

Iodine-131 체내오염 사고에 대한 항갑상선제의 효과

原子力病院 放射線人體障害研究室

정인용 · 김태환 · 진수일 · 윤택구

Abstract

Effects of Antithyroid Drugs on Accidentally Internal Contamination of Iodine-131

In Yong Chung, Tae Whan Kim, Soo Yil Chin, Taik Koo Yun

Lab. of Radiation Hazard, Korea Cancer Center Hospital

In case of occurring the atomic energy accidents the proper medical treatments should be necessary.

As the aim of the basic data for protective actions, the present studies were carried out to evaluate the decontamination of radioiodine by the administration of the antithyroid drugs (KI, NaI) and isotonic saline.

Some recommended methods of decorporating radioiodine were investigated using 450, NIH-GP mice, each injected intraperitoneally with $1\mu\text{Ci}$ of NaI^{131} as the internal contamination and treated with $2\text{mg}/0.2\text{ml}$ -saline of NaI and $2.6\text{mg}/0.2\text{ml}$ -saline of KI as the antithyroid drugs.

Accordingly, effects of antithyroid drugs for internal contamination were:

1. Administration of NaI and KI caused to rapidly excrete internal radioiodine as the antithyroid drugs and decrease in whole body retention was reduced than in the saline group.
2. After internal contamination NaI and KI were to be administered for radioprotective effects as quickly as possible.
3. Decrease in body-retention made temporary shifts with enough fluids (water), however, as far as radioprotective effects is concerned, saline was not more significant than in the other group (NaI and KI).
4. Regarding to thyroid protective effects NaI, KI and saline were significant in effectively order.

* 이 논문은 1987년도 科學技術處의 특정 연구과제로 연구한 것임.

I. 서 론

국내 원자력의 이용증대에 따라 불의의 핵 사고로 인한 방사선 장애의 위험은 날로 증가되고 있으나, 현재까지 방사선 장애에 대한 예방 및 치료를 위한 특효의 약제가 개발되지 못한 실정에 있으므로 방사선 장애자에 대한 진료는 일반 대증요법에 불과하며 이를 위한 연구는 원자력 에너지를 이용하는 모든 국가에서 광범하게 연구되고 있다.^{1,2,3)} 따라서, 국내에서도 핵시설 이용증가에 따라 안전대책의 일환으로 핵시설 종사자는 물론, 인근주민에 대한 긴급의료 처치방안과 기술을 확립하는 것은 방사선 방어 및 관리상에 중요한 과제로 대두되고 있다.⁴⁾

특히, 방사성 iodine은 과거 20여년간의 경험으로 평가할 때 핵시설 사고 또는 핵실험 중 환경으로 급격히 다량 방출되어 원거리의 대다수 국민에게 악영향을 주기 때문에 핵에너지를 이용하는 모든 국민에게 공포의 대상이 되는 핵종이며, 이로 인한 섭취경로와는 무관하게 흡입 또는 음식물과 함께 일단 체내에 섭취되면 인체 중요 장기인 갑상선에 축적되어 장기간 잔존하면서 각종 신체적 및 생리적 장애를 유발시키는 핵종으로 평가 되고있다.^{5,6,7,8)}

따라서, 본 연구는 방사성 Iodine-131에 의한 체내 오염사고시 긴급의료 처치제로서 ICRP¹²⁾, IAEA¹¹⁾, NCRP⁹⁾, 등에서 권고하는 약제중 비교적 효과가 우수하고 투여가 간편한 sodium iodide, potassium iodide 및 saline 등을 선정하여 실험동물을 통하여 체내에서의 거동 및 특성을 파악하고 약제간의 효과를 비교 평가하고 고찰하였다.

II. 실험대상 및 방법

1. 실험대상

원자력병원 실험동물 사육실에서 봉쇄집단으로 번식사육한 비근교계 NIH-GP 마우스로서 23°C ± 1°C로 유지된 사육실에서 polycarbonate로 제작된 사육장(30×30×15cm³)에 5마리씩 넣고 미국 NIH-7-open-formula에 의한 고형사료를 공급하고 자유롭게 급수하며 사육한 후 생후 10~12주 되는 자성마우스(25~30g) 6마리를 단위 실험군으로 설정하여 I-131의 투여로 체내를 오염시킨 대조군(I-131 only)과 I-131 체내오염 후 KI를 병행투여

한 처치군(I-131 + KI), NaI 병행투여한 처치군(I-131 + NaI) 및 saline을 병행투여한 처치군(I-131 + saline) 등 4개 실험군으로 분류 하였다.

또한, saline을 제외한 KI 및 NaI는 약제 투여까지의 경과 시간에 의한 효과 변동을 파악하기 위하여 I-131를 투여후 1 및 2시간에 약제를 투여하므로써 4종의 실험군이 추가되었고, 약제간의 효능을 비교 평가하기 위하여 약제 투여 후 2, 4, 6, 8, 24, 48시간에 실험동물의 전신, 갑상선, 뇨 등에 함유된 방사능의 측정을 위한 40개 단위실험군에 총 240마리의 마우스를 대상으로 실험하였다.

2. 실험방법

1) 방사성물질(I-131) 체내오염

한국 에너지 연구소에서 생산된 sodium iodide (Na¹³¹I) 1μCi를 capantic radioisotope calibrator (Model: CRC-30)로 calibration한 다음 정량의 iodine을 R. I. hood에서 saline 0.2ml에 희석한 후 repeating dispensers syringe를 이용하여 2ml plastic tube에 1μCi/0.2ml-saline의 용액을 담아 MCA(Tracer Northern, TN-7200)으로 γ-선을 측정후 실험동물 복강내에 투여하여 체내를 오염시켰다.

2) 긴급처치제 투여

I-131(NaI-131; 1μCi/0.2ml-saline)을 마우스 복강 투여로서 체내를 오염시킨 후 갑상선의 축적 및 장애의 기능을 저지하고 체내의 섭취경로를 차단하는 등 체내 오염 물질을 체외로 배설 촉진시켜 방사선 장애를 경감시키려는 목적으로 투여한 Switzerland flaka 제품의 sodium iodide(NaI) 및 potassium iodide(KI)를 인체에 대한 IAEA의 권고량을 근거로 마우스와 인체와의 체중비(30g/70kg)로부터 투여량을 결정하고, saline에 의한 적정농도 NaI; 2mg/0.2ml-saline 및 KI; 2.6mg/0.2ml-saline로 희석하여 I-131 오염 후 0, 1, 2시간에 투여하였으며, saline 처치군은 다량의 물 섭취에 의한 이뇨 효과를 얻기 위하여 체내오염과 동시에 핵사고에 실제 상황에서 사람이 마실수 있는 한도량을 근거로 복강내에 saline 5ml를 투여하였다.

3) 전신 및 thyroid의 방사능 측정

전신의 방사능 측정을 위하여 I-131(NaI-131; 1μCi/0.2ml-saline)으로 체내 오염된 마우스를 오염

후 2, 4, 6, 8, 24, 48 시간에 한마리씩 MCA 측정용 plastic box(9.5×4.5×3 cm³)에 넣고 germanium-detector(φ; 8 cm)가 연결된 MCA(Tracer Nerthern; TN-7200)으로 전신의 잔존방사능(γ선)을 측정한다. 후 경과 시간에 대한 물리적 감쇄율을 고려하였으며, 생물학적 변경요인은 무시한채로 대조군과 처치군간의 상대치만을 측정하였다.

한편 thyroid의 방사능 측정을 위하여 전신의 방사능 측정이 완료된 마우스는 경부탈구(cervical dislocation)로 도살부검 후 thyroid와 경추가 포함된 경부를 0.8×1.2 cm²의 크기로 절취한 뒤 유지위에 놓고 동일한 방법으로 측정하였다.

4) 요의 방사능 측정

I-131의 체내오염에 대한 처치제의 배설효과를 파악하기 위하여 배설된 요중에 함유된 방사능을 측정하였다.

실험 중 요의 채취는 stainless steel로 제작된 실험동물의 배설물 수집용 cage에 각 실험군을 분리 사육하고 급식과 급수는 통상적인 방법으로 자유롭게 공급하였다.

채취된 요의 방사능은 MCA계측용 plastic 시험관에 요의 전량을 담아 계측하였으며, 요를 수시로 수집하여 계측하므로써 증발 및 기회의 손실을 방지하였다.

특히, 위장관으로부터 R. I의 흡수는 위장관 내에 존재하는 음식물에 의하여 영향을 받기 때문에 대다수의 연구는 실험동물을 R. I투여전에 제한급식하여 음식물로 인한 영향을 방지¹⁾ 하고 있으나 본 실험의 결과는 인체에 적용할 경우 실제의 오염 상황을 고려하여 위장관내의 음식물이 자연스럽게 존재하는 상태에서 실험하였다.

III. 결과 및 고찰

과거 40여년간 선진국의 많은 과학자들은 방사선 장애 예방약제를 비롯하여 체내에 섭취된 R. I(핵분열 생성물질 포함)에 대한 장애 경감을 위한 배설촉진제, 장애의 회복촉진을 위한 치료제, 국소부위의 외과적 절제술 및 조절기능의 회복을 위한 수혈 및 골수이식 등에 관하여 꾸준히 연구하여 왔으나 방사선 장애에 실용적 특효의 약제는 개발되지 못하고 있어 그의 진료는 일반 대중요법에 의존할 뿐이다.^{1), 2), 3)}

따라서 본 연구는 국내 원자력 이용시설의 확충에 따르는 불의의 대형사고로부터 방출되는 핵분열 생성물질 중 체내에 오염가능성이 비교적 많은 방사성 iodine⁴⁾의 경구섭취에 의한 갑상선에 대한 축적경로의 차단 및 체외로의 배설을 촉진함으로써 방사선 장애를 경감시키려는 노력으로 다음 사항을 참고로 긴급 처치제(NaI, KI, saline)의 효능을 비교 평가 하였다.

참고 1 : I-131 방출사고의 예

영국의 Windscale 원자로의 대형화재 사고로서 I-131, 약 20,000 Ci를 대기 중 방출(Cs, Sr 등은 극소량) 사고(Dunster et al., 1958)를 비롯하여 사용 후 핵연료 용해시 I-131 방출사고(Sill and Flygare, 1960), mouse oil pipetting에 의한 I-131 체내오염사고(Haas, 1970) 등 1957-1966년 까지의 생산, 운반, 이용 등 산업분야에서 사고적 내부피폭으로 의료적 처치를 시행한 사건은 20건이고, 그중 12건은 화학적 처리시설 및 지하 핵실험의 원인이 있다(Ross, 1968).

그러나 1950년대의 대기 중 및 지하 핵실험으로 우유와 기타 음식물을 통하여 방사성 iodine을 섭취한 Utah지방의 어린이에서는 thyroid nodules, benign, malignant 등이 발생하였으나, 유의하지는 않았다(Conard, 1957).

한편, 1979년 미국의 TMI-2 사고는 사고 당시 원자로 로심의 I-131은 64×10⁶Ci이었으나 대기 중 방출량은 17~18Ci 정도이었으며, 1986년 소련의 체르노빌 원전 화재사고는 사망자 31명 중 방사선에 의한 사망자는 29명이었으나 내부피폭에 의한 긴급의료처치 환자는 현재까지 불확실하다(IAEA).

참고 2 : 방사성 iodine의 물리적 특성

방사성 iodine(원자번호 53)의 동위원소는 20종 이상이며 핵시설에서 핵분열이 시작되면 2~3시간 내 방사능의 절반을 차지하고, 사고시 외부로 급격히 방출되면 iodine의 원소 중 I-132, I-133, I-134, I-135(T_{1/2}; 52분~6.7시간)과 같은 단수명 원소와 함유량이 극히 적은 핵종을 제외하면, 핵사고시 문제의 핵종은 I-131이다.¹⁾

I-131의 물리적 반감기는 약 8.1일이고 인체의 생물학적 반감기는 0.35/138일, 그리고 유효반감기는

약 7.6 일이며 4종의 β 선(0.25-0.81 MeV)내의 0.61 MeV (대표; 87.2%)와 5종의 γ 선(0.08-0.72MeV)내의 0.61 MeV(대표; 79%)의 에너지를 갖고 있으며, 그의 유효에너지는 0.22MeV이다.⁹⁾

한편 I-131은 평화적 이용목적으로는 주로 원자로에서 방사성 의약품으로 생산되어 갑상선의 진단, 치료 등에 이용되며, 핵분열 생성물질로는 원자로 사고 및 핵연료 재처리 시설에서 방출의 위험성이 높다.⁹⁾

참고 3 : I-131의 생물학적 효과

표준인의 갑상선은 질량이 16g (male : 20 g, female ; 17 g) 이고, 20-40 개의 follicles 로 구성되어 있어 홀몬을 합성 저장한다.

또한 표준인(체중 70kg)의 체내에 함유된 iodine 은 20-25mg 이고 그중 약 3/5은 갑상선에 축적되어 기타 조직보다 2,500배의 고농도이며 일일 섭취 권고량은 0.15-0.30mg 으로서 적정 섭취량은 체내 전량의 5%이며, 특히 puberty, pregnancy, lactation 시는 일시적으로 증가한다.⁹⁾

그리고 자연에서의 iodine 은 물과 토양에 함유되어 있어 주민의 식품에 따라 일일 섭취량이 다르며, 식품 중에는 주로 바다생선, 바다조개류, 다시다, 미역, 우유, 계란, 우유, 계육, 야채, iodized salt 의 순으로 함유되어 있다.²⁾

따라서 미국에서는 table salt 에 NaI 이 다량 함유되어 Great lake(goiter-belt)의 주민 중 65%가 iodine 의 과다 섭취로 갑상선종이 유발되었고, 일본 Hokkaido 섬 주민 역시 6.6%가 갑상선 비대증이 발생되었으며²⁾, WHO의 자료에 의하면 지구상의 약 2억의 인구가 갑상선 비대환자이고, 체내에 iodine 결핍시에는 지방이 축적되어 비만증 및 갑상선종이 유발 된다는 보고도 있다.²⁾

한편 그의 장해는 원자로 사고로 I-131이 대기중으로 다량 방출되어 일부가 흡입 또는 경구섭취 되어 급성장해로서 2주내 갑상선염, 혹은 3~6개월내 갑상선 기능 저하증(myxedema), 그리고 만성 장해로서 2~3년내 갑상선 기능 저하증, nodules(Adenomatous and fibrous) 혹은 갑상선암이 유발되고, 성인 갑상선의 방사능 피폭으로 nodules 과 cancer 의 발생 빈도가 증가 하였다는 보고(UNSCEAR, 1977). 그리고 갑상선 기능항진증의 치료목적으로 I-131, 3mCi 의 경구 투여 17년 후 갑상선기능 저하증이 발생

(Glennon, 1972) 하였다는 보고도 있다.

참고 4 : 방사성 iodine 의 체내대사

핵사고시 체내에 섭취되는 대부분의 iodine 은 용해성 물질로서 흡입, 경구 및 피부를 통하여 쉽게 흡수(Harrison, 1963)된 후 30 분이 되면 체액내에서 균일하게 분포되고, 경구섭취량의 12-20%는 갑상선내에 축적된다(Dilla, 1964).

한편 원자로 및 핵연료 재처리 시설에서의 핵사고시는 대기 중 방출된 iodine 의 섭취 경로로서 식수, 식물 등을 통하여 인체에 섭취되면 장관에서 100% 흡수되어 혈액으로 이행하고, 특히 환경오염으로부터의 주요 경로는 목초-젖소(유선에 다량 함유) - 우유 - 인체에 섭취된다.

또한 원전사고시 체내에 흡입된 iodine 중 무기-iodine (I_2) 및 분진 iodine, 그리고 유기 iodine (methyl-iodine 형)으로 흡입량의 약 60%는 폐포를 통하여 섭취된 후 혈액내(대부분 혈청내)에서 I-ion으로 출현되고 I-pool로 이행된 후 10-40%는 갑상선에 축적되고 그의 일부는 태액선, 위, 유선 등에 침적되어 타액, 위액 및 모유 등으로 분비되며, 나머지는 전신의 조직을 통하여 급속히 요 중으로 배설된다.

그러나 갑상선에 축적되는 I-ion은 갑상선을 통과하면서 수신패로 농축되어 thyroglobulin 중의 tyrosin의 수소와 치환하여 MIT(mono-iodotyrosine) 및 DIT(Di-iodotyrosine)을 결합하며, 대부분의 T_3 , T_4 는 생체 조직으로 이용하여 에너지 대사에 관여한 후 분해되어 I-ion은 유리되고, 기타의 홀몬은 간, 담관으로 이행하는 한편, 유리된 I-ion은 순환되어 재이용 되기로 하고 일부는 배설된다.

1. Whole body retention 에 대한 처치효과

Figure 1에서와 같이 방사성 iodine의 경구 오염된 마우스(대조군)의 전신 잔존율은 오염 후 0시간 기준(100%)으로, 경과시간에 따라 2시간(72.7%), 4시간(43.3%), 6시간(31.2%), 24시간(10.0%), 48시간(9.8%)으로서 단기간의 유효반감기는 3.5시간으로 평가되었으며, 체내 잔존율은 오염 후 6시간까지는 급격하고, 24시간까지는 완만한 지수함수적 감소의 경향이었고, 그후는 10% 이하로서 장기간 체내에 잔존할 것으로 예상되었다.

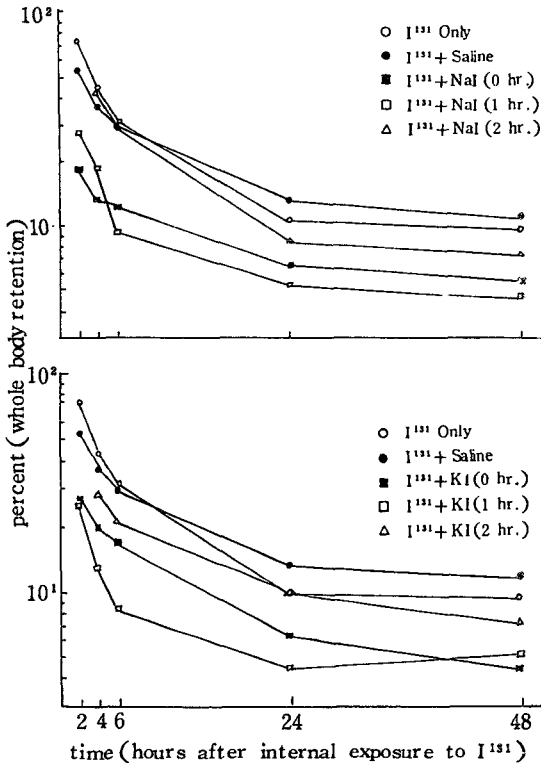


Figure 1. Effects of the antithyroid drugs on the whole body retention of iodine-131 in mice

한편, NaI의 처치효과는 체내 오염 후 처치시간이 빠를수록 잔존율이 급격히 감소하는 경향이었고, 체내 오염 6시간 후는 처치의 효과가 뚜렷하였다.

그러나, 체내 오염 후 1시간의 처치군에서는 유의한 효과인 반면 2시간 처치군에서는 효과가 없었으며, 오염 후 24시간 이상에서는 경과시간이 증가할수록 대조군의 잔존율(10% 이하)에 비하여 점차 유의성 있는 감소를 보였다.

또한, KI의 처치효과는 KI/2hr의 24시간을 제외하고는 처치시간이 단축될수록 잔존량의 감소효과가 증가되었으며, saline의 처치효과는 처치 후 2시간에서 대조군에 비하여 74.4%의 유의한 감소를 보였으나, 경과시간이 증가함에 따라 감소율이 둔화되어 24시간(134%), 48시간(113%)로서 대조군보다 오히려 증가되는 경향으로 전신의 잔존율에 대한 처치제로서는 부정적 결과이었으며, 그의 원인은 더욱 상세히 추구되어야 할 문제점으로 남아있다.

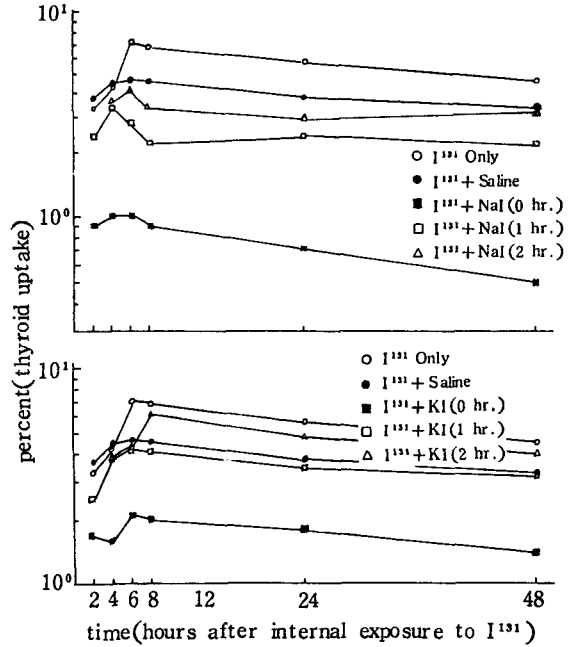


Figure 2. Effects of the antithyroid drugs on the thyroid uptake of iodine-131 in mice

2. Thyroid uptake에 대한 처치효과

Figure 2에서와 같이 마우스(대조군) 체내에 오염된 방사성 iodine의 thyroid uptake으로 오염 전 공기 중 방사능을(100%) 기준으로 방사성 iodine 투여 후 경과시간에 따라 2시간(3.3%), 4시간(4.2%), 6시간(7.1%), 8시간(6.9%), 24시간(5.7%), 48시간(4.6%) 등, 투여 후 6시간(7.1%)까지는 급격히 증가하다가 완만하게 감소하였으며, 마우스의 최대 축적시간은 오염 후 6시간인 것으로 평가되었다.

한편 NaI의 처치효과는 thyroid uptake의 억제로서 대조군의 14%~69% 범위의 유의한 효과이었으며, 처치시간이 빠를수록 uptake의 억제효과는 증가되었다.

특히 체내오염과 동시의 처치군은 경과 48시간에 대조군의 11% 뿐이었으며, 체내 오염 2시간 후 처치군에서는 69%로서 처치시간에 대한 효과의 차이가 매우 큰 것으로 평가되었다.

또한, KI의 처치효과는 thyroid uptake의 억제로서 대조군의 30~87% 범위이고 처치제의 투여시간이 빠를수록 억제효과는 크게 증가 되었으나, 48시

간에서는 체내오염과 동시에 처치한 KI/Ohr.(30%)를 제외하고는 유의성이 없었다.

그러나, 전체적인 경향으로 평가할 때 thyroid uptake의 억제 효과는 양호 하였으나 그의 효능은 NaI 보다 저조하였다.

그리고, saline의 처치효과는 체내오염과 동시에 saline을 투여한 처치군은 대조군에 비하여 처치 후 4시간까지는 예상과는 반대로 경미한 촉진효과 있었으며 6시간(66%) 후부터는 유의한 감소를 보였다.

특히, 체내오염과 동시의 saline 처치 효과는 오염 후 1시간의 KI의 효과와 대등하였다.

따라서, saline의 긴급처치는 방사성 iodine에 대한 thyroid uptake의 억제에 기여하므로써 사고에 의한 방사성 iodine의 체내오염시는 음료수를 일시에 다량섭취하는 것도 장애방어에 도움이 될 것으로 평가되었다.

3. 요 배설에 대한 처치효과

Figure 3에서와 같이 마우스(대조군)의 경구 섭취된 방사능의 측정기준(100%)으로 방사성 iodine 투여 후 경과시간에 따라 요를 통한 배설율은 투여 후

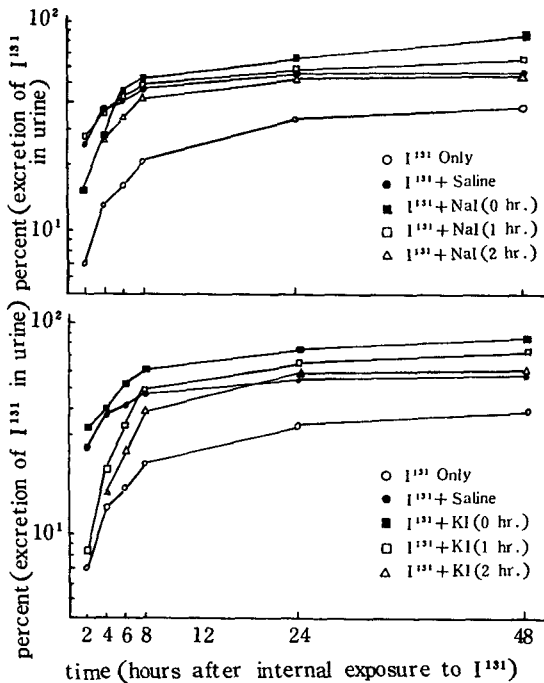


Figure 3. Effects of the antithyroid drugs on the urinary excretion of iodine-131 in mice

8시간(21.2%)까지는 급격히 증가하였으나, 그 후는 완만하여 48시간내에 38.4%가 체외로 배설되었다.

한편 NaI의 처치효과는 체내오염 후 6시간일 때 대조군에 비하여 1.4~2.5배로서 유의한 효과이었으며, 처치시간이 단축될수록 배설효과가 증가되며, 6시간 전 후의 배설효과는 약간 감소하였다.

또한, KI의 처치효과인 요를 통한 배설효과는 대조군의 1.5~3.2배로 유의하였으며, 투여시간이 단축될수록 배설효과가 증가되었으나 6시간 후의 배설효과는 약간 감소하였다.

그리고, saline 배설효과는 saline 처치 후 2시간에서 대조군 3.6배의 방사성 iodine이 요 중에서 검출되었으나, 경과시간이 증가됨에 따라 요에 의한 배설량이 감소되는 경향이 있었으며, 시간경과에 따라 요에 의한 효과는 대조군에 비하여 1.5~3.6배의 배설 촉진효과가 있음이 확인 되었다.

IV. 결 론

국내 원자력의 이용증대에 따라 불의의 핵사고로 인한 방사선 장애의 위험이 날로 증가됨에 따라 이에 필요한 의료대책 확립의 일환으로 대형 핵 사고시 급격히 외부로 다량 방출되어 원거리의 대다수 국민에게 악영향을 줄 수 있는 iodine-131에 대하여 경구 섭취에 의한 체내 오염시 항갑상선제 및 saline을 이용한 갑상선 장애 방어효과를 파악하기 위하여 실험 동물 NIH-GP 마우스를 대상으로 실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Iodine-131 체내오염시 NaI 및 KI의 투여는 전신 잔존량 감소에 유효하다.
2. Iodine-131 체내오염시 NaI 및 KI의 투여는 오염 후 투여까지의 시간을 단축할수록 효과가 증진된다.
3. Iodine-131 체내오염시 다량의 물을 마시면 체내 잔존량은 일시적으로 감소하나 방사성장애 방어효과는 NaI 및 KI에 비하여 경미하다.
4. 갑상선장애 방어효과는 NaI 및 KI, saline의 순으로 유효하다.

끝으로, 원전 사고로 비산되는 방사성 iodine에 대하여 ICRP, IAEA 및 NCRP 등에서 사용권고하는 처치제를 이용하여 실험적으로 검토한 결과, 방사성 iodine 체내오염시는 신속하게 NaI과 다량의 물

을 동시에 투여하면 체외로의 배설속진과 갑상선장해 방어에 유효할 것으로 평가된다.

따라서, 긴급처치는 사고현장의 동료 및 방사선관리자가 체내오염 직후 신속하게 처리하는 것이 중요하므로 방사선관리자는 핵사고로 인한 체내오염시 오염행종의 특성에 따라 처치제를 평상시에 정비하고 그의 이용법을 정확하게 숙지할 필요가 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. Manual on Early Treatment of Possible Radiation Injury, IAEA Safety Series No. 47. IAEA. Vienna, 1978.
2. Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accidents Principles for Planning. ICRP Pub. 40. Pergamon Press. Oxford. 1984.
3. Planning for Off-Site Response to Radiation Accidents in Nuclear Facilities. Safety Series No. 55., IAEA. Vienna. 1981.
4. Norwood, W. D., Health Protection of Radiation Workers, C. Thomas, Springfield, IL. 1975.
5. Management of Persons Accidentally Contaminated with Radionuclides. NCRP Report 65. Washington, U.S.A. 1980.
6. Limits for Intake of Radionuclides by Workers; ICRP Pub. 30., parts 1-3, Pergamon Press. N. Y., U.S.A. 1978.
7. 정인용, 김태환, 진수일, 윤택구: 체내오염사고의 긴급처치에 관한연구, KAERI/RR-594/86
8. Protection of the Event of Releases of Radioiodine. NCRP Report No. 55, 1979.
9. Jackson, S. and Dolphin, G. W.: The Estimation of Internal Radiation Dose from Metabolic and Urinary Excretion Data for a Number of Important Radionuclides. Health Physics, 12:481-500, 1966.
10. Cronquist, A., Pochin, E. E. and Thompson, B. D.: The Speed of Suppression of Iodine of Thyroid Iodine Uptake. Health Physics. 21, 393-394, 1971.
11. 정인용: "급성방사선 증후군과 그 치료" 대한 방사선기술학회지, Vol. 10, No. 1., 1987
12. Asams, C.A. and Bonnell, J. A.: Administration of Stable Iodide as a Means of Reducing Thyroid Irradiation Resulting from Inhalation of Radioactive Iodine. Health Phys. 7, 127. 1962.
13. Conard, R. A.: Thyroid Nodules and 313, 1974.
14. 安本正: 放醫研の緊急被曝醫療對策, 日本原子力學會誌, Vol. 25, No. 7., 1983.
15. 中尾惠: 放射線事故時の緊急被曝醫療, 日本原子力學會誌, Vol. 28, No. 11., 1986.
16. Berhardt, D. E.: Protective Actions for Radioiodine in Milk. Health Phys. 21, 401, 1971.
17. The Principles and General Procedures for Handling Emergency and Accidental Exposures of Workers. ICRP Pub. 28.