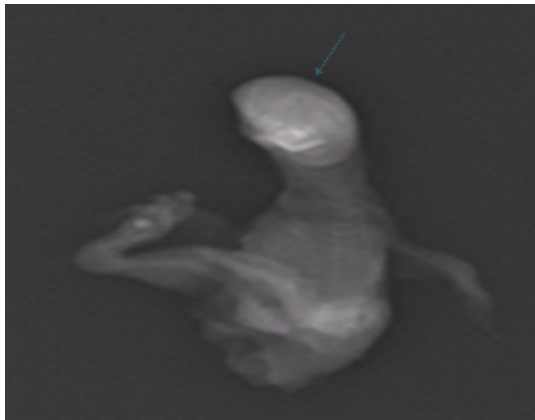
이상의 결과에 의하면 최종 부화율과 기형발생률은 대조군 부화율은 80%, 실험군 부화율은 46% 이다. 실험대상 중 무정란은 15%이며, 기형발생은 대조군에서는 기형이 발견되지 않았고, 실험군에서는 기형발생률이 60% 이다 [Fig. 6].



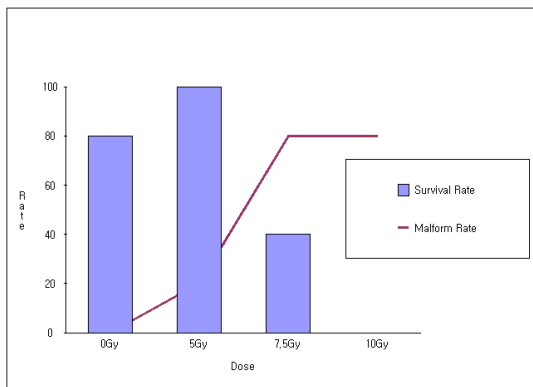
[Fig. 3] Radiogram of spine malformation (arrow)



[Fig. 4] Radiogram of Lt wing (humerus and radius) malformation (arrow)



[Fig. 5] Radiogram of skull deformities (arrow)



[Fig. 6] Survival and malformation rate due to radiation dose

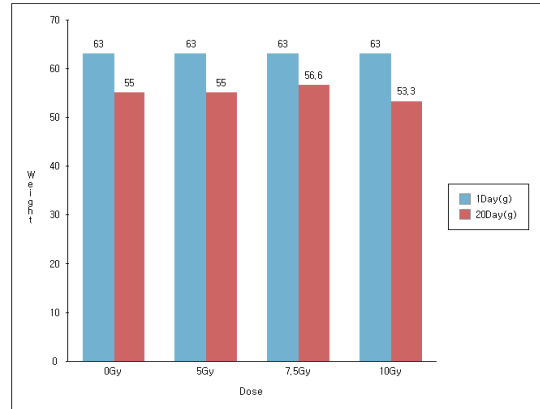
3.2 유정란의 무게변화

부화과정 중 유정란의 무게감소는 수분손실과 관련이 있다. 알 내부의 수분이 적당량 빠져 나가야만 기실이 적

절히 팽창할 수 있고, 기실의 팽창으로 계태의 파각 시 필요한 산소를 확보할 공간이 마련되며, 적절한 시기에 병아리의 머리가 기실 속을 통과해 난각을 파각할 수 있다.

5 Gy에서는 -8g, 7.5 Gy는 -6.4g, 10 Gy는 -9.4g, 대조군에서는 -8g으로 유정란의 평균무게가 감소하였다[Fig. 7].

조사선량이 최고인 10 Gy 실험군에서 평균무게가 가장 높게 감소하였다.



[Fig. 7] Analysis of the average weight of fertilized eggs

3.3 혈액분석 결과

부화에 성공한 실험군과 대조군의 병아리의 혈액을 분석한 결과 백혈구, 적혈구, 헤모글로빈, 헤마토크리트 수치는 아래와 같이 나타났다[Table 1].

[Table 1] Analysis of The blood cells counts

Group Blood Cells	Control Group	Experimental Group (5Gy)	Experimental Group (7.5Gy)
WBC ($10^3/uL$)	87.64 ±1.09	100.76 ±2.59	81.42 ±0.58
RBC ($10^6/uL$)	2.33 ±0.12	2.23 ±0.09	2.16 ±0.18
HGB (g/dL)	8.00 ±1.08	8.05 ±0.75	7.80 ±0.4
HCT (%)	29.80 ±1.59	30.95 ±1.25	28.25 ±1.05
MPV (fL)	8.4 ±0.62	9.1 ±0.8	6.6 ±0.1

10 Gy를 조사한 유정란은 전체 개체사하여 부화에 모두 실패하였다. 따라서 혈액분석은 실시하지 못하였다. 백혈구의 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 87.64 ± 1.09 , 100.76 ± 2.59 , 81.42 ± 0.58 $10^3/uL$ 로 나타났다. 대조군에 비해 5 Gy에서의 백혈구 수치는 증가하였고, 7.5

Gy에서는 감소하는 것으로 나타났다. 적혈구의 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 2.33 ± 0.12 , 2.23 ± 0.09 , $2.16 \pm 0.18 \times 10^6/\mu\text{L}$ 로 나타났다. 조사선량이 증가함에 따라 적혈구 수치는 감소하였다. 헤모글로빈의 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 8.00 ± 1.08 , 8.05 ± 0.75 , $7.80 \pm 0.4 \text{ g/dL}$ 로 나타났다. 조사선량이 증가함에 따라 헤모글로빈 수치는 감소하였다. 헤마토크리트의 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 29.80 ± 1.59 , 30.95 ± 1.25 , $28.25 \pm 1.05\%$ 로 나타났다. 조사선량이 증가함에 따라 헤마토크리트 수치는 감소하였다. 평균혈소판용적의 평균치는 대조군, 5, 7.5 Gy에서 각각 8.4 ± 0.62 , 9.1 ± 0.8 , $6.6 \pm 0.1 \text{ fL}$ 로 나타났다.

4. 고찰

유전이 주요 원인인 내인성 기형(1차성 기형)과 환경 인자가 주요 원인인 외인성 기형(2차성 기형)으로 분류한다.

1차성 기형은 난자 또는 정자의 이상에 의한 것이며, 2차성 기형은 태생기 중의 이상이 원인으로 태아발육 도중에 감염, 외상, 방사선 등의 외부 요인에 의해 발생한다. 기형의 발생 빈도는 전체적으로 볼 때 2.5% 정도이다[9].

방사선 장해를 치사장해, 아 치사장해, 잠재적 치사장해 3가지로 구분된다. 치사장해는 회복이 불가능하고 100% 세포사로 유도되는 장해이다. 아치사장해는 정상적인 환경상태에서는 몇 시간 안에 회복될 수 있는 장해이나, 만약 장해가 회복되기 전에 다시 아치사장해가 주어지면 상호작용에 의해 치사장해가 될 수 있다. 잠재적 치사장해는 방사선 장해에서 조사 후의 주변 환경에 의해 영향을 받는 부분이고 충분히 검증되지 않았다[4].

10 MV X선의 에너지를 3개의 실험군에 5, 7.5, 10 Gy를 각각 조사한 이유는 실험군에 조사된 선량은 단일조사량으로는 인체에 사용하기에는 부적합한 조사선량이다. 그러나 닭의 부화과정에서는 6 MV X선을 실험군에 5, 7.5, 10 Gy 각각 조사할 경우, 심혈관 기형을 발생한다는 연구를 기초로 본 실험의 조사선량을 결정하였다[8].

방사선을 조사 받지 않은 대조군의 유정란은 80% 부화하였고, 방사선 5 Gy 실험군은 100% 부화하고, 7.5 Gy 조사군은 40% 부화하였으며, 10 Gy 실험군은 모두 개체 사하여 부화하지 못한 것을 관찰 할 수 있었다.

외관상으로는 방사선을 조사하지 않은 대조군 유정란들은 상태가 양호한 정상 병아리들로 부화하였고, 5 Gy를 조사한 유정란에서 부화한 병아리들 중 한 마리의 병아리는 갓 부화한 후 다리의 문제로 몸을 제대로 가누지 못하였으며 주저앉은 상태에서 하늘만 보고 서 있지도

못하였다. 7.5 Gy를 조사한 유정란에서 부화한 병아리들은 5마리 중 2마리가 부화하였으며, 2마리 모두 이상이 있었다. 첫째 병아리는 양쪽 날개 길이가 달랐고, 부화하고부터 왼쪽으로 누워서 아픈 듯이 계속 울었고, 오른쪽으로 눕히더라도 곧 발버둥을 쳐서 왼쪽으로 누워 몸조차 가누지 못하였다. 둘째 병아리는 왼쪽 발을 둥글게 말고 있는 기형 상태이었지만 활발한 움직임을 보였다. 10 Gy를 피폭시킨 유정란은 모두 부화하지 못한 것을 관찰할 수 있었다.

10 Gy를 피폭시킨 유정란을 인공적으로 파각한 결과 80%는 병아리 형체를 형성하였으나 다양한 기형의 상태가 나타났다. 기형의 유형으로는 첫번째, 유정란의 외부 껍질과 내부껍질 사이에는 막으로 둘러져 있었다. 두 번째, 부화한지 얼마 되지 않아 사망한 것으로 병아리 형체라기 보다는 핏덩이의 조그마한 조직이 보였다. 나머지는 거의 병아리 형체를 다 갖추었으나 내장이 밖으로 돌출된 탈장이 일어난 것으로 관찰 되었다. 모두 왼쪽 날개가 오른쪽 날개에 비해 크기가 작았다. 육안으로 볼 때, 형태적 변화가 있다고 관찰되었으며 X선으로 촬영 한 결과, 소두증, 안구돌출, 두개골기형이 나타났다. 10 Gy를 조사한 실험군이 모두 개체사한 원인은 10 Gy의 조사선량이 치사선량이었기 때문에 수일 내로 계태사 하거나 계란 껍질을 깨고 나올 힘이 없을 만큼 장해가 있었기 때문이라고 생각한다.

방사선량이 높으면 대부분의 기관이 방사선 감수성이 높아지며 생물학적 효과도 증가한다.

따라서 생존률이 감소하므로 기형발생률은 오히려 줄어드는 양극현상(All or none law)이 일어날 수 있다. 부화한 병아리에게 흔히 나타나는 기형은 사지 기형과 크기가 작다[10]. 부화시기에 따른 조사효과를 살펴보면, 일반적으로 닭의 배아는 2일째에 비교적 방사선 저항성이 나타나며, 2-9일에 급격히 감수성이 증가하며, 15일까지 저항성이 증가하였다가 17일에 다시 감수성이 증가한다고 보고 하였다[8].

7.5 Gy이상 방사선 조사를 받은 개체들은 모두 날개가 왼쪽이 오른쪽보다 크기가 작았고, 모두 왼쪽부분에 장해가 발생하였다. 문 등의 보고“ 계태에서 X선 조사에 의한 선천성 심혈관 기형 발생”에 의하면 오른쪽 혈관, 심장에서의 장해가 더 많이 나타났다[8]. 이 부분에 대해서는 본 연구와 차이점이 있었으며, 혈관이상으로 인한 혈류량의 차이로 인해 신체 좌, 우측의 불균형 발달이라고 생각할 수 없으므로 더 많은 연구가 필요하다. 또한 방사선 조사에 의해 대혈관 기형의 발생이 증가한다는 보고도 있다[11].

10 Gy 실험군에서 유정란의 평균무게가 제일 높게 감

소한 이유는 방사선 조사선량이 높아지면 간접작용에 의한 물의 이온화 증가에 의하여 생긴 수산기가 많이 생성되어 수분이 감소하였다고 생각된다.

혈구에는 적혈구, 백혈구, 혈소판 크게 3가지로 분류되는데, 적혈구는 산소 또는 이산화탄소를 운반역할을 하며, 백혈구는 식균작용을 통해 면역작용을 하며, 혈소판은 혈액응고에 관련한다[12]. 혈액 성분분석에서는 5 Gy의 피폭을 받은 개체에서 백혈구와 평균혈소판용적의 수치변화가 대조군보다 수치가 높았고, 7.5 Gy의 피폭을 받은 개체에서는 다시 정상보다 약간 낮은 값을 보였다. 5 Gy 실험군은 방사선장해에 의한 염증반응으로 인해 백혈구의 수치가 높아진 것으로 분석되며, 7.5 Gy 실험군은 치사장해에 의한 세포사로 백혈구의 수치가 감소한 것으로 생각된다. 10 Gy 실험군이 모두 개체사하여 혈액분석을 실시하지 못한 부분이 본 연구에서 가장 안타까운 점이다. 따라서 실험군의 조사선량을 낮추어 생존률을 높이고 혈액변화를 분석하는 부분에도 중점을 두어야 할 것이다. 그리고 실험군과 대조군의 개체수가 적어 개체가 하나가 전체적인 결과 값에 미치는 영향이 너무나 크기 때문에 실험대상의 개체수를 늘려 신뢰도를 높이고 오류를 줄여야 할 것이다.

혈액에서 백혈구의 수치만이 눈에 띄게 변하는 이유는 백혈구와 임파구가 방사선에 가장 민감하기 때문으로 생각된다[13].

본 연구의 실험 결과에 나타난 유정란 부화의 질적 변화는 사람에서도 발생할 것이다. 사람의 자궁 내 방사선 피폭에 대한 임상증례는 히로시마 원폭 환자이며, 폭발지로부터 1.2 Km 이내에 있던 11명의 출산아 중 7명이 소뇌증 및 정신박약이 있었고, 다운증후군과 선천성 심장병이 높은 빈도로 나타났다. 이들은 약 5 Gy의 감마선과 2 Gy의 중성자선 피폭을 받았으리라고 추정한다[8].

따라서 고에너지 방사선은 생체와의 직접작용과 간접작용에 의하여 생물체를 이온화시키거나 여기상태로 만들고, 염기와 당의 변형, 염기의 결손, 외가닥 절단, 양가닥 절단 등과 같은 DNA 손상과 해리성전자흡착(Dissociative Electron Attachment)에 의한 DNA 간접손상을 초래할 수 있다[14-17].

5. 결론

본 연구를 통하여 고에너지 X선은 생체 내에서 직접작용을 일으켜 닭 유정란의 부화과정에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있었다.

특히 부리 이상, 두개골 기형, 눈 결손 등의 외형적 기

형과 계태사가 발생하였으며, 혈액 세포의 변화가 나타났다.

조사선량이 높을수록 부화율과 백혈구의 수치가 감소하며, 기형의 발생률과 계태사가 증가 하였다. 본 연구는 부화중인 계태에 직접적인 조작과 혈액학적 변화를 직접 유도하지 않은 상태에서 고에너지 X선을 조사하여 기형이 발생하였다. 이러한 이유는 유전적 단계에서 염색체와 핵산의 변화에 의해서 형태학적 변화인 기형이 발생하였다고 추정된다.

향후 고에너지 X선 조사에 따른 기형 발생의 원인을 알아내기 위한 유전학적 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

References

- [1] Byun MW, Lee JW, "Application of irradiation technology for food safety and security", Food Sci Ind36: pp.25-40, 2003.
- [2] Byun MW, "Application of irradiation technology for food safety and security", Food Sci Ind30: pp.89-100, 1997.
- [3] Yang TC, Mei M, George KA, Craise LM, "DNA damage and repair in oncogenic transformation by heavy ion radiation", Adv Space Res, 18(1-2):pp.149-155, 1996. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00801-K](http://dx.doi.org/10.1016/0273-1177(95)00801-K)
- [4] Ebert M, Howard A, "Radiation effects in physics, chemistry and biology", Amsterdam : North-Holland Publishing Co, 1963.
- [5] Ji TJ, Min BI, Seo EW, "Effect of propolis on blood components and tissues of mouse after low dose X-ray irradiation", J. Exp. Biomed.Sci, Vol 12(1) pp.43-48, 2006.
- [6] Lee JH, Ji TJ, Seo EW, "Effect of propolis feeding on rat tissues damaged by X-ray irradiation", Journal of Radiation Protection, Vol 32(2), pp.51-57, 2007.
- [7] Hodach RJ, Hodach AE, Fallon JF, Folts JD, Bruyere HJ, Gilbert EF, "The role of β -adrenergic activity in the production of cardiac and aortic arch anomalies in chick embryo" Teratology 12:pp.33-45, 1975. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/tera.1420120105>
- [8] Sung Yup Moon, Soo Jung Choi, Nam Soo Kim, "Teratogenic effect of X ray on cardiovascular system of chick embryo", Korean Circulation J, Vol.35 pp.402-410, 2005.
- [9] Kuhlmann RS, Kolesari GL, Kalbfleisch JH. "Reduction of catecholamine induced cardiovascular malformations in the chick embryo with metoprolol", Teratology, 28:pp.9-14, 1983.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/tera.1420280103>

- [10] Rugh R, Grupp E. "Inonizing radiation and congenital anomalies in vertebrate embryos", Acta Embryol Morphol Exp, 2:pp.257-68, 1959.
- [11] Kawamura T, Takao A, Ando M. "Spectrum of the coarctation type of ventricular septal defect in the chick induced by neutron radiation", In : Van Praach R, Takao A. Etiology and morphogenesis of congenital heart disease. Futura Publishing Co, pp.235-50, 1980.
- [12] McMillan TJ, Tobi S, Mateos S, Lemon C, "The use of DNA double-strand break quantification in radiotherapy" Int J Radiat Oncol Biol Phys, 1;49(2):pp.373-377, 2001.
- [13] Eric J Hall, Amato J Giaccia, "Radio biology for the radiologist", Six ed. Lippincott williams & Wilkins. USA, pp.335-337, 2006.
- [14] Mroczka NE, Mercer KR, Bernhard WA," The effects of lattice water on free radical yields in X-irradiated crystalline pyrimidines and purines : a low-temperature electron paramagnetic resonance investigation", Radiat Res, 147(5):pp.560-568, 1997.
DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/3579622>
- [15] Ptasincka S, Sanche L, "On the mechanism of anion desorption from DNA induced by low energy electrons", J. Chem. Phys. pp.125:144, 2006.
- [16] Barrios R, Skurski P, Simons J, "Mechanism for Damage to DNA by low-energy electrons", J. Phys. Chem. B, 106:pp.7991-7994, 2002.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/jp013861i>
- [17] Boudaiffa B, Cloutier P, Hunting D, Huels MA, Sanche L. "Resonant formation of DNA strand breaks by low-energy (3-20 eV) electrons", Science, 287: pp.1658-1660 , 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.287.5458.1658>

전 병 규(Byeong-Kyou Jeon)

[정회원]



- 1993년 2월 : 인제대학교 보건학과 (보건학사)
- 1995년 8월 : 인제대학교 보건관리학과 (보건학석사)
- 2010년 2월 : 대구한의대학교 보건학과 (보건학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 대구보건대학교 방사선과 교수

<관심분야>
방사선치료, 방사선영상

여 진 동(Jin-Dong Yeo)

[정회원]



- 1994년 8월 : 인제대학교 보건관리학과 (보건학석사)
- 2008년 8월 : 고신대학교 보건과학과 (보건학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 서라벌대학교 방사선과 교수

<관심분야>
방사선영상, 자기공명영상