

이온化放射線 被爆에 의한 骨髓細胞의 Ornithine Decarboxylase 活性度の 變化에 對한 電界場의 影響에 關한 實驗的 研究

鄭 文 鎬

서울大學校 保健大學院

An Experimental Study on the Effect of Electric Field on the Ornithine Decarboxylase Activity Change of Myeloid Cells According to Ionizing Radiation Exposure

Moon-Ho Chung

Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul Korea

ABSTRACT

Ornithine decarboxylase(ODC) is an indicate enzyme in carcinogenesis. We divided Sprague Dawley rats into six groups: control, electric field exposure, X-ray only irradiation, X-ray irradiation with electric field exposure group, Sr-90 injected group and Sr-90 and electric field complex exposure group. The ODC activity was measured in rat's bone marrow cell every week.

The results were summarized as follows:

The ODC activitied was increased in X-ray irradiated, Sr-90 injected and Sr-90 and electric field complex exposed group as compared with that of control($p < 0.05$). The ODC activity was increased comparing that of control neither in X-ray and electric field complex exposed group nor electric field only exposed group. This result suggests that the electric field doesn't have myeloid carcinogenicity and myeloid cancer incidence caused by ionized radiation is suppressed by electric field exposure.

Keywords : Electric field exposure, Sr-90 injection, X-ray irradiation, myeloid carcinogenicity, ornithine decarboxylase activity.

I. 緒 論

전자파에 의한 인체의 유해한 영향은 이미 밝혀져 있는 사실이나, 이는 주로 고주파대에 속하는 전자파에 국한되어 왔었다. 그러나, 1970년대 말부터는 일상적으로 사용하고 있는 전기의 주파수인 60 Hz를 포함하는 극저주파(extremely low frequency)에의 폭로 결과로 백혈병 등의 발암율이 증가한다는 역학조사들^{1,2)}에 의해 극저주파 전자장의 생체에 대한 영향에 관한 연구^{3,4)}가 활발히 전개되었으나, 여러 연구의 결과는 일치하고 있지 않은 실정이다. 이런 상황에서 최근에 우리나라에서는 아직 그 위험성이 충분히 밝혀져있지 않은 전계장이나 자장을 보건 의료에 이용하는 각종 요법들이 급속히 확산되고 있는 추세에 있는데, 높은 전압에 전류의 흐름을

저게 하여 전계장만이 발생되도록 고안된 교류전위 요법이나 자장을 이용한 자석요, 자석목걸이 등이 그 예이다.

Ornithine decarboxylase(이하 ODC)는 세포액내에서 ornithine을 핵단백질의 원료물질인 putrisine, supermidine 등으로 분해하는데 관여하는 효소이며, 분자량이 64,000이고 생체내에 중합체로 존재하는 효소로서,⁵⁾ complete carcinogen promoter에 의해서 활성화되며, Ornithine을 탈탄산 반응에 의해 putricine, spermine, spermidine 등의 polyamine으로 분해하는 작용이 있다.⁶⁾ 이렇게 생성된 polyamine은 핵산, 단백질, 인지질과의 비공유 결합에 의해 생화학적인 반응의 속도 변화를 가져오므로, 이 ODC 효소에 의한 탈탄산 반응은 정상세포나 종양세포의 성장 증식에 반드시 필요한 대사 과정이다.^{10,11)} 1990

년대 이후, 발암물질 폭로시 표적세포의 ODC활성이 수백배까지 증가한다는 사실이 입증됨으로 밝혀져,¹¹⁾ 이 효소를 발암의 지표효소로 사용하는 것은 일반적으로 인정되어 있는 사실이다.

본 연구에서 사용된 Strontium은 성인의 조직내에 평균 32 mg이 존재하며 그 중 99.1%가 뼈에 축적되어 있고,¹²⁾ 지각 표면에는 450 ppm, 해수에는 8 ppm의 농도로 존재하는 원소로서,¹³⁾ 방사성 동위원소인 Sr⁹⁰은 β negative emitter로 28.1년의 반감기와 544 KeV의 최대 에너지를 지닌 1종 위험 동위원소이며 입자방사선에 속하는 이온화방사선 방출물질이다.¹⁴⁻¹⁶⁾ 방사성 strontium이 인체와 동물에 영향을 주는 독성작용으로는 백혈병,¹²⁾ 갑상선 기능저하,¹⁷⁾ 관절염증,¹⁸⁾ 태아기형,¹⁹⁾ 골수 말초혈관,흉선,지라의 핵산대사 저해,²⁰⁾ 칼슘 대사 이상,²¹⁾ 체중 감소²²⁾ 등이다. 특히, Sr⁹⁰이 실험동물에서 Ca 대체물^{23,24)}로 이용되어 구루병을 유발하였고,^{25,26)} 치열이 비정상적으로 된 보고²⁷⁾도 있다.

이온화 방사선의 일종인 X-ray는 보건의료에서 각종 診斷과 癌治療에 이용되는 것으로서 X-ray 조사로 인한 백혈병의 잠복기는 일반 고형암에 비해 짧은 편이며, 그 중 골수성 백혈병이 대부분이다. 사람의 백혈병 발생율은 실험동물과 달리 개인 감수성이 크게 작용하여 1~2% 정도로 알려져 있다.²⁸⁾ 이러한 X-ray의 흰쥐에서의 골수성 백혈병이 30% 정도 나타나는 X-ray 선량은 250~450 rad이며,²⁹⁾이 이상의 선량에서는 세포의 많은 부분이 치사되기 때문에 백혈병 이외의 급성효과가 더욱 크게 나타나게 된다. 흰쥐에 있어서 백혈병의 자연 발생율은 암컷이 4%, 수컷이 1% 정도이며,³⁰⁾ 잠복기는 90~120일로 150일 경에 가장 많은 발병율을 나타낸다.³¹⁾

이러한 동물실험의 결과는 각 종마다 발암에 대한 민감성이 차이가 있기 때문에 적절하고 정확한 실험이 요구된다.³²⁾ X-ray는 각종 암환자의 방사선 치료에 이용되고 있고, 이러한 치료의 부작용으로

이차적인 발암이 일어나기도 하여 이러한 방사선에 의한 폭로시 나타나는 부작용을 감소시키는 것은 하나의 과제로서 남아있다.

본 연구에서는 대조군과 함께 positive control로서 골수성 백혈병을 일으키는 선량의 X-ray와 Sr⁹⁰을 각각 단독으로 폭로시킨 흰쥐군과 이들과 함께 전계장에 폭로시킨 흰쥐군의 발암진행 상의 차이를 발암의 지표효소인 ODC의 활성도를 측정하여 고압과 낮은 전류에서 발생하는 전계장이 이온화 방사선과 함께 폭로될 경우 생체 발암에 미치는 영향에 대하여 연구를 실시하였다.

II. 實驗材料 및 方法

1. 실험재료

1) 실험동물

생후 3주된 Sprague-Dawley rat(체중 60±10 g)를 서울대학교 동물 사육장으로부터 분양받아 서울대학교 천연물 과학연구소 동물사육장에서 1주간 적응시킨 후, 체중이 80±20 g이 되었을 때 실험에 사용하였다. 본 실험에서는 흰쥐들을 Table 1과 같이 총 6군(대조군, 전계장 단일 폭로군, Sr⁹⁰ 단일 폭로군, Sr⁹⁰과 전계장 복합 폭로군, X-ray 단일 폭로군, X-ray와 전계장 복합 폭로군)으로 나누었으며, 대조군, 전계장 단일 폭로군, X-ray 단일 폭로군, X-ray와 전계장 복합 폭로군의 네 군은 자성 흰쥐 60마리와 음성 흰쥐 60마리로 구성되도록 하였고, Sr⁹⁰ 단일 폭로군과 Sr⁹⁰과 전계장 복합 폭로군은 자성과 음성 흰쥐를 각각 55마리씩 사용하였다. 실험기간은 총 12주로 하였고, 실험기간 중 식이와 음용수는 자유롭게 섭취하도록 하였고, 매주 마다 각 군의 자성 흰쥐와 음성 흰쥐를 각각 5마리씩 실험에 사용하였다.

실험동물은 circadian rhythm에 의한 변수를 제거하기 위해 12시간 조명을 하고, 온도 22~25℃와

Table 1. Experimental groups

Group-Class	Treatment	No. of total rats	No. of male rats	No. of female rats
1	Control	120	60	60
2	Electric field exposure	120	60	60
3	X-ray exposure	120	60	60
4	X-ray and electric field exposure	120	60	60
5	Sr ⁹⁰ exposure	110	55	55
6	Sr ⁹⁰ and electric field exposure	110	55	55
	Total	700	350	350

습도 50~55%가 유지되도록 하였다.

2) 사용시약

모든 시약은 Sigma Co.의 제품을 사용하였다.

A. Dulbecco's phosphate buffer solution(PBS buffer)

0.2 g의 KCl, 0.2 g의 KH_2PO_4 , 8 g의 NaCl 그리고 2.16 g의 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 을 1 liter의 탈이온수에 녹여서 사용하였다.

B. Breaking buffer

3.94 g의 25 mM Tris-HCl (pH 7.5), 0.029 g의 0.1 mM EDTA, 0.3855 g의 2.5 mM Dithiothreitol (DTT)를 1 liter의 탈이온수에 녹여 사용하였다.

C. 골수세포의 ODC 활성도 측정을 위한 substrate solution

2 μl 의 L-[1-C]-Ornithine (57 mCi/mmol, undiluted)

8 μl 의 5 mM L-Ornithine (in 10 mM HCl)

5 μl 의 12.5 mM EDTA (pH 7.2, NaOH로 조정)

5 μl 의 50 mM DTT (in water)

2 μl 의 5 mM Pyridoxal-5-phosphate (PLP, in 10 mM NaOH)를 넣고, PBS buffer로 총 부피가 0.25 ml이 되도록 맞추어 준다.

*DTT와 PLP는 frozen stock solution을 사용하였다.

D. Cocktail solution 제조

PPO(2,5-Diphenyloxazole) 4 g, POPOP(1,4-bis[2(5-phenyloxazole)]benzene) 0.1 g, toluene 700 ml과 ethyl alcohol 300 ml을 혼합하여 사용하였다.

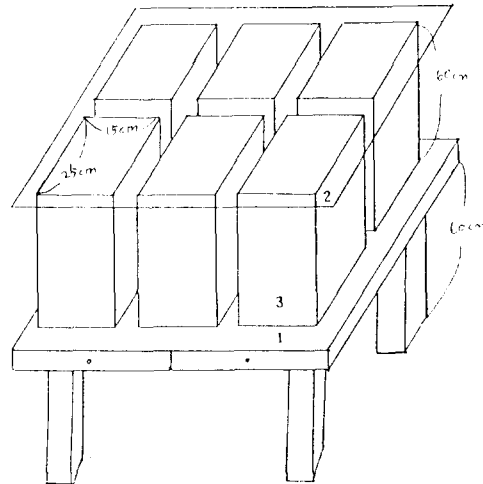
3) Sr^{90} , X-ray 및 전계장 照射 方法

A. X-ray 照射

X-ray 단일폭로군과 X-ray와 전계장 복합폭로군에 120 Kvp, 80 mA, dose rate 54R/min, 표적까지의 거리가 30 cm인 X-ray 照射 機器를 이용하여, 1회 폭로량이 18 rad가 되도록 하여 주 2회씩 전신조사로 총 4.14 Gy가 되도록 하였다.

B. 전계장 照射

전계장 단일 폭로군, Sr^{90} 과 전계장 복합 폭로군, X-ray와 전계장 복합 폭로군의 세 군에 대하여 실시하였다. 전계장 조사 기기는 백수생과화학연구소에서 제작한 출력전압 6000 V, 전류 0.03~0.04 A인 극저주파(60 Hz) 교류고압전기장으로(Fig. 1)폭로시, 전기로 인한 직접적인 충격이 없도록 고안되었으며, 높은 전압과 낮은 전류의 흐름으로 자기장은 거의 형성되지 않고, 강력한 전계장만이 형성된다. rat에



1. High-voltage electric current stand
2. An earth plate
3. Rat cage

Fig. 1. The device of electric field exposure.

조사하기 위해 실험동물간의 간섭이 없도록 아크릴 판으로 6개의 격자로 cage를 만들어 각 cage에 한 마리씩 넣어 주 6회 매일 일정시간대에 30분씩 照射하였다. cage 하부에 고압전극을 형성시키고, 對電極으로 cage 상부의 뚜껑을 사용하였으며, 이들 사이의 간격은 0.6 m로 하였다.

C. Sr^{90} 폭로

사육장에서 적응시킨 rat가 생후 5주령이 되었을 때, Sr^{90} (Amersham Corp., Arlington Height, Ill.)을 phosphate buffer solution(pH 7.5)으로 희석하여, Spiers의 논문¹⁰⁾을 근거로 10주간 지속적 폭로시 체내축적도를 고려하여 10 Gy의 폭로량이 되도록 마리당 681 kbq을 0.15 ml에 맞추어 복강 주사로 투여하였다.

D. X-ray 및 Sr^{90} 과 전계장의 복합폭로

X-ray 및 전계장 복합폭로군은 흰쥐가 생후 5주령이 되는 실험 1주차에 18 rad의 X-ray를 조사한 후 전계장을 조사하기 시작하였고, Sr^{90} 및 전계장 복합폭로군은 역시 생후 5주령이 되는 실험 1주차에 Sr^{90} 을 복강주사로 투여한 후, 실험 2주차부터 실험 12주차까지 전계장을 조사하였다.

2. 실험방법

전 6군을 대상으로 매주 암컷과 수컷 흰쥐를 각각 5마리씩 무작위로 추출하여 diethyl ether로 마취시킨 후, 개복하여 장기 이상유무를 육안으로 확인

하고 좌,우 대퇴골을 절단하여 골수세포 채취를 위해 사용하였다.

1) 골수세포 채취 및 전처리 방법

ODC 활성도 분석에 사용할 골수세포의 채취 및 처리는 Hunt S.V.³³⁾의 방법에 따라 다음과 같이 준비하였다. 흰쥐에서 절단한 좌,우 대퇴골에서 주변의 살을 제거한 후 양쪽에 각각 3ml/씩의 Dulbecco's phosphate buffer를 주사기를 이용하여 골수속으로 천천히 흘러보내어 골수세포를 채취하여, 일부는 Haemocytometer를 이용하여 cell counting을 하고 나머지는 3,000 rpm에서 15분간 원심분리 후, 상층액을 따라내고 breaking buffer로 1 ml/를 만들어 두 번 더 원심분리한 후에 다시 breaking buffer로 1 ml/를 맞춘 다음 sonication(20 mA, 5sec.)시켜 세포를 터뜨린다. 이 시료를 Supercentrifuge(Dupont Co.제품)에서 15,000 g에서 45분간 원심분리한 후에 세포액이 들어있는 상층액을 취하여 deep freezer (-70°C)에 보관하였다.

2) ODC 활성도의 측정

ODC 활성도의 측정방법은 Lichti와 Gottesman¹¹⁾의 방법을 변형하여 사용하였으며 간단히 설명하면 다음과 같다. 24 well plate를 얼음 위에 놓고, substrate solution을 혼합하여 넣고, 미리 계산한 전체 세포수로부터 10⁷ 세포수에 해당하는 시료를 넣는다.

PBS buffer로 각각을 0.25 ml로 맞춘 후, plate를 구멍 뚫린 parafilm으로 덮고 구멍 위에 glass filer (직경 7 mm)를 올려놓고 Glass filer를 0.1 N-hyamine hydroxide로 충분히 적신 후에, 온전한 parafilm으로 덮고 37°C에서 흔들면서 1시간 동안 배양한다. 배양 후, 24 well plate를 얼음 위에 놓고, 0.1 N-perchloric acid 0.25 ml/씩을 주사기로 넣어 반응을 정지시킨 다음 발생된 ¹⁴CO₂가 충분히 포집되도록 37°C에서 흔들면서 30분 동안 배양한다. 배양시 발생된 ¹⁴CO₂가 포집된 glass filer를 5 ml의 cocktail solution이 담긴 scintillation vial에 넣어 액체섬광 측정기(Hewlett Packard Co.)를 이용하여 1분간 방사능을 측정한다.

3. 통계 처리

실험에서 얻은 결과는 SAS program을 이용하여, ANOVA test를 실시한 후, 유의한 군들 사이의 차이에 대하여 Dunnett's t-test로 분석하였다.

III. 結果 및 考察

1. ODC 활성도의 변화

Ornithine decarboxylase(ODC)는 포유동물 세포의 증식과 분화에 필수적인 polyamine의 합성 반

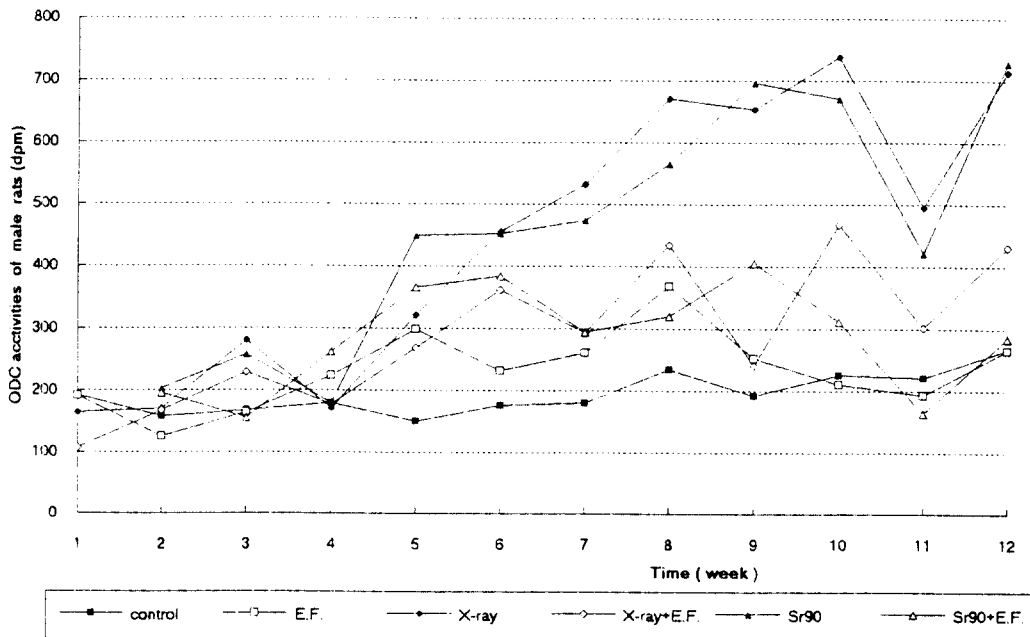


Fig. 2. ODC activity changes of male rats.

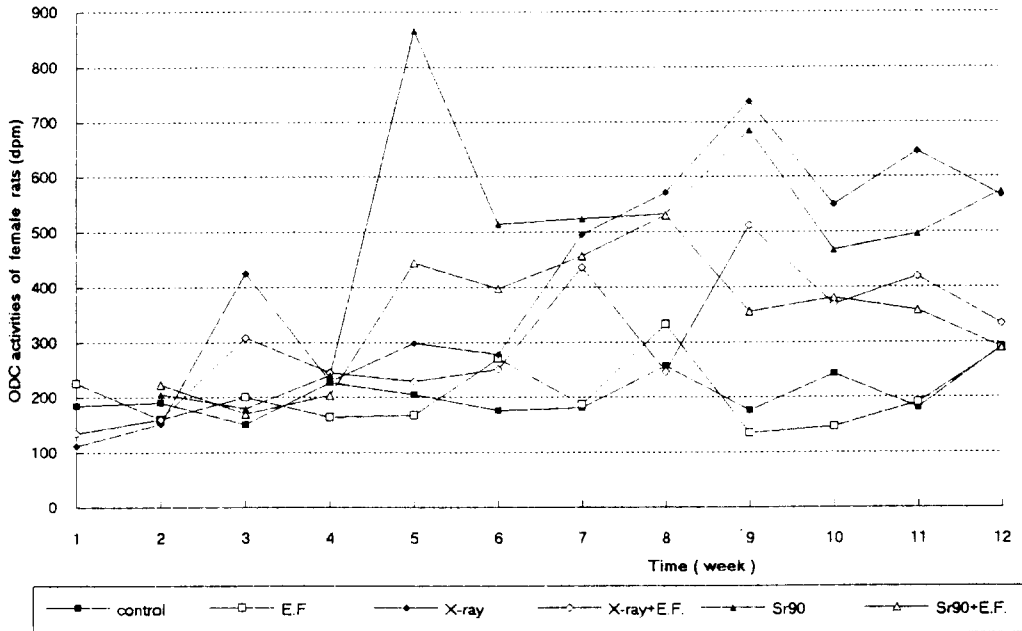


Fig. 3. ODC activity changes of female rats.

응에서의 제한 효소이며, 세포의 성장과 DNA 합성에 필수적인 효소이다. 임상적으로 다양한 실험에 의해 ODC 활성도의 변화는 종양발생의 지표로서 유용성이 증명되었으며, 생체내에서 ODC의 활성화를 촉진하는 물질들이 모두 발암성 물질은 아니지만, 그 오히려, 발암성 물질들은 모두 ODC의 활성화를 촉진한다는 사실이 입증되어 있다.³⁰⁾

이러한 사실에 입각하여, 본 실험에서는 X-ray 및 Sr⁹⁰의 골수 발암성의 작용 과정과 이들 이온화 방사선에 의한 발암과정에서 전계장의 영향에 대한 지표로서 ODC의 활성도를 측정하였다. 예비실험 및 본 실험에 의해 측정된 각 군의 ODC 활성도의 변화는 Fig. 2, 3 그리고 Table 2, 3에 나타내었다.

본 실험에서 흰쥐들의 ODC 활성도 변화는 음성과 양성 흰쥐가 같은 결과를 나타내었는데, X-ray 단일폭로군과 Sr⁹⁰ 단일폭로군은 각각 대조군에 비하여 최고 3배 정도의 높은 ODC 활성도를 나타내어($p < 0.05$), 이들 이온화 방사선이 골수성 발암원으로서 작용하였음을 확인할 수 있었다.

1) 대조군과 전계장 단일폭로군의 ODC 활성도 변화

대조군의 ODC 활성도는 암, 수 모두 150~300 dpm의 수준을 유지하였고, 본 실험에서 설정한 기간(생후 4주~16주)이 흰쥐에 있어서 성장이 매우 활

발히 일어나는 성장기인 점을 고려하면, ODC 활성도가 비교적 안정되어 있는 것을 알 수 있다.

전계장 단일폭로군의 경우도 암, 수 모두 대조군과 유의한 차이가 없었으며($p > 0.05$), 전 실험기간을 통하여 안정된 ODC 활성도를 나타내었다. 이와 같은 결과는 전자장(electromagnetic field)에 의해 ODC 활성도가 증가되었다는 Buys³⁴⁾ 등의 연구 결과와 다른 것으로서 전자장과 전계장(electric field)의 단일 폭로의 결과가 다르다는 것을 나타내고 있다.

2) X-ray 단일폭로군과 X-ray 및 전계장 복합폭로군의 ODC 활성도 변화

X-ray 단일폭로군은 수컷의 경우는 실험 6주차 이후부터, 암컷의 경우는 실험 7주차 이후부터 대조군과 X-ray 및 전계장 복합폭로군보다 유의하게 높은 ODC 활성도를 나타내었으며($p < 0.05$), 암수간의 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다. 실험 8주차에서 실험 10주차 사이의 ODC 활성도는 전 실험기간 중 가장 높은 ODC 활성도를 나타낸 기간으로 같은 기간의 대조군에 비하여 약 3배 정도 높은 ODC 활성도가 측정되었다.

한편, X-ray 및 전계장 복합폭로군의 ODC 활성도 변화를 살펴보면, 실험 8주차 이후 다소의 증가를 보여 대조군보다 높게 나타났으나, 유의한 차이는

Table 2. ODC activity of male rats (unit : DPM)

Week	Control	Electric field	X-ray	X-ray and electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	192.0± 46.3	190.7± 47.9	164.± 59.1	107.4± 54.1	—	—
2	157.4± 30.7	125.3± 21.2	170.7± 46.1	167.3± 33.4	203.1± 5.0	195.4± 18.1
3	167.3± 23.6	164.7± 44.6	280.1± 54.1	228.1± 58.5	257.6± 59.5	155.2± 35.2
4	178.7± 20.0	223.4± 36.1	170.5± 26.8	177.4± 66.4	179.5± 41.8	262.0± 23.7
5	150.2± 24.4	298.3± 38.7	320.7± 38.3	268.2± 44.4	449.6± 15.0	366.0± 68.7
6	176.1± 50.2	231.5± 37.7	456.8± 41.1	361.4± 51.7	453.1± 38.2	384.4± 64.7
7	180.6± 56.6	261.2± 20.2	532.5± 26.4	293.6± 9.2	474.9± 95.1	294.4± 34.3
8	233.7± 68.4	368.6± 73.3	671.2± 108.6	434.9± 34.4	566.0± 70.0	320.2± 82.2
9	192.1± 12.2	251.8± 37.0	653.8± 93.6	240.3± 81.9	697.4± 85.1	406.2± 27.3
10	225.7± 62.2	210.3± 41.8	739.0± 56.2	468.6± 57.5	671.6± 88.3	311.7± 95.5
11	221.2± 84.5	193.2± 46.6	496.0± 73.8	358.6± 105.2	421.6± 55.1	163.8± 41.0
12	266.7± 13.6	265.0± 24.3	585.6± 139.4	432.0± 79.4	729.3± 37.7	284.4± 76.2

Each value represents the Mean± S.D.

Table 3. ODC activity of female rats (unit : DPM)

Week	Control	Electric field	X-ray	X-ray and electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	184.5± 45.9	226.2± 45.3	111.9± 10.0	134.6± 12.3	—	—
2	190.4± 25.5	160.0± 33.2	151.9± 40.9	160.6± 54.4	206.9± 50.8	223.2± 55.0
3	150.3± 13.7	200.2± 45.0	425.2± 43.3	307.4± 67.6	179.7± 33.0	170.6± 18.5
4	227.3± 42.9	164.5± 31.7	229.2± 63.7	245.3± 42.6	240.1± 42.6	203.9± 41.7
5	205.6± 12.8	167.5± 53.5	298.6± 46.1	229.2± 53.5	866.2± 60.4	444.0± 54.3
6	176.2± 50.2	270.8± 63.1	277.3± 23.4	251.5± 61.8	514.4± 62.0	397.4± 84.7
7	180.6± 56.6	186.9± 62.0	495.6± 33.0	435.8± 22.2	524.3± 58.5	456.5± 63.9
8	256.9± 107.4	332.7± 16.4	571.5± 116.7	246.5± 59.2	533.2± 106.5	529.7± 85.0
9	176.7± 27.1	135.4± 26.8	736.9± 32.2	512.7± 17.5	684.4± 45.8	355.2± 38.7
10	242.2± 39.9	146.7± 26.7	549.2± 55.6	368.9± 88.6	467.7± 84.4	380.1± 97.2
11	180.9± 77.9	190.7± 60.0	646.7± 86.2	437.6± 30.9	496.3± 35.8	303.8± 45.7
12	290.5± 74.1	289.1± 19.9	567.1± 54.0	333.0± 28.6	573.9± 94.8	289.8± 57.8

Each value represents the Mean± S.D.

없었으며, X-ray 단일폭로군에 비해 전반적으로 유의하게 낮은 ODC 활성도를 나타내었다(P<0.05). 그러므로, X-ray 단일폭로군과 비교한 X-ray 및 전계장 복합폭로군에서의 ODC 활성도 저하가 전계장의 발암 억제 가능성을 제시하고 있어, 이러한 결과에 대해서 인간을 대상으로한 임상실험이 후속되어 동물실험과 같은 결과를 얻는다면 X-ray에 폭로되어 신체 장애를 일으킬 가능성이 있는 사람들의 피해 예방을 위하여 활용 가능성이 있을 것으로 판단된다.

3) Sr⁹⁰ 단일폭로군과 Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군의 ODC 활성도 변화

본 실험의 측정 결과, Sr⁹⁰단일폭로군은 실험 5주

차 이후부터 ODC 활성도가 증가하기 시작하여 수컷의 경우 실험 9주차에 최고치인 697.4 dpm을 나타내었고, 암컷은 실험 5주차에 최고치인 866.2 dpm의 ODC 활성도를 나타내었다. Sr⁹⁰ 단일폭로군에서는 암,수 모두 실험 5주차 이후의 전 실험 기간에 걸쳐 대조군에 비해 최소 0.5%에서 최고 76.0%가, Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군에 비해서는 최소 0.7%에서 최고 49.0%의 ODC 활성도가 증가된 것으로 측정되었다(p<0.05).

Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군은 Sr⁹⁰ 단일폭로군에 비하여 유의하게 낮은 ODC 활성도를 나타내었으나 (p<0.05), Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군 역시 암,수 모두 실험 5주차 이후에 ODC 활성도가 증가하기

시작하여 Sr^{90} 단일폭로군과 일치하는 증가 주기를 나타내었다.

그러나, Sr^{90} 및 전계장 복합폭로군은 X-ray 및 전계장 복합폭로군과는 달리 대조군에 비해서 높은 수준의 ODC 활성도를 보여서 외부피폭 방사선인 X-ray의 경우보다 내부피폭 방사선인 Sr^{90} 의 발암 과정이 전계장에 의해 덜 억제된 것이거나, X-ray의 선량이 총 4.14 Gy인데 반해 Sr^{90} 의 선량은 10 Gy로 훨씬 컸던데서 원인을 찾을 수 있을 것이다.

이러한 결과를 살펴볼 때, 본 실험의 결과는 발암성 화학물질을 처리한 후 전자장(electromagnetic field)을 폭로한 흰쥐의 ODC 활성이 현저하게 증가한다고 보고했던 Adey의 연구⁴⁾와는 반대되는 결과로써, 전계장(electric field)의 단일폭로는 전장과 자장이 동시에 폭로되는 전자장과는 달리 ODC 활성도를 감소시키는 역할, 즉, 방사선에 의한 발암발생을 억제하는 형태로 관여하고 있는 것으로 볼 수 있다.

IV. 結 論

X-ray와 Sr^{90} 을 단독으로 혹은 전계장과 복합적으로 흰쥐(Sprague-Dawley)에 폭로시키면서 총 12주간 주간별로 발암의 지표효소인 ODC 활성도를 골수세포에서 측정하여 비교한 결과 X-ray 및 Sr^{90} 단일폭로군과 X-ray와 전계장, Sr^{90} 과 전계장의 복합폭로군의 ODC 활성도는 대조군에 비하여 압, 수 모두 높은 것으로 나타났으나($p < 0.05$), X-ray 및 Sr^{90} 과 전계장의 복합폭로군의 경우는 단독폭로군보다 ODC 활성도가 낮은 것으로 나타나 전계장의 복합폭로가 X-ray나 Sr^{90} 의 단독폭로에 의한 ODC의 활성도의 증가를 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다. Sr^{90} 과 전계장을 복합적으로 폭로시킨 흰쥐군의 ODC 활성도가 대조군에 비해 높은 값을 보인 것과는 달리 X-ray와 전계장의 복합폭로군과 전계장만의 단일폭로군의 ODC 활성도는 대조군과 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($p > 0.05$).

본 연구에 사용된 전계장 발생장치는 상용주파수가 60 Hz로서 극저주파 전자장과 같으나, 전류의 흐름을 최소화하여 자장의 형성은 거의 되지 않도록 특수 고안된 것으로서 전장과 자장이 동시에 발생하는 일반적인 극저주파 전자장과는 다른 것이며, 이런 점에서 위와 같은 연구 결과가 ODC 활성이 전자장폭로에 의해 상승되었다는 연구 결과와는 달리 전계장이 ODC 활성도 증가를 억제하는 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) Knickerbocker, G. G., Knouwenhoven, W. B. and Barnes, H. C. : Exposure of mice to a strong AC electric field an experimental study, *IEEE trans. power APP. Syst.*, **86**, 498-505, 1967.
- 2) Foster, K. H. and Guy, A. W. : The microwave problem, *Sci. Ame.*, **225**(3), 32-39, 1986.
- 3) Frank, C. *et al.* : Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in The United States Navy personnel. *Am. J. Epidem.*, **132**(2), 293-303, 1990.
- 4) Adey, W. R. : Joint actions of environmental nonionizing electromagnetic field and chemical pollution in cancer promotion. *Environ. Health Persp.*, **86**, 297-305, 1990.
- 5) Rene, V. *et al.* : Use of electric blankets and risk of testicular cancer. *Am. J. Epidem.*, **133**(5), 759-762, 1990.
- 6) Kazim, S. : Exposure to electromagnetic field and the risk of leukemia. *Ach. Env. Health.*, **4**(1), 55-63, 1986.
- 7) Kremer, F. *et al.* : Picosecond relaxations on proteins and biopolymers observed by millimeter wave spectroscopy. In nonlinear electrodynamics in biological system, Adey W. R. and Lawrence A. F. (eds.), Plenum Press, NY., 177-186, 1984.
- 8) Pegg, A. E. : Polyamine metabolism and its importance in neoplastic growth and as a target for chemotherapy. *Cancer Res.*, **48**, 759-774, 1988.
- 9) O'brian, T. G. : The induction of ODC as an early, possibly obligatory event in mouse skin carcinogenesis. *Cancer Res.*, **36**, 2644-2653, 1976.
- 10) Spiers, F. W. : Particle dosimetry in bone and the toxicity of bone sickening radionuclides, *Phys. Med. Biol.*, **33**(4), 395-411, 1988.
- 11) Lichti, U. and Gottesman, M. M. : Genetic evidence that a phorbol ester tumor promoter stimulates ODC activity by a pathway that is independent of cycle AMP-dependent protein kinases in CHO cells. *J. Cell Phys.*, **113**, 433-439, 1982.
- 12) Schroeder, H. A., Tipton, I. H. and Nason, A. P. : Trace metals in man: Strontium and Barium. *J. Chron. Dis.*, **25**, 491-517, 1972.
- 13) Bowen, H. J. M. : Trace element in biochemistry. New York, USA, Academic Press, 1966.
- 14) Campbell, W. W. and Greenberg, D. M. : Studies in calcium metabolism with aid of its induced radioactive isotope. *Proc. Nat. Acad. Sc.*, **26**, 176-

- 180, 1940.
- 15) Pecher, C. : Biological investigation with radioactive calcium and strontium. *Proc. Soc. Exper. Biol. & Med.*, **46**, 86-91, 1941.
 - 16) Pecher, C. : Biological investigation with radioactive calcium and strontium. Preliminary Report on Use of Radioactive Strontium in Treatment of Metastatic Bone Cancer. University of California Publication. *Pharmacology*, **11**(2), 117-149, 1942.
 - 17) Bogatov, L. V., Surina, A. G., Antonenko, G. I., Pershina, L. I. : *Radiobiologiya*, **31**(4), 481-484, 1991.
 - 18) Haellgren, R., Svensson, K., Johansson, E., Lindh, U. : *J. Lab. Clin. Med.*, **104**(6), 893-900, 1984.
 - 19) Ronnback, C. : Sr induced effects on the foetal ovary of the CBA mouse. Thesis, Printed at Swedish Agricultural University, *Uppsala*, 1982.
 - 20) Soroka, L. P., Shvedov, V. L. : *Radiobiologiya*, **25**(4), 544-547, 1985.
 - 21) Prasad, P. V. D. : *Phy Kos.*, **23**(1-2), 202-206, 1984.
 - 22) Sadvoy, Y., Severin, K. P. : *Bull. Mar. Sci.*, **50**(2), 237-257, 1992.
 - 23) Churchill, P. C., Churchill, M. C., Macdonald, F. D. : *J. Pharmacol. EXP. THER.*, **236**(2), 331-333, 1986.
 - 24) Ebeigbe, A. B., Aloamaka, C. P. : *Comp. Biochem.*, **82**(1), 213-216, 1985.
 - 25) Folles, R. H. : Bome changes resulting from parenteral strontium administration. *Fed. Prec.*, **14**, 403, 1955.
 26. Radiation and leukemia, *Med. J. Aust.*, **2**(25), 891-892, 1974.
 - 27) Upton, A. C. *et al.* : A comparison of the induction of myeloid and lymphoid leukemias in X-irradiated RF mice, *Cancer Res.*, **18**, 842-848, 1958.
 - 28) Ito, T. *et al.* : A comparative study of the leukemogenic effects of strontium-90 and X-rays in mice, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.(N.Y.)*, **130**(1), 345-350, 1969.
 - 29) Shellabarger, C. J. : Radiation carcinogenesis, *Cancer* **37**, 1090-1096, 1976.
 - 30) Hyashi, S. I. : International encyclopedia of pharmacology and therapeutics section 129, Ornithine decarboxylase, Pergamon Press, pp. 1-45, 1989.
 - 31) O'brian, T. G., Simsiman, R. C. and Boutwell, R. K. : Induction of the polyamine biosynthetic enzymes in mouse epidermis and their specificity for tumor promotion, *Cancer Res.* **35**, 2426-2433, 1975.
 - 32) Russell, D. H. and Mcvicker, T. A. : Polyamine metabolism in mouse liver after partial hepatectomy. *Biochem. Biophys. Acta*, **244**, 85-93, 1971.
 - 33) Hunt, S. V. : Lymphocytes: a practical approach: 1. Preparation of lymphocytes and accessory cells, edited by Klaus, G. G. B., London England, IRL Press, pp. 21-22, 1987.
 - 34) Buys, C. V., Pieper, S. E. and Adey, W. R. : Increased ornithine decarboxylase activity in cultured cells exposed to low energy modulated microwave fields and phorbol ester tumor promoters. *Cancer Res.*, **48**, 4222-4226, 1988.