

Strontium 90의骨髓發癌性에對한電界場의 影響에關한實驗的 研究

鄭文鎭·杜玉珠
서울大學校 保健大學院

A Study on Effect of Electric Field for Carcinogenesis of Strontium 90

Moon Ho Chung and Ock Joo Tu
Graduate School of Public Health, Seoul National University, Seoul 110-460, Korea

ABSTRACT

Sprague Dawley rats were exposed to electric fields (6,000 V, 10 kV/m, 30 min/day, 6 days per week) and injected strontium 90 (681 kbq/rat, one time) through abdominal cavity (strontium 90 and electric field complexed exposure group). In parallel, series with the electric field exposure only, strontium 90 injection only and control groups were run. Every group was consisted of 110 rats (55 male and 55 female). This animal experiment was performed from May to December in 1993. This results were conducted to investigate the effect of electric field for 11 weeks.

The results are summarized as follows :

1. Ornithine decarboxylase (ODC) activity in rat's bone marrow cells : The ODC values was significantly increased in Sr⁹⁰ injection group and Sr⁹⁰ and electric field complexed exposure group as compared with that of control group ($p < 0.05$). The ODC value was significantly decreased in electric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group in comparison with Sr⁹⁰ injection group ($p < 0.05$). The ODC values of electric field only exposure group was not different to that of control group ($p > 0.05$).
2. The amount of Sr⁹⁰ accumulation in the femur, kidney and spleen : The accumulation amount of Sr⁹⁰ in the femur of Sr⁹⁰ injection group represented higher value than that of electric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group ($p < 0.05$). In the kidney and spleen, the difference between electric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group and Sr⁹⁰ injection group wasn't observed.
3. The counts of white cells in blood of Sr⁹⁰ injection group was decreased as compared with the value from control group and electric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group ($p < 0.05$).
The rat's body weight, red blood cell counts and the weight data of liver, kidney and spleen did not show differences among four groups.

Keywords : Electric field exposure, Sr⁹⁰ injection, ornithine decarboxylase activity, Sr⁹⁰ accumulation, white blood cell number.

I. 서 론

오늘날 우리들은 일상생활 전반에서 전기의 혜택을 누리면서 생활을 하고 있기 때문에 전기를 이용할 때 반드시 발생하는 전자장에 많은 적진 항상 폭로되고 있다. 이러한 전자장이 생체에 어떠한 영

향을 미치는가에 대해서는 1960년대 초부터 연구되어 왔으나, 극고주파 전자장(highest frequency electromagnetic field) 이외에는 크게 유해한 경우가 없는 것으로 인식되어 왔다.^{1,2)}

근래에 들어 전계장과 자장은 각기 보건의료에 이용되고 있는데, 높은 전압하에서 전류의 흐름을

최소화하여 자장의 발생은 거의 없이 전계장만이 발생되도록 고안된 고압교류전위요법이 치료에 이용되고 있으며, 자장의 작용으로 각종 질병의 예방이나 치료효과를 기대하는 자석목걸이, 자석요 등이 사용되고 있다. 고압전계장을 이용한 물리치료기들의 임상실험에서는 교류 고압전계장이 혈압을 조절하고, 신경계의 통증을 감소시키며, 불면증치료와 내분비, 지질의 대사에 영향을 주며,³¹⁾ 골절의 치료와 가골의 형성을 촉진하고,⁴¹⁾ 또한, 일시적으로 혈청칼슘과 칼슘이온이 증가하며,⁵¹⁾ 만성요통 등의 노인병에 대한 치료효과가 있다⁶¹⁾는 보고가 있다.

이와 같은 비이온화 방사선에 속하는 극저주파 전자장의 긍정적인 생체 영향과는 상반되는 연구결과로, 1979년에 Wertheimer와 Leeper⁷⁾가 송전선 주변에 거주하는 어린이에서 각종 암의 발생이 증가했다고 보고하여 관심을 불러일으킨 이후에 Kazim,⁸⁾ Savitz⁹⁾ 그리고 Frank¹⁰⁾의 연구에서도 같은 결과가 얻어졌으며, 생체 고분자의 공명현상에 대한 연구,^{11,12)} 전자장이 생체막에서 암의 promoter와 상승작용이 있다는 연구^{12,13)} 등도 보고되고 있다. 위의 연구에 대상이 되었던 극저주파대(30~300 Hz)의 전자파에는 생활주변에서 가장 많이 사용되는 50~60 Hz의 주파대가 포함되어 있어서 그의 인체에 대한 영향을 연구하는 것은 매우 중요하다. 그러나 이러한 결과와 상반되는 연구결과도 다수 보고되고 있어서¹⁴⁾ 극저주파 전자장의 생체에 대한 영향은 역학적인 연구와 실험실적인 연구에 의해 아직 명확히 밝혀지지 않고 있는 단계에 있다.

본 연구에서 발암원으로 사용한 Strontium은 1808년 Humphrey Davy에 의해 발견되어 주기율표상 IIA group에 속하는 원소로,¹⁵⁾ 해수에서 그 양이 가장 많은 Alkaline earth metal로 도양, 대기, 물 및 식품에 다양한 양으로 존재한다.^{16,19)} 성인의 조직내에 평균 32 mg이 존재하며 그 중 99.1%가 뼈에 축적되어 있고,²⁰⁾ 지각 표면에는 평균 450 ppm, 해수에는 8 ppm의 농도로 존재한다.²⁰⁾ Strontium의 실제 폭로량은 작지만, 원자폭탄 실험에 의한 대기 중의 Strontium은 건강상 위험이 매우 크다.¹⁹⁾ 특히, Sr⁹⁰은 핵분열 산물인 방사성 불질로서 β -negative emitter로 28.1년의 반감기와 544 KeV의 최대 에너지를 지닌 1종 위험 동위원소이다. 방사성 Strontium의 인체와 동물에 영향을 주는 독성작용으로는 백혈병,²⁰⁾ 삼상신 기능 저하,²¹⁾ 관질염증,²²⁾ 태아기형,²³⁾ 골수 말초혈관, 흉선, 지라의 핵산대사 저해,²⁴⁾ 칼슘대사 이상,²⁵⁾ 체중 감소²⁶⁾ 등이다. 특히, Sr⁹⁰이 실험동물에서 Ca대체물^{27,28)}로 이용되어 구루병을

유발하였고,^{29,30)} 치열이 비정상적으로 된 보고³¹⁾도 있다. 해양생물에 의한 Sr⁹⁰의 이용에 관한 연구³²⁾에서는 해양생물은 해수농도에 비해 32~185배, 해양동물은 2.5~62배의 Sr⁹⁰을 축적하고 있음이 보고된 바 있다.

한편, 오늘날 발암발생의 지표효소로서 인정받고 있는 Ornithine Decarboxylase(이하 ODC)는 분자량이 52,000이고 생체내에 중합체로 존재하는 효소로서,³³⁾ complete carcinogen promoter에 의해서 활성화되며, Ornithine을 탈탄산 반응에 의해 putricine, spermine, spermidine 등의 polyamine으로 생체물질을 분해하는 작용이 있다.³⁴⁾ 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 대사과정이다.^{35,36)} 이러한 특성을 발암성 지표효소로서 이용하려는 시도는 1980년대 중반부터 시작되었으며, 각종 암세포가 발생 증식하는 경우에는 ODC활성도가 급격히 증가하며 경우에 따라서는 정상세포에 비해 수백배까지 증가되는 것으로 밝혀져 있다.³⁶⁾

따라서 본 연구에서는 대조군과 함께 positive control로서 골수성 백혈병을 일으키는 선량의 Sr⁹⁰을 단독으로 폭로시킨 흰쥐군과 이와 함께 전계장에 복합 폭로시킨 흰쥐군의 발암 지표효소로서 ODC활성도의 측정과 더불어 혈구구성 상의 변화, 장기의 중량 증가상의 변화 그리고 Sr⁹⁰의 체내 각 기관내 축적량의 변화를 관찰하여 전기에서 발생하는 전계장이 이온화방사선과 동시에 폭로될 경우 생체에 미치는 영향에 대하여 연구를 실시하였다.

II. 실험재료 및 방법

본 실험은 1993년 5월부터 1993년 12월에 걸쳐 실시하였다.

1. 실험재료

1) 실험동물

생후 4주된 Sprague-Dawley rat(체중 60±10 g)를 서울대학교 동물사육장으로부터 분양받아 서울대학교 천인물 과학연구소 동물사육장에서 1주간 적응시킨 후, 체중이 100±20 g이 되었을 때 실험에 사용하였다. 본 실험에서는 흰쥐들을 Table 1과 같이 대조군, 전계장 단독폭로군, Sr⁹⁰ 단독폭로군, Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군의 네 군으로 나누었으며, 각 군은 자성과 음성 흰쥐를 각각 55마리씩으로 구성하였다.

Table 1. Experimental groups

Group	Class	Treatment groups	Total No. of rats	No. of female rats	No. of male rats
1		Control	110	55	55
2		Electric field (E.F.) exposure	110	55	55
3		Sr ⁹⁰ exposure	110	55	55
4		Sr ⁹⁰ and electric field (E.F.) exposure	110	55	55
		Total	440	220	220

실험기간은 총 11주로 하였고, 실험기간 중 식이와 음용수는 자유롭게 섭취하도록 하였고, 매주마다 각군의 자성 회귀와 음성 회귀를 각각 5마리씩 실험에 사용하였다.

실험동물은 circadian rhythm에 의한 변수를 제거하기 위해 12시간 조명을 하고, 온도 22~25°C와 습도 50~55%가 유지되도록 하였다.

2) 사용시약

모든 시약은 Sigma Co.의 제품을 사용하였다.

(1) Dulbecco's phosphate buffer solution(PBS buffer)

0.2 g의 KCl, 0.2 g의 KH₂PO₄, 8 g의 NaCl 그리고 2.16 g의 Na₂HPO₄·7H₂O을 1l의 탈이온수에 녹여서 사용하였다.

(2) 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 1l의 탈이온수에 녹여 사용하였다.

(3) 골수세포의 ODC활성도 측정을 위한 substrate solution

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

② 8 μl의 5 mM L-Ornithine(in 10 mM HCl)

③ 5 μl의 12.5 mM EDTA(pH 7.2, NaOH로 조정)

④ 5 μl의 50 mM DTT(in water)

⑤ 2 μl의 5 mM Pyridoxal-5-phosphate(PLP, in 10 mM NaOH)를 넣고, PBS buffer로 총부피가 0.25 ml이 되도록 맞추어 준다.

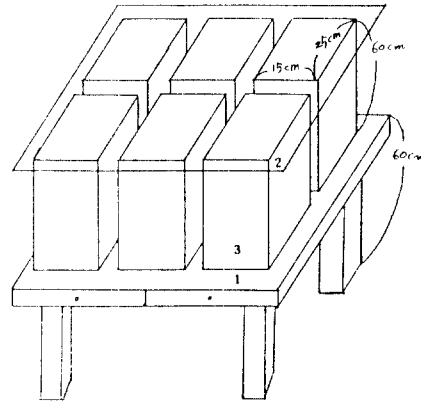
*DTT와 PLP는 frozen stock solution을 사용하였다.

(4) 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) Sr⁹⁰ 투여 및 電界場 照射 方法

(1) 전계장 照射



① High voltage electric-current stand
② An earth plate
③ Cage

Fig. 1. The device of electric field exposure.

전계장 단독폭로군과 Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군에 대하여 실시하였다.

電界場 照射機器는(Fig. 1) 백수생과학연구소에서 제작한 출력전압 6,000 V, 전류 0.03~0.04 A인 극저주파(60 Hz) 교류고압전기장으로 폭로시, 전기로 인한 직접적인 충격이 없도록 고안되었으며, 높은 전압과 낮은 전류의 흐름으로 자기장은 거의 형성되지 않고, 강력한 전계장만이 형성된다.

rat에 조사하기 위해 실험동물간의 간섭이 없도록 아크릴판으로 6개의 격자로 cage를 만들어 각 cage에 한마리씩 넣어 주 6회 매일 일정 시간대에 30분씩 照射하였다.

cage 하부에 고압전극을 형성시키고, 對電極으로 cage 상부의 뚜껑을 사용하였으며, 이들 사이의 간격은 0.6 m로 하였다.

(2) Sr⁹⁰ 폭로

사육장에서 적응시킨 rat가 생후 5주령이 되었을 때, Sr⁹⁰(Amersham Corp., Arlington Height, IL)을

phosphate buffer solution(pH 7.5)으로 희석하여, Spiers의 논문³⁵⁾을 근거로 10주간 지속적 폭로시 체내축적도를 고려하여 10 Gy의 폭로량이 되도록 마리당 681 kbq을 0.15 ml에 맞추어 복강주사로 투여하였다.

(3) Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로

Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군은 생후 5주령이 되는 실험 1주차에 Sr⁹⁰을 복강주사로 투여한 후, 실험 2주차부터 실험 11주차까지 전계장을 조사하였다.

2. 실험방법

전 4군을 대상으로 매주 암컷과 수컷 흰쥐를 각각 5마리씩 무작위로 추출하여 diethyl ether로 마취시킨 후, 개복하여 장기 이상유무를 육안으로 확인하고 배대동맥에서 적당량 채혈하여 혈구 분석시료로 이용하였으며, 간, 신장, 비장을 적출하여 0.9% 식염수로 씻어낸 것을 거름종이에서 수분을 건조시킨 후 중량을 측정하였고, 그 후에 신장과 비장은 Sr⁹⁰ 축적량 분석에 사용하였다. 마지막으로 좌우 대퇴골을 절단하여 골수세포 채취를 위해 사용한 후, Sr⁹⁰ 축적량 분석에 사용하였다.

1) 체중 및 장기 중량 측정

체중은 주 1회 측정하였으며, 매주 각군에서 10마리(암수 각각 5마리)씩 희생시켜, 간, 신장, 비장을 적출하여 그 중량을 측정하였다.

2) 혈구분석

흰쥐의 배대동맥에서 약 5 ml의 혈액을 취하여 EDTA가 포함되어 있는 C.B.C. bottle에 넣어 냉장 보관한 후 24시간 이내에 자동혈액분석기(Celoscope 1260, Analysis instrument AB, Sweden)를 이용하여, 백혈구수, 적혈구수, 혈구용적 및 헤모글로빈치를 분석하였다.

3) 골수세포 채취 및 전처리 방법

ODC활성도 분석에 사용할 골수세포의 채취 및 처리는 Hunt S.V.³⁷⁾의 방법에 따라 다음과 같이 준비하였다. 흰쥐에서 절단한 좌우 대퇴골에서 주변의 살을 제거한 후 양쪽에 각각 3 ml씩의 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 ml를 만들어 두번 더 원심분리한 후에 다시 breaking buffer로 1 ml를 맞춘 다음 sonication(20 mA, 5 sec.)시켜 세포를 터뜨린다. 이 시료를 Supercentrifuge (Dupon Co.제품)에서 15,000 g, 45분간 원심분리한

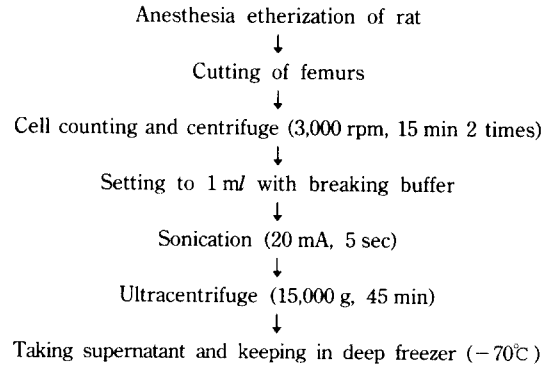


Fig. 2. Separation of bone marrow.

후에 세포액이 들어있는 상층액만을 취하여 deep freezer(-70°C)에 보관하였다.

4) ODC 활성도의 측정



ODC활성도의 측정방법은 Lichti와 Gottesman³⁸⁾의 방법을 변형하여 사용하였으며 간략히 설명하면 다음과 같다.

- ① 24 well plate를 얼음 위에 놓고, substrate solution을 혼합하여 넣고, 미리 계산한 전체 세포수로부터 10⁷ 세포수에 해당하는 시료를 넣는다.
- ② PBS buffer로 각각을 0.25 ml로 맞춘 후, plate를 구멍 뚫린 parafilm으로 덮고 구멍위에 glass filer(직경 7 mm)를 올려 놓는다.
- ③ Glass filer를 0.1 N-hyamine hydroxide로 충분히 적신 후에 온전한 parafilm으로 덮고 37°C에서 흔들면서 1시간 동안 배양한다.
- ④ 다시 24 well plate를 얼음 위에 놓고, 0.1 N-perchloric acid 0.25 ml씩을 주사기로 넣어 반응을 정지시킨 다음 발생된 ¹⁴CO₂가 충분히 포집되도록 37°C에서 흔들면서 30분 동안 배양한다.
- ⑤ Glass filer를 5 ml의 cocktail solution이 담긴 scintillation vial에 넣어 액체섬광측정기(Hewlett Packard Co.)를 이용하여 1분간 방사능을 측정한다.

5) Sr⁹⁰ 축적량 측정

매주마다 얻은 신장, 비장의 중량을 측정하였고, Sr⁹⁰의 특성상 연조직의 축적량이 적다는 연구결과³⁹⁾에 따라 전체 조직을 분석에 사용하였다. 또한, 대

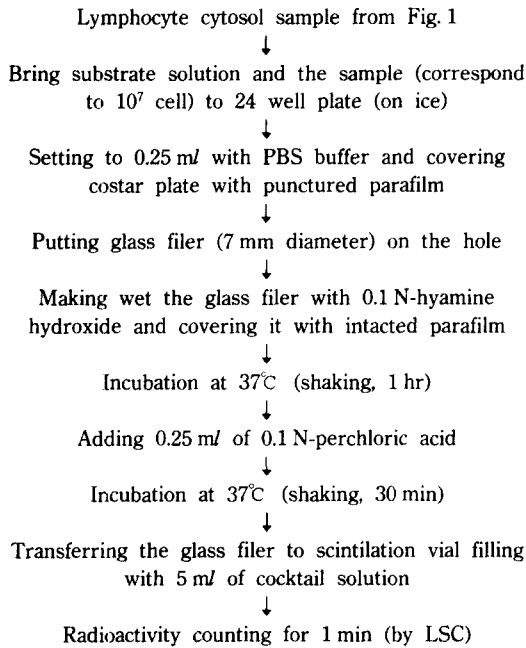


Fig. 3. ODC activity assay from bone marrow of S.D. rat.

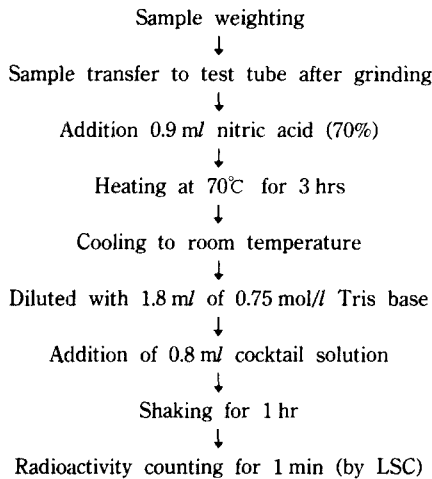


Fig. 4. Analytical procedure on the content of Sr⁹⁰ in kidney, spleen and femur of S.D. rat.

퇴골 내의 Sr⁹⁰ 측정량을 측정하기 위해 대퇴골 일부의 중량을 측정한 후, Davis³⁸⁾의 방법을 약간 변형하여 Fig. 4의 방법으로 전처리한 후, 액체섬광측정기로 방사능을 측정하였다.

3. 통계 처리

실험에서 얻은 결과는 서울대학교 전산소의 SAS

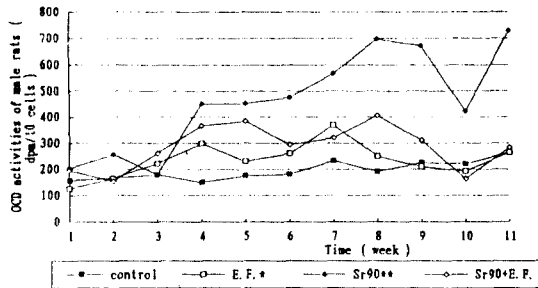


Fig. 5. ODC activity changes of male rats.

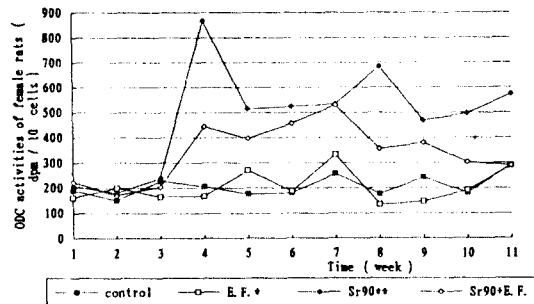


Fig. 6. ODC activity changes of female rats.

program을 이용하여, GLM test를 실시한 후, 유의한 군들 사이의 차이에 대하여 Dunnett's t-test를 실시하였으며, Sr⁹⁰의 신장, 비장 및 대퇴골의 축적량에 대한 결과는 Student t-test로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. ODC활성도의 변화

Ornithine decarboxylase(ODC)는 포유동물 세포의 증식과 분화에 필수적인 polyamine의 합성반응에서의 제한효소이며, 세포의 성장과 DNA 합성에 필수적인 효소이다. 임상적으로 다양한 실험에 의해 ODC활성도의 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.⁴⁰⁾

이러한 사실에 입각하여, 본 실험에서는 Sr⁹⁰의 골수 발암성의 작용 과정과 이 이온화 방사선에 의한 발암과정에서 전계장의 영향에 대한 지표로서 ODC의 활성도를 측정하였다. 본 실험에 의해 측정된 각 군의 ODC활성도의 변화는 Fig. 5, 6 그리고 Table 2, 3에 나타내었다.

Table 2. ODC activity of male rats by week

(Unit : DPM)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	157.4± 30.7	125.3± 21.2	203.1± 5.0	195.4± 18.1
2	167.3± 23.6	164.7± 44.6	257.6± 59.5	155.2± 35.2
3	178.7± 20.0	223.4± 36.1	179.5± 41.8	262.0± 23.7
4	150.2± 24.4	298.3± 38.7	449.6± 15.0	366.0± 68.7
5	176.1± 50.2	231.5± 37.7	453.1± 38.2	384.4± 64.7
6	180.6± 56.6	261.2± 20.2	474.9± 95.1	294.4± 34.3
7	233.7± 68.4	368.6± 73.3	566.0± 70.0	320.2± 82.2
8	192.1± 12.2	251.8± 37.0	697.4± 85.1	406.2± 27.3
9	225.7± 62.2	210.3± 41.8	671.6± 88.3	311.7± 95.5
10	221.2± 84.5	193.2± 46.6	421.6± 55.1	163.8± 41.0
11	266.7± 13.6	265.0± 24.3	729.3± 37.7	284.4± 76.2

Each value represents the Mean± S.D.

Table 3. ODC activity of female rats by week

(Unit : DPM)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	190.4± 25.5	160.0± 33.2	206.9± 50.8	223.2± 55.0
2	150.3± 13.7	200.2± 45.0	179.7± 33.0	170.6± 18.5
3	227.3± 42.9	164.5± 31.7	240.1± 42.6	203.9± 41.7
4	205.6± 12.8	167.5± 53.5	866.2± 60.4	444.0± 54.3
5	176.2± 50.2	270.8± 63.1	514.4± 62.0	397.4± 84.7
6	180.6± 56.6	186.9± 62.0	524.3± 58.5	456.5± 63.9
7	256.9± 107.4	332.7± 16.4	533.2± 106.5	529.7± 85.0
8	176.7± 27.1	135.4± 26.8	684.4± 45.8	355.2± 38.7
9	242.2± 39.9	146.7± 26.7	467.7± 84.4	380.1± 97.2
10	180.9± 77.9	190.7± 60.0	496.3± 35.8	303.8± 45.7
11	290.5± 74.1	289.1± 19.9	573.9± 94.8	289.8± 57.8

Each value represents the Mean± S.D.

본 실험에서 흰쥐들의 ODC활성도 변화는 음성과 양성 흰쥐가 같은 결과를 나타내었는데, Sr⁹⁰ 단독 폭로군은 대조군에 비하여 최고 3배 정도의 높은 ODC활성도를 나타내어(p<0.05), Sr⁹⁰이 골수성 발암원으로서 작용하였음을 확인할 수 있었다.

1) 대조군과 전계장 단독폭로군의 ODC 활성도 변화

대조군의 ODC활성도는 암수 모두 150~300 dpm의 수준을 유지하였고, 본 실험에서 설정한 기간(생후 5~16주)이 흰쥐에 있어서 성장이 매우 활발히 일어나는 성장기인 점을 고려하면, ODC활성도가 비교적 안정되어 있는 것을 알 수 있다.

전계장 단독폭로군의 경우도 암,수 모두 대조군과 유의한 차이가 없었으며(p<0.05), 전 실험기간을 통하여 안정된 ODC활성도를 나타내었다. 이와 같은 결과는 전자장(electromagnetic field)에 의해 ODC활성도가 증가되었다는 Buys 등⁴¹⁾의 연구결과와

다른 것으로서 전자장에의 폭로와 전계장(electric field)의 단독폭로시에 생체에 영향이 상반되는 결과로 나타났다. 이러한 결과로 전계장과 자장이 동시에 작용하는 경우와 전계장만이 작용하였을 경우에 생체의 반응이 같지 않은 것으로 판단된다.

본 실험의 결과로 전계장 단독으로는 흰쥐에서 골수성 발암성이 없다는 결론을 내릴 수 있으나, 다른 신체 부위의 발암과정에 미치는 영향에 대한 이후의 지속적인 연구와 인체를 대상으로 하는 임상실험이 뒷받침 되어야 할 것이다.

2) Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군의 ODC활성도 변화

본 실험의 측정결과, Sr⁹⁰ 단독폭로군은 실험 5주차 이후부터 ODC활성도가 증가하기 시작하여 수컷의 경우 실험 9주차에 최고치인 697.4 dpm을 나타내었고, 암컷은 실험 5주차에 최고치인 866.2 dpm의 ODC 활성도를 나타내었다. Sr⁹⁰ 단독폭로

군에서는 암수 모두 실험 5주차 이후의 전 실험기간에 걸쳐 대조군에 비해 최소 0.5%에서 최고 76.0%가, Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군에 비해서는 최소 0.7%에서 최고 49.0%의 ODC 활성도가 증가된 것으로 측정되었다(p<0.05).

Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군은 Sr⁹⁰ 단독폭로군에 비하여 유의하게 낮은 ODC활성도를 나타내었으나(p<0.05), Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군 역시 암수 모두 실험 5주차 이후에 ODC활성도가 증가하기 시작하여 Sr⁹⁰ 단독폭로군과 일치하는 증가 주기를 나타내었다.

이러한 결과를 살펴볼 때, 본 실험의 결과는 발암성 화학물질을 처리한 후 전자장(electromagnetic field)을 폭로한 흰쥐의 ODC활성이 현저하게 증가한다고 보고했던 Adey의 연구⁴⁾와는 반대되는 결과로써, 전계장(electric field)의 단독폭로는 전계장과 자장이 복합적으로 폭로되는 전자장과는 달리 어떤 발암원에 의한 ODC활성도의 증가량을 감소시키는 역할, 즉, 방사선에 의한 발암발생을 억제하는 형태로 관여하고 있는 것으로 볼 수 있다.

2. 체중, 장기별 체중 및 혈구 변화

1) 체중 변화

각 군의 체중 변화는 Fig. 7, 8 그리고 Table 4, 5에 나타낸 바와 같이 수컷과 암컷 공히 대조군에 비하여 다른 3군 모두 유의하게 체중이 저하되었으며(p<0.05), Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰과 전계장 동시폭로군 사이에는 유의한 차이를 볼수 없었다(p>0.05).

전계장의 단독폭로군의 경우는 대조군보다 체중의 증가량이 약간 감소한 것으로 나타났으며, Sr⁹⁰의

단독폭로군, Sr⁹⁰과 전계장의 동시폭로군의 체중 증가량이 약간 높은 것으로 나타나고 있어(p<0.05), 전계장이 흰쥐의 체중 증가를 저해하는 정도는 Sr⁹⁰에 비해서 적은 것으로 나타났다.

2) 체중 증량의 변화

간, 신장과 비장의 12주간의 중량의 변화는 각각 Table 6~11에 나타내었다. 수컷과 암컷 흰쥐에서 간, 신장 그리고 비장의 중량 변화를 살펴보면, 실험

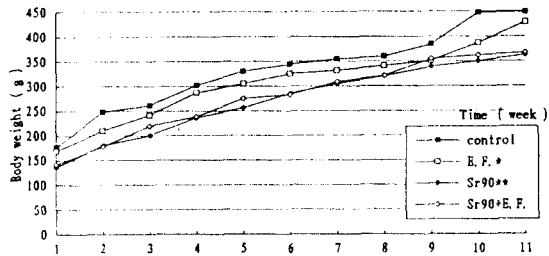


Fig. 7. Body weight change of male rats.

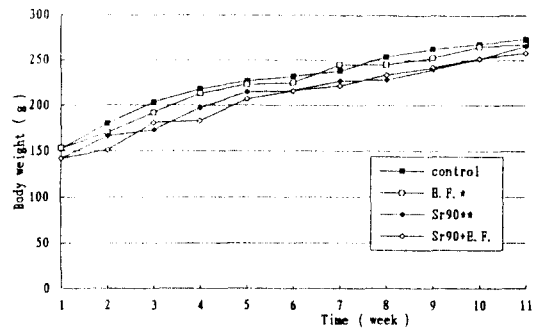


Fig. 8. Body weight change of female rats.

Table 4. Body weight of male rats by week

(Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	176.3± 17.8	168.8± 7.4	136.3± 9.6	141.0± 13.2
2	247.5± 26.1	210.0± 7.1	180.0± 15.8	178.0± 11.2
3	261.3± 16.2	241.7± 31.2	200.0± 20.5	219.0± 16.0
4	301.7± 26.3	286.7± 29.0	236.0± 14.6	238.0± 11.2
5	330.0± 19.7	305.0± 25.0	256.3± 21.3	275.0± 13.8
6	343.8± 14.7	325.0± 17.8	285.0± 24.8	283.0± 19.7
7	355.0± 22.7	331.7± 16.5	305.0± 25.9	308.8± 25.6
8	360.0± 21.6	341.0± 20.8	320.0± 25.0	321.3± 22.3
9	385.0± 24.9	351.0± 16.3	338.8± 28.1	355.0± 22.7
10	448.0± 21.1	387.0± 25.6	347.5± 27.2	362.5± 16.2
11	449.7± 4.9	428.8± 7.4	362.5± 18.8	370.0± 24.7

Each value represents the Mean± S.D.

Table 5. Body weight of female rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	152.5± 9.0	153.0± 7.5	142.0± 9.3	142.0± 15.4
2	180.0± 10.0	170.0± 7.1	166.0± 14.0	151.0± 6.6
3	203.3± 18.2	192.0± 9.3	173.0± 14.4	181.0± 19.3
4	218.0± 8.1	213.0± 11.2	197.0± 8.7	183.0± 16.9
5	227.0± 16.0	223.0± 19.7	215.0± 6.3	207.0± 13.6
6	232.0± 18.3	225.0± 8.9	216.0± 11.9	216.3± 8.5
7	238.0± 16.6	245.0± 9.6	227.0± 17.2	221.7± 13.1
8	254.0± 17.7	245.0± 4.1	228.3± 24.0	234.0± 10.7
9	262.5± 14.4	252.5± 10.3	240.0± 12.3	242.0± 10.3
10	268.0± 9.3	265.0± 24.3	251.0± 20.1	251.7± 14.3
11	273.8± 9.6	267.5± 10.3	268.8± 27.9	258.8± 15.0

Each value represents the Mean± S.D.

Table 6. Liver weight of male rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	7.71± 1.16	8.81± 1.68	7.95± 1.20	6.89± 1.51
2	10.79± 1.08	11.19± 0.64	9.84± 0.44	8.74± 0.66
3	11.71± 1.46	10.66± 1.77	9.59± 0.68	10.13± 1.05
4	11.63± 1.46	10.16± 1.38	10.78± 0.64	11.41± 0.62
5	12.01± 0.78	11.28± 1.16	10.22± 1.55	10.32± 0.91
6	12.43± 0.77	11.30± 1.57	11.87± 1.85	10.44± 0.81
7	12.46± 1.56	10.61± 0.54	11.05± 0.93	11.49± 1.67
8	12.61± 0.81	10.93± 0.72	11.74± 1.27	11.54± 1.29
9	13.12± 0.97	11.93± 1.11	11.62± 1.14	13.08± 1.37
10	15.36± 1.46	14.75± 1.95	11.99± 2.44	12.08± 0.98
11	15.69± 1.16	13.75± 0.85	12.60± 2.06	12.31± 1.81

Each value represents the Mean± S.D.

Table 7. Liver weight of female rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	6.55± 2.12	7.12± 0.59	6.81± 0.81	6.99± 0.81
2	8.08± 0.15	8.12± 0.55	8.28± 0.33	7.94± 1.00
3	8.35± 0.61	8.45± 0.46	8.28± 0.71	8.23± 0.22
4	8.79± 0.77	8.50± 0.73	8.05± 0.55	8.30± 0.76
5	8.74± 0.62	8.70± 0.36	8.22± 1.19	8.37± 0.72
6	8.82± 0.38	8.68± 0.22	8.17± 0.26	8.57± 0.90
7	8.83± 0.63	8.72± 0.57	9.28± 0.66	8.38± 0.11
8	8.84± 0.97	8.84± 0.85	8.97± 0.58	8.77± 0.47
9	8.91± 0.51	9.03± 0.29	9.09± 0.69	8.73± 1.09
10	9.05± 0.38	9.04± 0.84	8.74± 0.99	8.27± 0.01
11	9.22± 0.53	9.18± 0.32	9.57± 0.75	9.01± 0.54

Each value represents the Mean± S.D.

대상의 각 군 사이의 장기중량 증가상의 유의한 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$).

방사선을 全身 照射하면, 脾臟에서는 4단계의 변

화가 나타나는데 첫째는, 여러 조직이 파괴되는 단계로 이때 거의 모든 림프구가 파괴된다. 다음에는, 세포의 죽은 파편들이 제거되는데 이때 비장의 크

Table 8. Kidney weight of male rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	1.46±0.27	1.58±0.06	1.40±0.33	1.44±0.28
2	1.80±0.34	2.02±0.21	1.73±0.37	1.60±0.22
3	2.40±0.57	2.19±0.44	1.73±0.23	1.70±0.21
4	2.09±0.45	2.11±0.21	1.99±0.26	1.99±0.30
5	2.61±0.16	2.04±0.07	2.04±0.34	2.22±0.17
6	2.69±0.27	2.49±0.34	2.22±0.36	1.98±0.07
7	2.54±0.45	2.17±0.17	2.26±0.31	2.33±0.26
8	2.45±0.26	2.34±0.34	2.32±0.24	2.35±0.32
9	2.48±0.28	2.42±0.22	2.60±0.17	2.79±0.32
10	3.00±0.27	2.94±0.27	2.62±0.46	2.61±0.06
11	2.96±0.14	2.87±0.11	2.61±0.41	2.61±0.23

Each value represents the Mean±S.D.

Table 9. Kidney weight of female rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	1.27±0.28	1.46±0.14	1.50±0.03	1.39±0.12
2	1.61±0.06	1.47±0.23	1.47±0.10	1.43±0.12
3	1.61±0.21	1.56±0.11	1.51±0.14	1.55±0.05
4	1.82±0.21	1.81±0.27	1.42±0.04	1.52±0.14
5	1.73±0.10	1.57±0.08	1.59±0.22	1.51±0.08
6	1.63±0.20	1.55±0.10	1.59±0.19	1.50±0.18
7	1.59±0.29	1.76±0.16	1.73±0.20	1.58±0.10
8	1.62±0.19	1.73±0.12	1.79±0.17	1.81±0.47
9	1.70±0.08	1.74±0.08	1.75±0.16	1.71±0.18
10	1.66±0.15	1.80±0.22	1.58±0.17	1.61±0.14
11	1.74±0.06	1.73±0.18	1.87±0.08	1.72±0.08

Each value represents the Mean±S.D.

Table 10. Spleen weight of male rats by week (Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	0.73±0.15	0.17±0.11	0.56±0.19	0.71±0.12
2	1.04±0.21	0.86±0.27	0.72±0.11	1.00±0.11
3	1.10±0.14	0.96±0.08	0.98±0.26	1.40±0.16
4	1.28±0.22	0.99±0.24	1.31±0.08	1.42±0.27
5	1.30±0.19	1.02±0.17	1.26±0.23	1.28±0.17
6	1.25±0.04	0.96±0.18	1.34±0.14	1.13±0.15
7	1.34±0.01	1.07±0.20	1.10±0.09	1.15±0.09
8	1.14±0.23	1.16±0.25	1.22±0.22	1.27±0.22
9	1.27±0.27	1.30±0.24	1.18±0.05	0.91±0.27
10	1.79±0.21	1.55±0.15	1.31±0.31	1.10±0.15
11	1.74±0.07	1.26±0.26	1.31±0.06	1.81±1.06

Each value represents the Mean±S.D.

기가 축소되고 망상세포가 주로 발견된다. 그 다음 단계로 비장의 기능이 정지되는 시기인데 망상세포들이 강화되고, 회복기미를 보이기 시작하여 마지막

단계에서는왕성한 세포 분열이 일어나 회복된다. 조사된 방사선량에 따라 차이가 있지만 처음 두 단계는 수시간 내에 일어나고 세번째 단계는 수 일,

Table 11. Spleen weight of female rats by week

(Unit : g)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	0.80± 0.03	0.63± 0.12	0.45± 0.05	0.43± 0.07
2	0.60± 0.07	0.58± 0.11	0.49± 0.05	0.59± 0.13
3	0.57± 0.11	0.51± 0.13	0.52± 0.06	0.63± 0.11
4	0.58± 0.06	0.62± 0.09	0.46± 0.16	0.58± 0.10
5	0.52± 0.07	0.55± 0.05	0.47± 0.05	0.51± 0.09
6	0.58± 0.15	0.61± 0.14	0.73± 0.19	0.46± 0.10
7	0.43± 0.09	0.58± 0.12	0.47± 0.05	0.47± 0.11
8	0.39± 0.02	0.54± 0.05	0.73± 0.13	0.84± 0.13
9	0.57± 0.10	0.46± 0.14	0.70± 0.13	0.71± 0.08
10	0.74± 0.12	0.71± 0.01	0.39± 0.04	1.19± 0.13
11	0.83± 0.18	1.11± 0.27	0.52± 0.10	1.26± 0.28

Each value represents the Mean± S.D.

Table 12. White blood cell number of male rats by week(Unit : 10³ cell/ μ l)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	11.1± 1.1	10.8± 0.3	5.5± 1.5	7.2± 1.7
2	9.2± 1.1	7.0± 1.3	2.8± 0.4	7.0± 1.4
3	9.7± 1.0	10.7± 2.1	4.4± 1.2	5.7± 1.3
4	10.2± 1.3	9.1± 2.1	3.2± 1.1	5.8± 0.7
5	9.8± 1.0	7.8± 1.9	5.5± 1.2	6.4± 1.2
6	12.2± 2.2	11.9± 2.4	6.2± 0.5	6.7± 1.6
7	10.0± 2.3	6.7± 1.1	7.1± 1.0	7.8± 2.4
8	11.7± 2.4	8.1± 1.7	10.8± 2.8	12.1± 2.6
9	13.0± 0.7	11.4± 2.6	8.7± 1.7	9.2± 2.1
10	17.8± 1.2	8.4± 1.0	7.0± 2.9	11.3± 3.0
11	15.9± 1.0	17.1± 1.4	7.4± 0.6	12.5± 2.8

Each value represents the Mean± S.D.

Table 13. White blood cell number of female rats by week(Unit : 10³ cell/ μ l)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	8.7± 0.9	11.8± 1.2	6.0± 1.0	5.2± 1.2
2	7.2± 0.3	4.8± 0.2	3.3± 1.1	3.2± 0.2
3	9.1± 0.6	5.6± 1.2	3.7± 0.7	4.4± 1.0
4	7.4± 1.2	6.7± 0.9	3.5± 1.6	4.2± 0.9
5	12.3± 3.0	10.5± 1.8	2.9± 0.5	5.5± 1.3
6	10.9± 3.0	10.2± 1.4	4.2± 0.5	5.9± 1.2
7	10.6± 0.9	8.5± 1.8	5.5± 1.5	4.3± 0.5
8	9.6± 2.8	12.6± 3.1	9.7± 1.3	8.1± 2.6
9	8.2± 2.7	15.0± 2.1	5.8± 1.3	4.0± 0.7
10	10.4± 3.0	17.6± 2.6	4.0± 0.6	6.9± 1.2
11	11.8± 1.8	16.9± 1.3	8.2± 2.9	14.2± 1.7

Each value represents the Mean± S.D.

그리고 네번째 단계는 수 주 정도 걸린다.⁴²⁾ 즉, 고 선량의 방사선에 전신 조사되면 초기에는 비장이 축소되고 시간이 지남에 따라 회복되는 것이 일반

적인 현상인데, 본 연구에서는 골수성 발암을 일으키기 위한 선량을 Sr⁹⁰을 이용하여 照射하였고, 이 선량은 흰쥐에 있어서 다른 신체 부위의 발암에

Table 14. Red blood cell number of male rats by week (Unit : 10^8 cell/ μ l)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	7.25 ± 0.47	7.07 ± 0.94	7.59 ± 0.46	7.25 ± 0.83
2	7.11 ± 0.44	6.88 ± 0.50	6.81 ± 1.22	6.62 ± 0.56
3	6.95 ± 0.56	7.38 ± 0.38	6.73 ± 0.74	5.43 ± 1.43
4	6.39 ± 0.30	7.40 ± 0.38	6.29 ± 0.43	5.85 ± 0.72
5	7.36 ± 0.34	7.68 ± 0.32	6.08 ± 0.40	5.91 ± 0.63
6	7.96 ± 0.20	7.32 ± 0.22	6.35 ± 0.53	6.50 ± 0.76
7	7.87 ± 0.37	6.85 ± 0.35	6.94 ± 0.85	6.72 ± 0.56
8	7.38 ± 0.55	7.28 ± 0.46	6.90 ± 0.93	7.11 ± 0.50
9	7.68 ± 0.68	7.02 ± 0.18	6.87 ± 0.75	7.21 ± 0.32
10	7.27 ± 0.23	6.27 ± 0.67	7.03 ± 0.60	6.55 ± 0.29
11	7.77 ± 1.38	7.20 ± 0.90	6.63 ± 0.92	6.61 ± 1.06

Each value represents the Mean ± S.D.

Table 15. Red blood cell number of female rats by week (Unit : 10^8 cell/ μ l)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	7.77 ± 0.64	6.72 ± 0.54	6.06 ± 0.90	7.86 ± 0.29
2	5.83 ± 1.20	5.62 ± 0.46	6.96 ± 0.22	7.33 ± 0.47
3	6.15 ± 0.44	5.15 ± 0.73	6.66 ± 0.99	7.29 ± 0.66
4	6.29 ± 0.26	6.60 ± 0.69	3.99 ± 0.54	3.73 ± 0.49
5	7.90 ± 0.75	7.53 ± 0.22	5.26 ± 0.94	5.01 ± 0.27
6	7.57 ± 0.74	7.36 ± 0.25	6.57 ± 0.74	5.70 ± 0.41
7	7.87 ± 0.39	7.64 ± 0.21	7.14 ± 0.87	6.78 ± 0.78
8*	8.07 ± 0.45	8.06 ± 0.80	6.06 ± 0.49	6.40 ± 0.39
9	8.03 ± 0.56	6.82 ± 0.26	6.52 ± 0.28	5.98 ± 0.22
10	7.69 ± 0.88	6.52 ± 0.72	5.18 ± 0.49	4.93 ± 0.70
11	7.40 ± 0.35	6.59 ± 0.81	7.12 ± 0.33	5.29 ± 1.04

Each value represents the Mean ± S.D.

Table 16. Hematocrit of male rats by week (Unit : %)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	44.9 ± 1.7	42.9 ± 2.5	43.4 ± 2.0	45.8 ± 2.6
2	37.1 ± 7.2	41.8 ± 3.8	43.5 ± 6.0	44.9 ± 5.5
3	40.3 ± 3.3	43.2 ± 5.0	37.1 ± 7.3	37.5 ± 5.1
4	29.1 ± 5.1	36.5 ± 5.1	27.7 ± 5.2	34.9 ± 3.2
5	34.8 ± 5.8	39.5 ± 2.4	35.5 ± 3.0	37.6 ± 1.4
6	43.7 ± 3.1	37.4 ± 1.6	38.4 ± 5.2	37.6 ± 4.0
7	42.9 ± 5.8	40.1 ± 4.5	41.2 ± 5.4	37.8 ± 3.9
8	40.6 ± 5.9	42.3 ± 5.5	40.9 ± 7.6	39.1 ± 3.4
9	36.3 ± 6.6	36.0 ± 1.1	36.0 ± 4.9	38.6 ± 3.0
10	46.7 ± 5.8	37.7 ± 5.6	41.8 ± 5.7	35.9 ± 3.3
11	43.4 ± 9.7	37.3 ± 1.6	37.7 ± 5.7	38.3 ± 4.7

Each value represents the Mean ± S.D.

필요한 선량과 비교할 때 상대적으로 적기 때문에 초기의 비장 중량이 감소되는 변화가 관찰되지 않은 것으로 생각된다.

3) 혈구분석의 결과

혈구분석의 결과는 Table 12~19에 나타내었다. 전반적으로 자료의 뚜렷한 추이가 나타나기 보다

Table 17. Hematocrit of female rats by week

(Unit : %)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	41.8± 4.3	42.5± 3.6	43.4± 1.6	44.3± 1.6
2	35.1± 6.8	33.2± 2.4	43.7± 1.4	45.7± 3.0
3	36.1± 2.6	29.5± 4.8	39.7± 7.6	43.7± 5.3
4	33.8± 2.2	39.4± 5.6	30.2± 4.0	27.4± 4.7
5	42.9± 4.6	41.9± 3.0	29.4± 4.5	31.6± 4.7
6	40.8± 4.8	41.1± 3.5	36.5± 7.7	39.8± 4.5
7	42.2± 3.9	44.6± 1.2	41.9± 5.7	41.2± 7.5
8	47.6± 5.3	45.1± 6.1	38.4± 2.5	37.6± 4.4
9	44.3± 4.1	25.4± 5.0	38.5± 1.2	39.6± 2.5
10	44.2± 4.8	24.7± 3.7	46.0± 1.6	38.2± 4.6
11	45.4± 3.7	37.0± 7.1	42.2± 0.5	36.7± 5.3

Each value represents the Mean± S.D.

Table 18. Hemoglobin of male rats by week

(Unit : g/dl)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	15.6± 0.7	15.6± 1.3	15.0± 1.1	14.8± 1.0
2	16.1± 1.5	16.3± 3.5	14.5± 1.1	13.9± 0.7
3	19.6± 0.7	17.8± 3.3	15.2± 1.3	15.8± 2.3
4	17.1± 1.2	17.3± 4.2	16.5± 1.9	16.3± 2.6
5	17.8± 1.4	17.6± 3.1	17.1± 1.5	17.3± 1.7
6	17.7± 1.9	17.6± 1.9	17.1± 2.2	17.8± 2.6
7	14.6± 0.2	13.8± 0.5	17.4± 1.2	16.7± 1.9
8	14.8± 0.7	14.8± 1.0	14.0± 1.3	14.4± 0.6
9	14.3± 0.9	12.6± 1.0	13.9± 1.1	14.7± 1.1
10	16.0± 1.4	12.6± 1.0	14.9± 1.5	13.7± 1.2
11	15.9± 0.2	13.7± 2.1	14.2± 1.4	13.7± 1.7

Each value represents the Mean± S.D.

Table 19. Hemoglobin of female rats by week

(Unit : g/dl)

Week	Control	Electric field	Sr ⁹⁰	Sr ⁹⁰ and electric field
1	14.4± 1.4	14.3± 1.1	14.9± 0.8	16.0± 0.7
2	15.6± 1.6	16.5± 1.2	13.8± 0.6	13.9± 0.6
3	14.9± 1.9	16.3± 1.5	15.6± 2.3	15.0± 1.7
4	15.5± 1.8	18.1± 1.3	16.2± 2.0	15.2± 0.8
5	17.1± 1.1	16.5± 1.6	15.5± 1.8	17.1± 2.2
6	16.0± 1.3	16.0± 1.3	14.9± 2.4	15.9± 2.2
7	15.9± 2.1	14.4± 0.4	17.8± 1.5	17.0± 1.9
8	15.3± 0.5	14.7± 0.7	13.5± 0.7	13.8± 1.1
9	14.8± 0.5	13.6± 1.8	13.6± 0.3	14.3± 0.6
10	14.6± 0.9	14.4± 0.3	14.9± 0.4	12.0± 0.8
11	14.8± 0.5	13.0± 1.6	14.5± 1.2	13.6± 1.1

Each value represents the Mean± S.D.

는 상당히 유동적인 양상을 보였으나, Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군의 경우는 대조군에 비하여 백혈구수가 유의하게 감소된 것이 관찰되었

다(p<0.05). 또한, Sr⁹⁰ 단독폭로군의 경우 수컷에서는 Sr⁹⁰와 전계장의 복합폭로군에 비해 더 적은 백혈구수가 측정되었다(p<0.05). Sr⁹⁰의 투여에 의해

백혈구수가 폭로 초기에 매우 감소하는 결과를 보고한 Davis의 연구³⁸⁾에서 Sr⁹⁰를 흰쥐에 주입한 후, 말초 혈액내의 백혈구수 변화를 측정된 결과와 전반적으로 일치하는 결과가 나타났으며, Jacobson 등³⁹⁾의 연구결과와도 같은 경향을 나타내었다.

그 이외의 적혈구수와 혈구용적 및 헤모글로빈치의 변화에서 각 군간의 유의한 차이는 관찰되지 않았고(p>0.05), 실험기간 전반에 걸쳐 일정하게 증가하거나 감소하지 않고, 일정한 범위 내에서 유동적으로 변화하는 값을 나타내었다. 이러한 결과는 Jacobson 등³⁹⁾의 연구결과와 일치하는 것으로, 적혈구수, 혈구용적 그리고 헤모글로빈치의 경우는 단기간의 방사선 폭로에 의한 영향이 나타나지 않는 것이 알려져 있다.

3. 장기별 Sr⁹⁰ 축적량 분석

Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군에 대해 마리당 681 kbbq의 양을 복강내로 PBS에 희석하여 투여한 것을 투여후 1주 이후부터 11주까지 매주 각 군에서 암수 각각 5마리씩을 취하여 실시하였다. 흰쥐에서 얻은 대퇴골과 신장, 비장을 무게를 측정된 후에 Fig. 4의 전처리를 거쳐 LSC로 방사능을 대퇴골은 cpm/mg단위로, 신장과 비장은 cpm/g단위로 각각 측정하였다.

1) 대퇴골에서의 Sr⁹⁰ 축적량

총 실험기간 11주 동안의 대퇴골에서의 Sr⁹⁰ level의 변화는 Table 20과 Fig. 9, 10에 각각 나타내었다. Sr⁹⁰은 그 화학적, 물리적 특성상 대부분(약 90%)가 뼈에 축적되는 것으로 알려져 있으므로 다른

연조직에 비하여 상당히 높은 양이 측정될 것으로 예상되었고, 결과는 이러한 예상과 일치하는 것으로서 대퇴골에서의 Sr⁹⁰ 축적량은 실험 11주차의 결과를 비교하여 볼 때, 신장과 비장에 비해 약 20배

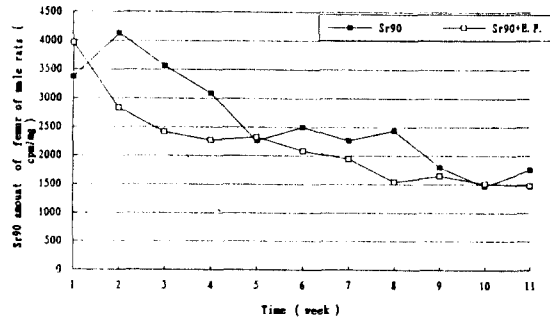


Fig. 9. Sr⁹⁰ level of male rats in the femur.

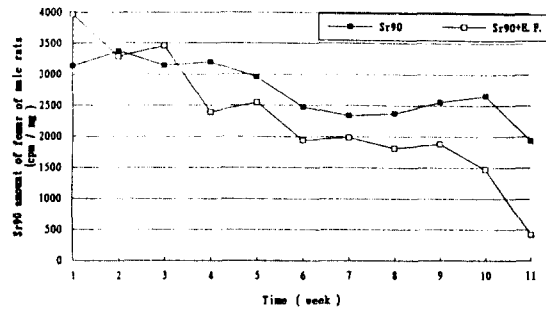


Fig. 10. Sr⁹⁰ level of female rats in the femur.

Table 20. Sr⁹⁰ level in femur

(Unit : cpm/mg)

Weeks	Female		Male	
	Sr ⁹⁰ ^a	E + Sr ⁹⁰ ^b	Sr ⁹⁰ ^a	E + Sr ⁹⁰ ^b
1	3132.2 ± 100.6	3967.5 ± 544.6	3367.5 ± 293.3	3962.8 ± 457.4
2	3374.7 ± 545.4	3286.4 ± 498.4	4131.2 ± 413.3	2831.9 ± 467.2
3	3142.1 ± 264.1	3458.2 ± 342.0	3561.8 ± 639.0	2417.6 ± 60.7
4	3196.6 ± 102.3	2392.5 ± 77.5	3090.5 ± 533.2	2272.4 ± 609.9
5	2956.9 ± 368.9	2550.0 ± 379.9	2260.2 ± 262.8	2324.4 ± 318.0
6	2476.1 ± 495.9	1944.4 ± 215.2	2502.4 ± 616.0	2088.2 ± 418.0
7	2336.6 ± 633.6	1985.6 ± 198.7	2262.7 ± 661.5	1944.3 ± 504.1
8	2374.5 ± 673.8	1811.9 ± 423.0	2437.5 ± 465.7	1540.9 ± 359.3
9	2559.2 ± 595.5	1883.8 ± 446.6	1801.2 ± 270.9	1648.2 ± 362.6
10	2659.0 ± 216.0	1474.7 ± 666.0	1465.6 ± 195.3	1515.3 ± 217.2
11	1934.3 ± 664.4	421.4 ± 93.2	1758.0 ± 222.8	1476.4 ± 236.2

Each value represents the Mean ± S.D.

^aSr⁹⁰ only exposure group, ^bElectric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group.

정도 많은 양이 측정되었다.

Sr⁹⁰ 단독폭로군의 경우 평균 축적량이 수컷은 2603.5 cpm/mg, 암컷은 2740.2 cpm/mg으로 나타나, 암컷이 수컷보다 약간 많은 축적량이 측정되었으나 암수간의 유의한 차이는 없었다(p>0.05). 실험결과를 살펴보면, 실험 1주차의 Sr⁹⁰ 측정량이 암컷의 경우 3132.2 cpm/mg이고, 수컷이 3367.5 cpm/mg이었는데, 실험 마지막 주인 11주차에 암수 각각 1934.4 cpm/mg과 1758.0 cpm/mg으로 측정되어 실험 11주차의 Sr⁹⁰의 대퇴골내 축적량이 실험 1주차에 비해 1/3 정도의 양이 감소한 것으로 나타났다.

한편, Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군을 보면, 평균 축적량은 수컷이 2183.9 cpm/mg, 암컷이 2288.8 cpm/mg으로 Sr⁹⁰ 단독폭로군에 비해 유의하게 낮은 것으로 나타났으며(p<0.05), 실험 첫주의 Sr⁹⁰ 축적량이 암컷이 3967.5 cpm/mg, 수컷이 3962.8 cpm/mg으로서 Sr⁹⁰ 단독폭로군보다 다소 많은 양이 측정되었는데, 실험 11주차에 이르러서 암컷 421.4 cpm/mg, 수컷 1476.4 cpm/mg으로 나타나 Sr⁹⁰ 단독폭로군보다 현저히 적은 것을 알 수 있다.

Jacobson 등³⁹⁾은 radiostromium을 생체에 주입하면 처음 3일 동안에 가장 많은 양의 Sr이 배출되고 10~15일 이후에는 거의 배출되지 않으며, 평균 축적량이 Sr⁹⁰의 경우 주입량의 45% 정도라고 보고하였는데, 본 실험에서는 대퇴골의 Sr⁹⁰ 축적량이 주입 후 15일이 되는 2주차 이후에도 계속 감소한 것으로 나타났다.

2) 신장에서의 Sr⁹⁰ 축적량

신장에서의 축적량은 Table 21에 나타내었다. 신장에서의 축적량은 그 자체내에 축적되는 양과 배설

경로를 통해 축적되는 것으로 구분할 수 있는데, Sr⁹⁰은 연조직에서의 축적량이 전체 축적량의 0.1% 미만이며, 2주 정도에 거의 모든 배출이 이루어지며 이는 주로 신장을 통해 이루어진다고 한다.³⁹⁾ 따라서, 실험기간 1주차에서 3주차까지의 높은 축적량은 배설을 위해 신장에 Sr⁹⁰이 모인 것으로 볼 수 있을 것이다.

신장에서는 대퇴골과는 다소 다른 양상으로 나타났는데, 축적량 감소는 Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군간의 유의한 차이가 없었고(p>0.05), 4주차 이후부터 급격히 Sr⁹⁰ 축적량이 감소되었음이 관찰되었다. Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군은 Sr⁹⁰ 단독폭로군과 비교할 때, 6주 이후에 그 축적량이 다소 증가하였으나 증가량의 유의한 차이는 없었다(p>0.05).

본 실험에서는 중금속에 해당하는 Sr이 일반적인 중금속과 마찬가지로 대부분의 양이 신장을 통하여 체외로 배설되고, 이 배설과정을 전계장이 촉진하는 것이 전계장의 Sr⁹⁰의 골수 발암성 억제 기작일 것으로 예상하였으나, 신장에서의 Sr⁹⁰ 축적량이 Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군과 Sr⁹⁰ 단독폭로군간에 차이가 없는 것으로 나타나서 전계장의 발암억제(ODC 활성도 감소)작용이 어떠한 기작을 통해 일어나는 것인지를 확인할 수 있는 이후의 지속적인 연구가 요구된다.

3) 비장에서의 Sr⁹⁰ 축적량

총 실험기간 11주 동안의 비장에서의 Sr⁹⁰ level의 변화는 Table 22에 나타내었다.

국소효과를 나타내는 Sr⁹⁰의 target 기관은 조혈작용을 담당하고 있는 골수세포로, 비장은 조혈작

Table 21. Sr⁹⁰ level in kidney

(Unit : cpm/mg)

Weeks	Female		Male	
	Sr ⁹⁰ ^a	E + Sr ⁹⁰ ^b	Sr ⁹⁰ ^a	E + Sr ⁹⁰ ^b
1	2002.2 ± 304.5	1621.2 ± 104.3	2679.7 ± 546.0	2294.7 ± 220.5
2	1968.7 ± 380.7	1378.2 ± 177.9	2758.9 ± 46.9	1196.6 ± 128.8
3	1402.6 ± 174.7	1419.3 ± 163.9	334.5 ± 72.8	1455.6 ± 244.3
4	258.2 ± 78.7	423.6 ± 48.2	330.4 ± 34.7	296.0 ± 52.5
5	247.0 ± 69.2	324.3 ± 20.1	286.6 ± 47.2	321.1 ± 41.9
6	173.6 ± 46.7	279.3 ± 68.9	234.7 ± 23.5	290.8 ± 72.4
7	162.1 ± 19.0	283.1 ± 79.5	278.8 ± 13.1	163.2 ± 21.2
8	138.3 ± 24.2	172.1 ± 6.4	133.2 ± 24.3	160.9 ± 23.8
9	116.3 ± 20.0	304.1 ± 88.0	167.9 ± 70.4	111.9 ± 19.3
10	138.4 ± 49.9	214.6 ± 47.2	109.3 ± 9.0	119.9 ± 13.6
11	65.5 ± 19.3	191.5 ± 29.8	60.7 ± 18.2	56.1 ± 5.0

Each value represents the Mean ± S.D.

^aSr⁹⁰ only exposure group, ^bElectric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group.

Table 22. Sr⁹⁰ level in spleen

(Unit : cpm/mg)

Weeks	Female		Male	
	Sr ^{90a}	E + Sr ^{90b}	Sr ^{90a}	E + Sr ^{90b}
1	1123.1± 40.0	1481.9± 88.7	1592.4± 232.1	1544.8± 89.9
2	828.3± 33.6	911.5± 147.1	1402.9± 47.4	1037.8± 158.1
3	710.8± 152.9	765.4± 150.7	239.0± 95.8	1012.9± 81.9
4	223.5± 9.6	275.3± 15.5	149.2± 28.3	145.6± 27.3
5	243.7± 9.1	239.1± 47.8	205.3± 42.2	83.1± 13.5
6	160.4± 22.4	199.6± 6.0	159.4± 25.5	85.5± 11.7
7	172.0± 44.7	201.9± 48.7	61.6± 18.2	88.0± 14.7
8	181.6± 9.7	111.2± 43.3	63.6± 16.4	51.1± 6.9
9	100.7± 1.9	103.8± 37.1	58.2± 8.4	56.1± 7.5
10	65.7± 22.8	47.5± 11.3	48.2± 5.2	44.4± 2.5
11	51.4± 25.6	37.5± 8.6	64.2± 11.7	40.5± 4.8

Each value represents the Mean±S.D.

^aSr⁹⁰ only exposure group, ^bElectric field and Sr⁹⁰ complexed exposure group.

용의 보조적 기능을 담당하는 기관이다. Davis³⁹⁾는 비장의 radioactivity는 bone의 radioactivity의 0.1%를 초과하지 않으며, bone에서의 축적량 변화와 비교하여 그 감소속도가 뼈보다 비장에서 훨씬 빠르다고 보고하였다.

본 실험에서는 실험기간 1주에서 3주까지 암수 모두 많은 양의 Sr⁹⁰이 축적되었으며, 시간이 지남에 따라 상당히 많은 양이 감소되어 암컷의 경우는 실험 10주차 이후에, 수컷의 경우는 실험 7주차 이후에 100 cpm/g 이하로 감소되었다.

그러나, 비장에서의 Sr⁹⁰ 축적량에 대한 Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰ 및 전계장 복합폭로군 사이에 유의한 차이는 없었고, 암수 사이에도 유의한 차이는 나타나지 않았다(p<0.05).

4) 토의 및 제언

본 Sr⁹⁰의 골수 발암성에 대한 전계장의 영향에 대한 동물실험에서 얻은 주요한 결과는 방사성에 노출될 수 있는 고위험군을 대상으로 이용할 수 있는 가능성을 제시하는 결과로서 앞으로 인간을 대상으로 한 임상실험을 실시하여 본 실험과 같은 결과를 얻는다면 일반인에 비하여 방사선에 노출될 수 있는 가능성이 많은 방사선 동위원소 취급자, X-ray 기사, 원자력 발전소 근무자 및 방사선 치료환자 등 방사선에 노출되기 쉬운 사람들의 방사선에 의한 피해 방지를 목적으로 전계장이 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

IV. 결 론

극저주파 전계장의 발암성 여부와 이온화 방사선 중의 Sr⁹⁰에 의한 골수성 발암과정에 미치는 전계장의 영향을 측정하기 위한 지표효소로서 ODC의 활성도를 측정한 결과 전계장 단독으로는 발암성이 없으며, 오히려 이온화 방사선에 의해 촉발된 ODC의 활성도 증가를 억제하는 작용을 나타내었다. ODC 활성도에 대한 영향 이외에 전계장과 Sr⁹⁰에 폭로된 쥐에서 약간의 체중 감소가 관찰되었는데, 혈구수나 장기 중량 증가상의 변화는 일으키지 않은 것으로 나타났다.

이제까지 극저주파 전자장을 이용한 연구에서 전자장이 백혈병의 발생을 증가시킨다는 결과가 다수 있었는데,⁷⁻⁹⁾ 본 실험에서는 자장의 형성을 배제한 순수 전계장이 자체로서 발암성을 지니지 않으며, 다른 골수성 발암원에 의한 발암 진행을 억제하는 결과로서, 전자장에 의한 연구와는 상반되는 결과가 나타났다. 본 연구에 의해 얻어진 결과는 다음과 같다.

1. ODC 활성도의 변화

대조군에 비하여 Sr⁹⁰의 단독폭로군 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군의 ODC 활성도는 암수 모두 높은 것으로 나타났으며(p<0.05), Sr⁹⁰ 단독폭로군은 암수 각각 179.7~684.4 dpm, 179.5~729.3 dpm의 ODC 활성도를 나타내어, 암수 각각의 ODC 활성도가 170.6~529.7 dpm과 155.2~406.2 dpm으로 측정된 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군에 비하여 유의하게 높은 결과를 나타내었다(p<0.05). 그리고, 전계장 단독폭

로군의 ODC 활성도는 대조군과 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

2. 장기별 Sr⁹⁰ 축적량의 분석결과

대퇴골의 경우, 암컷과 수컷 모두 Sr⁹⁰의 단독폭로군이 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군보다 유의하게 높은 축적량을 나타내었다($p<0.05$). 腎臟에서의 축적량은 암수 모두 실험 3주차 이후에 급격한 감소를 보였으며, Sr⁹⁰과 전계장 복합폭로군과 Sr⁹⁰ 단독폭로군 사이의 축적량의 차이는 나타나지 않았다($p>0.05$). 또한, 脾臟에서의 축적량은 암수 모두 실험 3주 이후에 급격히 감소되어, 이후로 매우 적은 양의 Sr⁹⁰이 검출되었고, Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰와 전계장 복합폭로군 사이의 유의한 차이는 없었다($p>0.05$).

3. 혈구분석의 결과

적혈구수, 혈구용적 및 헤모글로빈치의 각 군간의 유의한 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$). 백혈구수의 경우는 Sr⁹⁰ 단독폭로군과 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군이 대조군에 비하여 감소된 결과를 나타내었고($p<0.05$), 전계장 단독폭로군은 대조군과 차이가 없었다($p>0.05$).

위에 기술한 바와 같이 Sr⁹⁰ 단독폭로군보다 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군의 경우 ODC 활성도가 감소된 것으로 볼 때, 이들 이온화방사선의 생체에 대한 癌발생 등의 악영향을 전계장이 방어하는 것을 알 수 있다. 또한, 대퇴골에서의 Sr⁹⁰ 축적량에서 Sr⁹⁰의 단독폭로군보다 Sr⁹⁰과 전계장의 복합폭로군의 축적량이 유의하게 급격히 감소한 사실에서 일반적으로 Sr⁹⁰이 골조직에 축적될 때 발생하는 Ca의 대사이상(골조직 내에서 Ca이 Sr⁹⁰과 치환되어 다량 축적되는 것)을 전계장이 어느정도 방지함으로써, 즉, 전계장이 Ca의 정상적인 대사를 돕는 역할을 한 것으로 추정할 수 있다.

참고문헌

- 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.
- Foster, K. H. and Guy, A. W. : The microwave problem. *Sci. Ame.*, **225**(3), 32-39, 1986.
- Ito, F. and Furuya, K. : The effect of high voltage alternating current upon a human body the change of blood pressure, endocrine system and serum lipids. Healthtron의 效能에 對한 生體 및 臨床實驗 研究論文集. 白壽生科學研究所. pp. 3-18, 1990.
- Luben, R. A. and Cain, C. D. : Use of bone cells hormone response system to investigate bioelectromagnetic effects on membrane *in vitro*, Adey, W. A. and Lawrence A. F. (eds.), Plenum Press, NY, 23-24, 1984.
- Hera, H. : On effect of AC electrostatic highpotential load upon the blood-electrolytes. Healthtron의 效能에 對한 生體 및 臨床實驗 研究論文集. 白壽生科學研究所. pp. 47-60, 1990.
- Kawachi *et al.* : The clinical experiences of AC high tension electric boundary healthful equipment for the chronic lumbago. Healthtron의 效能에 對한 生體 및 臨床實驗 研究論文集. 白壽生科學研究所. pp. 81-86, 1990.
- Wertheimer, N. and Leeper, E. : Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am. J. Epidemiem.*, **109**, 273-284, 1979.
- Kazim, S. : Exposure to electromagnetic field and the risk of leukemia. *Ach. Env. Health.*, **4**(1), 55-63, 1986.
- Savitz, D. A., Wachtel, H., Barnes, F. A. *et al.* : Case control study of childhood cancer and exposure to 60 Hz magnetic fields. *Am. J. Epidem.*, **128**, 21-38, 1988.
- Frank, C. *et al.* : Incidence of leukemia in occupations with potential electromagnetic field exposure in United States Navy personnel. *Am. J. Epidem.*, **132**(2), 293-303, 1990.
- Kremer, F. *et al.* : Picosecond relaxation on proteins and biopolymers observed by millimeter wave spectroscopy, In nonlinear electrodynamic in biological system, Adey, W. R. and Lawrence A. F. (eds.), Plenum Press. NY, 177-186, 1984.
- Keilmann, F. and Grundler, W. : Nonthermal resonant action of millimeter microwaves on yeast growth, In nonlinear electrodynamic in biological systems, W. R. Adey.
- Bawin, S. M. and Adey, W. R. : Sensitivity of calcium binding in cerebral tissue to weak environmental electric fields oscillating at low-frequency. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* **79**, 1999-2003, 1976.
- Putinas, J. and Michaelson, Sol M. : Humoral responsiveness of mice exposure to a 500 μ T, 60 Hz magnetic field. *Bioelectrochemistry and Biomagnetics*, **24**, 371-374, 1990.
- Fulton, T. P., Cobb, S., Preble, L., Leon, L. and Forman, E. : Electrical wiring configurations and

- childhood leukemia in Rhode Island. *Am. J. Epidemiol.*, **III**, 292-296, 1980.
- 16) McDowall, M. E. : Mortality of persons resident in the vicinity of electricity transmission facilities. *Br. J. Cancer*, **53**, 271-279, 1986.
 - 17) Handbook of chemistry and Physics : 4th Ed. The Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio. 1966-67.
 - 18) Mason, B. : Principles of Geochemistry. 2nd Ed. New York, Wiley, 1958.
 - 19) Klusek, C. S. : Strontium-90 in food and bone from fallout. *J. Environ. Qual.*, **16**(3), 195-199, 1987.
 - 20) Schroeder, H. A., Tipton, I. H. and Nason, A. P. : Trace metals in man: Strontium and Barium. *J. Chron. Dis.*, **25**, 491-517, 1972.
 - 21) Bogatov, L. V., Surina, A. G., Antonenko, G. I. and Pershina, L. I. : Functional static of sheep thyroid gland at remote times following single injection of super(90)Pu and their mixture. *Radiobiologiya*, **31**(4), 481-484, 1991.
 - 22) Haellgren, R., Svensson, K., Johansson, E. and Lindh, U. : Elevated granulocyte strontium in inflammatory arthritides is related to the inflammatory activity. *J. Lab. Clin. Med.*, **104**(6), 893-900, 1984.
 - 23) Ronnback, C. : Sr induced effects on the foetal ovary of the CBA mouse. Thesis, Printed at Swedish Agricultural University, Uppsala, 1982.
 - 24) Soroka, L. P. and Shvedov, V. L. : Changes in nucleic acid metabolism in some rat organs damaged by super(90)Sr during the formation of the delayed effects therein. *Radiobiologiya*, **25**(4), 544-547, 1985.
 - 25) Prasad, P. V. D. : Effects of magnesium, strontium and barium on the calcification of the freshwater green alga *Gloeotaenium*. *Phykos*, **23**(1, 2), 202-206, 1984.
 - 26) Sadovy, Y. and Severin, K. P. : Trace elements in biogenic aragonite: Correlation of body growth rate and strontium levels in the otoliths of the white grunt, *Haemulon plumieri* (Pisces; Haemulidae). *Bull. Mar. Sci.*, **50**(2), 237-257, 1992.
 - 27) Churchill, P. C., Churchill, M. C. and McDonald, F. D. : Extracellular strontium substitutes for calcium *in vitro* renin secretion. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, **236**(2), 331-333, 1986.
 - 28) Ebeigbe, A. B. and Aloamak, C. P. : Barium and strontium as calcium substitutes for contractile responses in the rat tail artery. *Comp. Biochem. Physiol. C.*, **82**(1), 213-216, 1985.
 - 29) Folles, R. H. : Bone changes resulting from parenteral Strontium administration. *Fed. Prec.*, **14**, 403, 1955.
 - 30) Radiation and Leukemia : *Med. J. Aust.*, **2**(25), 891-892, 1974.
 - 31) 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.
 - 32) Gross, L. and Dreyfuss, Y. : Spontaneous tumors in Sprague Dawley and Long-Evans rats and in their Fi Hybrids: Carcinogenic effect of total body X-irradiation.
 - 33) Pegg, A. E. : Polyamine metabolism and its importance in neoplastic growth and as a target for chemotherapy. *Cancer Res.*, **48**, 759-774, 1988.
 - 34) O'brian, T. G. : The induction of ODC as an early, possibly obligatory event in mouse skin carcinogenesis. *Cancer Res.*, **36**, 2644-2653, 1976.
 - 35) Spiers, F. W. : Particle dosimetry in bone and the toxicity of bone sicking radionucleides. *Phys. Med. Biol.*, **33**(4), 395-411, 1988.
 - 36) 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.
 - 37) 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.
 - 38) Davis, E. and Corash, L. *et al.* : Splenic thrombopoiesis after bone marrow ablation with radiostrontium: a murine model. *J. Lab. Clin. Med.* December, pp. 879-888, 1990.
 - 39) Jacobson, L. O., Simmons, E. L. and Block, H. M. : The effect of splenectomy on the toxicity of Sr⁸⁹ to the hematopoietic system of mice. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **70**, 1643-1655, 1949.
 - 40) Shellabarger, C. J. : Radiation carcinogenesis. *Cancer*, **37**, 1090-1096, 1976.
 - 41) 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.
 - 42) Spiers, F. W., Boddoo, A. H. and Whitwell, J. R. : *Br. J. Radiol.*, **54**, 500, 1981.