

Radioiodine의 體內汚染에 對한 緊急處置研究

정인용 · 김태환 · 정현우 · 진수일 · 윤택구
원자력병원 방사선인체장해연구소
한국에너지연구소
(1988 7.23 접수)

Studies on the internal decontamination of radioiodine

In-yong Chung, Tae-hwan Kim, Hyun-woo Chung, Soo-yil Chin, Taik-koo Yun
Laboratory of Radiation Hazard Korea Cancer Center Hospital
Korea Advanced Energy Research Institute
(Received July 23, 1988)

Abstract: Appreciable radiation exposures certainly occur in the workers who handle radioiodine in biochemical research, nuclear medicine diagnostics with the development of nuclear industries. But in the case of occurring the nuclear accidents, the early medical treatment of radiation injury should be necessary but little was reported in Korea till now.

Accordingly, to achieve of the basic data for protective roles and medical treatment of radiation injury, the present studies were carried out to evaluate the decontamination of radioiodine by the administration of the antithyroid drugs.

The results observed are summarized as follows:

1. The administration of sodium iodide and potassium iodide results in rapid excretion of radioiodine and reduction of the whole body retention than the saline-only group.
2. Regarding to thyroid protective effects, sodium iodide, potassium iodide and saline were effected significant in order.
3. In the control(saline) group, if administered with enough fluids, the whole body retention of radioiodine is reduced temporary shifts. But as far as radioprotective effects is concerned, saline was not more in the protective effects than the other groups.

In conclusion, in case of nuclear accidents, if being administered sodium iodide and saline as quickly as possible, the radioprotective effects against the radiation hazard might be markedly increased in the internal contamination of radioiodine.

Key words: radioiodine decontamination.

緒 論

Iodine은 지표면에 널리 분포되어 있으므로 自然生産物에 광범위하게 함유되어 있고 특히 海藻類에 비교적 많이 포함되어 있으며 그 작용에 있어서는 哺乳類

와 鳥類의 성장에 필수적일뿐만아니라 體內 에너지대사의 調節 및 유지에 關與한다고 記述하였다.¹⁻³

또한 사람의 體組織에는 Iodine 20~30mg을 정상적으로 함유하고 있으며 그중 3/5은 甲状腺에 분포되어 있어 thyroxine과 triiodothyronine의 합성에 이용된다

고 하였다.^{3,4}

radioiodine은 産業文明이 발달됨에 따라 原子力의 利用增大에 따른 불의의 核事故에 의하여 汚染可能性이 날로 增加되고 있으며 또한 核醫學的 研究와 醫療的 療法에 radioiodine을 많이 이용하고 있으나 이로 인한 核施設 勤務者, 放射性 同位元素 取扱者 및 核施設 周邊에 거주하는 인근주민의 汚染에 對한 安全對策 및 醫療的 除染方案이 堅立되어 있지 못한 실정에 있는 바이다.

radioiodine의 汚染經路는 주로 原電事故로 인한 iodine의 放出로 汚染된 生草를 攝食한 乳牛의 汚染된 牛乳나 飲食物을 통하여 經口汚染^{5,6}이 일어나고 核事故時 大氣中으로 多量放出된 iodine-131의 吸入에 의한 汚染⁷도 發生된다고 하였으며 그리고 損傷된 皮膚를 통한 經皮汚染 등⁸에 의해 體內로 攝取된 radioiodine은 甲狀腺에 多量蓄積되어 수천 rads의 放射線 즉 β 線과 γ 線을 放出被曝하므로 이로 인한 急性障害을 일으켜 甲狀腺細胞의 위축, hormone合成低下, 機能低下症 및 粘液水腫을 誘發^{9,10}할 뿐아니라 慢性障害인 경우에는 thyroid carcinoma 혹은 sarcoma가 發生된다^{3,11}고 하였으며 특히 어린이들은 感受性이 높아 發病率이 높다고 하였다.¹²

原電事故로 인한 體內 汚染例에 있어서는 1953年 미국의 네바다 사막에서 核實驗으로 의해 유타주의 St. George 마을의 草園이 汚染된 후 이 汚染된 풀을 攝取한 乳牛의 우유를 먹은 5세 미만의 어린이들중에서 thyroid tumor가 發生한 例가 있었고⁹ 또한 1954년 Marshall群島의 住民들이 15-megaton thermonuclear device의 爆發로 漏出된 放射性 iodine(¹³¹I)에 노출된 후 thyroid adenoma와 carcinoma가 誘發되었다^{6,8}고 하였으며, 1957年 영국의 Windscale에서의 原子爐 제 1 호기로부터 核分裂生性物質의 漏出事故로 ¹³¹I, 20,000 Ci가 放出되어 公衆保健에 심각한 문제로 대두되었으나 汚染된 生草를 攝食한 乳牛의 乳牛給與를 금함으로써 除染하였다고 한다.^{1,9}

radioiodine의 除染에 대해 Legemann 및 Thompson⁵, ASAMS 및 Bonnell⁷, Norwood¹⁴, IAEA Safety series⁶, NCRP report 등^{10,16}, BLOM과 Eisenbud¹⁹ 및 Johnson 등²⁰은 Isotopic dilution 방법으로 stable iodine인 potassium iodide 130mg, sodium iodide 100mg 그리고 magnesium iodide 100mg을 汚染前에 각각 經口投與하면 甲狀腺이 완전히 防護되어지나 汚染과 동시에 投與할 경우에는 90%가 防護되어지며, 汚染後 4시간이 경과된 후에 投與할 경우에는 50%가 防護된다고 하였으며 또한 放射性 iodine에 汚染後 24시간이 지

나서 stable iodine을 投與하면 除染에 아무런 영향을 주지 않는다고 하였으나 아직 人體의 防護에 尤호한 緊急處置劑는 개발되지 못한 실정에 있다.

이와같이 외국에서는 radioiodine의 汚染에 對한 豫防對策이 公衆保健學的인 側面에서 매우 중요하게 다루어지고 있으나 국내에서는 이에 대한 研究가 全無한 실정에 있는 바이다.

이에 본 研究는 radioiodine이 人體에 미치는 영향의 輕減과 放射線障害에 對한 診療對策의 確立을 위한 基礎資料를 마련코자 排泄劑를 利用하여 體內蓄積된 放射性 核種의 體外排泄을 促進시키고 이들 藥劑間의 效果 및 特性을 觀察하였던 바 그 結果를 보고하는 바이다.

材料 및 方法

供試動物: 供試動物로는 封鎖集團으로 繁殖飼育한 生後 10~12週된 雌性 非近交系 NIH-(GP) 마우스(原子力病院 實驗動物 飼育室) 240마리를 供試하여 23±1°C 恒溫調節되는 飼育室에서 polycarbonate로 製作된 metabolic cages(30×30×15cm)에서 飼育하였으며 給與飼料는 美國 NIH-7-open-formula에 따라 제조된 固形飼料를 供給하고 자유롭게 給水하였다.

實驗動物에 投與한 放射性 核種으로는 sodium iodide (韓國에너지 研究所 1 μ Ci)에서 분리한 radioiodine을, 排泄劑로는 sodium iodide(Switzerland Fluka) 및 potassium iodide(Switzerland Fluka)와 saline(대한중의 제약)을 사용하였다.

投與用量 및 方法: sodium iodide 1 μ Ci를 capantic radioisotope calibrator(model:CRC-30)로 calibration한 다음 定量的 iodine을 radioisotope fume hood 내에서 saline 0.2ml와 混合하였다.

그리고 saline과 混合된 ¹³¹I 1 μ Ci 溶液을 repeating dispensers syringe를 이용하여 마우스에 注射한 후 MCA(Tracer Northern, TN-7200)로 γ -ray線量率을 測定하였다.

또한 實驗動物의 腹腔內에 ¹³¹I 1 μ Ci(37KBq)를 投與하여 體內汚染시킨 後 0, 1, 2시간에 각각 排泄劑인 potassium iodide 2.6mg과 sodium iodide 2mg을 saline 0.2ml에 각각 溶解해서 並行投與 하였으며 saline 5ml을 腹腔內에 投與하여 比較觀察하였다.

對照群으로는 saline과 混合된 ¹³¹I 1 μ Ci 溶液을 腹腔內에 單獨投與한 마우스를 동시에 供試하여 觀察하였다.

한편 각 實驗動物의 尿를 2, 4, 6, 8, 24, 48시간에 각각 採取하여 尿로 排泄된 放射能을 計測하는 동시에 全身

의 放射能을 測定한 다음 頸部脫臼로 屠殺剖劊한 후 重要臟器의 放射能 殘存量을 計測하고 藥劑間的 排泄 促進效果를 比較觀察 하였다.

結 果

放射性 iodide을 마우스의 體內에 汚染시킨 후 排泄 劑인 potassium iodide, sodium iodide, saline을 各各 投與하여 그 效果를 觀察하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

放射性 iodine의 體內殘存率에 있어서는 放射性 iodine으로 經口汚染된 對照群의 體內殘存率變化(Fig 1)를 體內汚染後의 計測量을 基準(0시간)으로 해서 觀察해 본 바 0시간(100%), 2시간(72.7%), 4시간(43.4%), 6시간(31.2%), 24시간(10%), 48시간(9.8%)로 體內殘存率이 급격히 감소하여 指數函數의 形式으로 감소하는 傾向으로 나타났으며 24시간 이후에는 體內殘存率이 10%이하로 장기간 잔류할 것으로 예상된다.

그리고 排泄劑인 sodium iodide가 放射性 iodine의 全身殘存率에 미치는 영향은 ^{131}I 을 單獨投與한 群과 ^{131}I 을 投與하고 시간경과에 따라 0.1, 2시간에 각각 sodium iodide을 投與한 實驗群을 2, 4, 6, 24, 48시간에 全身殘存放射能을 計測하여 sodium iodide의 緊急處置效果(Fig 1)을 對照群에 대한 백분율로 환산한 結果, 體內汚染後 sodium iodide을 處置한 시간에 따라 全身殘存率에 미치는 영향에 있어서는 處置後 6시간이 경과하였을 때에는 0시간 투여군(5.2%), 1시간 투여군(6.4%), 2시간 투여군(8.4%)이었으며 48시간에서는 0시간 투여군(4.6%), 1시간 투여군(5.5%), 2시간 투여군(7.3%)로 測定되었다.

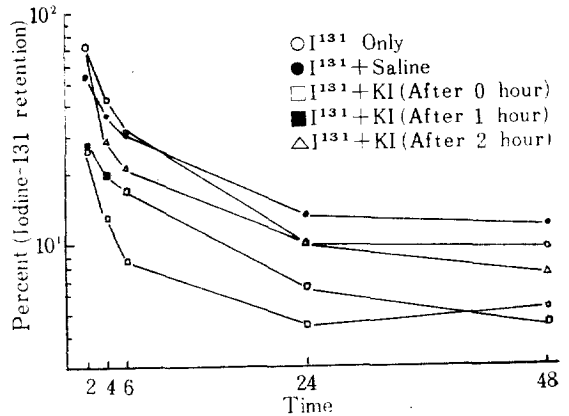


Fig 2. Effect of potassium iodide or saline on the whole body retention of mice following intraperitoneal infection of Iodine-131.

이와같이 體內汚染을 하고나서 sodium iodide을 投與한 시간차이에 따른 效果는 별 유의성이 나타나지는 않았지만 대체로 緊急處置時間이 빠를수록 放射性 iodine의 體內殘存率이 급격히 감소하는 傾向을 보였다.

sodium iodide와 동일한 방법으로 potassium iodide을 緊急處置한 바(Fig 2) sodium iodide를 緊急處置한 效果와 유사하게 나타났으며 體內汚染을 하고 각 시간 별로 緊急處置劑를 投與한 結果, 處置後 6시간이 지났을 때에는 處置時間에 따라 각각 0시간 투여군(8.4%), 1시간 투여군(17.2%), 2시간 투여군(21.2%)이었고, 24시간에서는 0시간 투여군(5.1%), 1시간 투여군(4.5%), 2시간 투여군(7.4%)로 計測되었다.

이것으로 볼 때 potassium iodide의 緊急處置 效果는 藥劑投與를 빨리 할수록 放射性 iodine의 體內殘存率이 상당히 감소하였다.

이상의 結果로 볼 때 放射性 iodine의 全身殘存率에 미치는 緊急處置의 效果는 藥劑投與의 시간이 단축될수록 全身殘存率이 감소되는 것으로 觀察되었다.

放射性 iodine의 thyroid uptake에 對한 緊急處置의 效果에 있어서는 對照群의 體內에 汚染된 放射性 iodine에 대한 thyroid uptake의 영향(Fig 3)은 空氣中 放射能의 計測置에 對하여 각각 2시간(3.3%), 4시간(4.2%), 6시간(7.1%), 8시간(6.9%), 24시간(5.9%), 48시간(4.6%)로 測定되었으며 體內汚染을 한 후 sodium iodide의 緊急處置를 0시간, 1시간, 2시간후에 하고나서 2, 4, 6, 8, 24, 48시간에 甲狀腺內 蓄積된 放射能을 計測(Fig 3)한 바 6시간이 경과 되었을 때 處置時間에 따라 각각 0시간 투여군(1%), 1시간 투여군(2.8%), 2시간 투여군(2.9%)이었으며, 48시간에서는 0시간 투여군(0.5%), 1시간 투여군(2.2%), 2시간 투여군(3.2%)

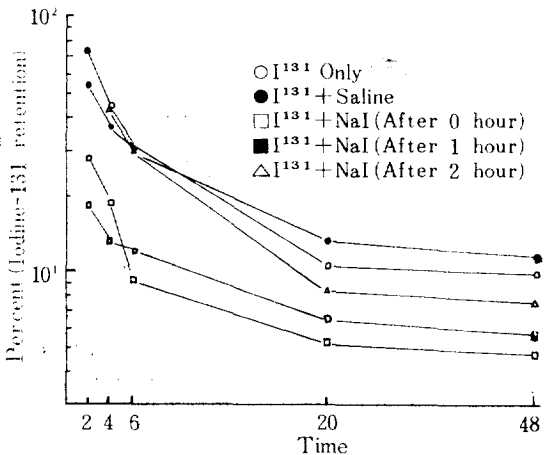


Fig 1. Effect of sodium iodide or saline on the whole body retention of mice following intraperitoneal injection of Iodine-131.

%)로 상당히 유의성이 있었으며 potassium iodide를 投與한 群에서는 sodium iodide와 동일한 방법으로 測定한 結果(Fig 4) sodium iodide을 緊急處置한 群보다는 效果가 없었으나 體內汚染後 6시간이 경과되었을 때 對照群에 비하여 0시간 투여군(2.1%), 1시간 투여군(4.2%), 2시간 투여군(4.3%)이었고, 24시간일때는 0시간 투여군(1.8%), 1시간 투여군(3.4%), 2시간 투여군(4.8%)이었으며 48시간에서는 0시간 투여군(1.4%), 1시간 투여군(3.2%), 2시간 투여군(4.0%)로 나타났고 또한 saline의 緊急處置效果(Fig 3,4)는 放射性 iodine의 thyroid uptake를 억제시키는데 상당히 기여하였으며 특히 體內汚染과 동시에 saline을 投與한 群에서는 potassium iodide을 radioiodine의 體內汚染後 1시간에 處置한 群과 유사한 경향을 나타냈으므로 應急時에 saline를 다량 투여하는 것이 放射性 iodine의 thyroid uptake을 억제하는데 중요한 역할을 할 것으로 추측된다.

상기의 結果에 비추어 볼 때 生體內에 放射性 iodine이 汚染된 후 緊急處置劑의 投與를 빨리 할수록 thy-

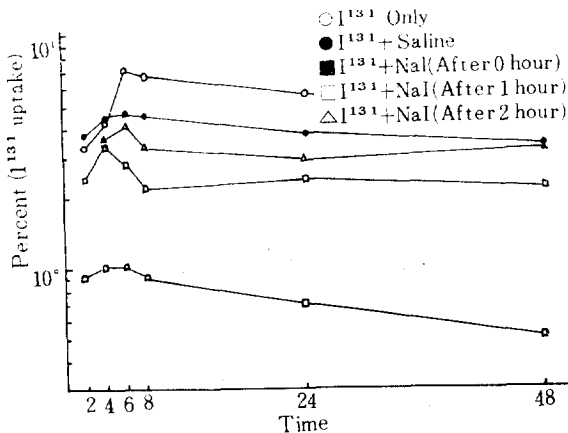


Fig 3. Effect of sodium iodide or saline on thyroid iodine uptake of mice following intraperitoneal injection of Iodine-131.

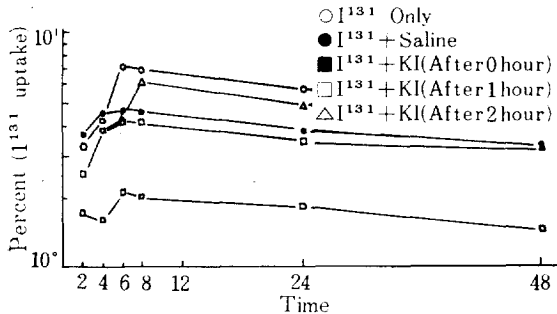


Fig 4. Effect of potassium iodide or saline on thyroid iodine uptake of mice following intraperitoneal injection of Iodine-131.

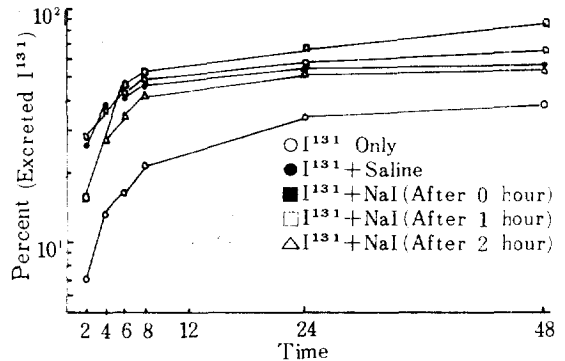


Fig 5. Effect of sodium iodide or saline on urinary iodine excretion of mice following intraperitoneal injection of Iodine-131.

roid uptake의 억제효과는 크게 증가되었으며 특히 飲料水를 많이 攝取하면 放射性 iodine의 除染에 크게 작용할 것으로 思料되었다.

尿를 통한 放射性 iodine의 排泄에 미치는 緊急處置劑의 效果에 있어서 對照群(Fig 5)에서는 放射性 iodine을 投與한 후 體內汚染된 放射能의 計測置를 基準(100%)으로하여 시간경과에 따라 測定한 바 2시간(7%), 4시간(13.2%), 6시간(16.3%), 8시간(21.2%), 24시간(33.1%), 48시간(38.4%)로 排泄되었으며, sodium iodide을 緊急處置한 群(Fig 5)에 있어서는 시간경과에 따라 緊急處置劑를 投與하여 放射性 iodine의 排泄效果를 과약코자 0시간, 1시간, 2시간으로 實驗群을 구분하고 모든 實驗群에 ^{131}I 을 投與한 후 2, 4, 8, 24, 48시간에 排泄된 放射性 iodine의 放射能을 測定하고 그 計測值를 백분율로 환산해 본 바 體內汚染後 6시간에서의 緊急處置效果는 0시간 투여군(46%), 1시간 투여군(42.1%), 2시간 투여군(34%)이었고, 24시간일때는

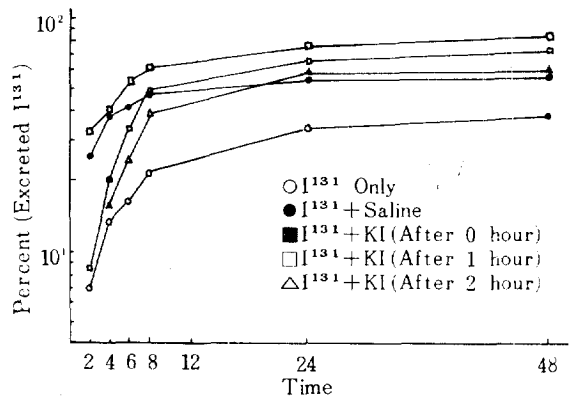


Fig 6. Effect of potassium iodide or saline on urinary iodine excretion of mice following intraperitoneal injection of Iodine-131.

0시간 투여군 (65.2%), 1시간 투여군(42.1%), 2시간 투여군(52.3%)로 유의성이 있었으며, potassium iodide로緊急處置한效果(Fig 6)는 sodium iodide을處置한方法과 동일하게實驗하였던바體內汚染後6시간에서는處置時間에 따라 각각 0시간 투여군 (52.1%), 1시간 투여군(33.4%), 2시간 투여군(24.3%)이었고, 24시간일때에는 0시간 투여군(75.1%), 1시간 투여군(64.5%), 2시간 투여군(58.3%)이었으며, 48시간에서는 0시간 투여군(84.5%), 1시간 투여군(73.4%), 2시간 투여군(60%)로對照群에 비해 방사성 iodine의排泄效果가 상당히 증가되었고 또한 saline의緊急處置가放射性 iodine의排泄에 미치는效果(Fig 3. 1, 3. 2)는體內汚染後2시간(25.5%), 4시간(37.4%), 6시간(41.1%), 8시간(46.3%), 24시간(54.1%), 48시간(56.2%)로 나타났으며對照群에 비해排泄促進效果가 다소 관찰되었다.

考 察

Radioiodine은 20種이상의 同位元素를 가진放射性核種으로 그중 iodine-131은核醫學的診斷 및 生化學的 研究에 많이 利用되어 왔으며 특히 tracer로 사용하여人體內 iodine대사 등에 관해 研究^{4, 21}가 되어왔던 바 이로 인하여誘發된 從事者의 體內汚染뿐만 아니라 iodine-131은 uranium이나 plutonium의核分裂時에 大量放出되는核種으로核武器實驗과 原子爐事故로 大氣汚染²² 및 環境汚染⁷을 시키므로 이에 대한 대책의 일환으로 著者 등은 iodine-131을 mouse 體內에 汚染시킨 후 藥劑의 除染效果를 比較觀察해 본 結果 sodium iodide와 potassium iodide가 현저한 除染效果를 나타냈다.

Radioiodine의 體內汚染經路에 관해서는核事故로 放出되는 대부분의 iodine은 水溶性物質로서 經口^{6, 14}, 經皮^{9, 10}, 吸入^{7, 8}을 통해서 汚染된다고 하였으며 직업적인 從事者 이외의 住民에 대한 汚染經路는 牛乳와 飲食物을 통한 體內汚染⁵이라고 하였다.

그리고 體內汚染된 radioiodine이 生體에 미치는 영향으로는 Doniach¹²가 갑상선증을 誘導證明한 이래 Handler²² 및 Handler²³는 radioiodine이 rat thyroid gland에 대한 발암작용을 하므로 노출후 1년이 지나면 adenoma가 有發되고, 2년 經過時에는 惡性腫瘍이 發生한다고 하였으며, Garner¹¹는 甲狀腺內의 radioiodine uptake가 動物 個體間的 差異와 thyroid gland activity의 계절적인 差異 및 음식물중에 함유된 stable iodine의 量에 따라 변화한다고 하였고, Doniach¹²는 dietary low iodine uptake, chemical goitrogens, subtotal thyr-

oidectomy, TSH過量分泌 등으로 인하여 甲狀腺癌이 有發될 수 있을뿐만 아니라 放射線에 의한 甲狀腺細胞의 代償性肥大가 Tumor形成을 促進시킨다고 하였다.

核事故로 誘發된 radioiodine-131의 汚染事故에 對해 네바다사막에서의核實驗으로 인한 環境汚染¹⁶, 15-megaton thermonuclear device 爆發로 發生된 Marshall 群島의 住民汚染^{8, 9}, 英國 Windscale에서의 原子爐事故에 의한 大氣汚染 그리고 체르노빌 原電火災로 飛散된 各種의 核種汚染 등으로 發生된 環境汚染과 人命被害로 人類生存에 지대한 영향을 초래하였다고 IAEA에서 報告한 바 있다.⁹

Radioiodine의 汚染에 대한 근본적인 診療對策에 있어서 food chain의 汚染防止뿐만 아니라 汚染된 지역에서는 ion exchange columns의 이용, 저장된 우유 및 飲食物을 代用하고 특히 乳兒나 어린이는放射性 iodine에 대하여 민감하므로 飲食物攝取에 주의해야 하며 各種 飲食物중 바다생선, 바다조개류, 다시마, 미역을 多量攝取하면 radioiodine 除染에 좋은 效果가 있다고 언급한 바 있다.¹⁴

그리고 본 研究에서 증명된 바와 같이 核實驗이나 原子爐事故에 의한 radioiodine의 體內汚染時에는 inorganic compound(KCNS, KClO₄)⁵ 또는 stable iodide^{7, 13~15, 17, 19, 20}를 신속히 投與함과 동시에 saline을 並行 投與할 경우 甲狀腺에서의 radioiodine uptake를 차단하여 radioiodine排泄을 促進시키므로 放射線에 對한 人體障害을 輕減한다고 記述하였다.

이상에서 본 바와 같이 불의의核事故로 體內汚染된 radioiodine의 除染은 신속하게 stable iodine과 saline을 並行 投與하므로 體內에 미치는 放射線 人體障害을 輕減시킬뿐만 아니라 放射性核種의 排泄을 促進시키므로 人類의 壽命延長과 災害對策에 至대한 效果가 있을 것으로 思料되었다.

結 論

國內 原子力産業의 시설중대로 放射性核種汚染의 가능성이 날로 증가되고 있음에도 불구하고 安全對策 및 醫療的 處置에 관한 研究가 전무한 실정에 있어 이에 대한 基礎資料 마련의 일환인 應急處置方案을 수립코자 放射性核種에 汚染된 후 緊急處置劑를 投與하여 觀察하였던 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 抗 甲狀腺劑인 sodium iodide 및 potassium iodide는 體內汚染된 radioiodine의 體外排泄을 促進시켜 全身殘存量을 減少시켰다.
2. 甲狀腺障害에 對한 防禦效果는 sodium iodide, potassium iodide 그리고 saline의 順으로 有效하였다.

3. Radioiodine으로 體內汚染된 후 多量の saline으로 處置한 群에서는 放射線障害에 對하여 다소 방어효과를 나타냈다.

以上の 結果로 볼 때 原電事故로 飛散되는 radioiodine에 의한 汚染患者에 對한 긴급처치는 오염과 동시에 sodium iodide와 saline을 병행투여함으로써 放射線에 의한 人體障害를 경감시켜줄 것으로 思料되었다.

參 考 文 獻

1. Ohmomo Y, Uchiad S, Sumiga M. Problems on internal dose assessment due to iodine-129 through crops. *日本原子力學會誌* 1985;27:388~394.
2. Snyder WS. *Report of the take take group on reference man*. Pergamon Press, 1981;196~202.
3. Wayne EI, Koutras DA, Alexander WD. *Clinical aspects of iodine metabolism*. Barthotomew press, 1964;37.
4. Ingbar SH. Autoregulation of the thyroid response to iodide excess and depletion. *Mayo Clin Proc* 1972;47:814~820.
5. Lengemann FW, Thompson JC. Prophylactic and therapeutic measures for radioiodine contamination: a review. *Health physics* 1963;9:1391~1397.
6. Conard RA. Thyroid nodules and leukemia in Marshalles population exposed to fallout 20 years ago. *Radiat Res* 1974;59:313~325.
7. ASAMS CA, Bonnell JA. Administration of stable iodide as a means of reducing thyroid irradiating resulting from inhalation of radioactive iodine. *Health physics* 1962;7:127~137.
8. Conard RA, et al. A twenty year review of medical findings in a Marshalles population accidentally exposed to radioactive fallout. *Report BNL-50424* 1975.
9. Nakao J. Medical cape of radiation accidents. *NIRS* 1986;79~86.
10. Management of persons accidentally contaminated with radionuclides. *NCRP report No 65*. 1980.
11. Garner RJ. Comparative early and late effects of single and prolonged exposure to radioiodine

- in young and adults of various animal species: a review. *Health physics* 1963;9:1333~1339.
12. Doniach J. Effects including carcinogenesis of I^{131} and x-rays on the thyroid of experimental animals: a review. *Health physics* 1963;9:1357~1362.
13. *Manual on early treatment of possible radiation injury*. IAEA safety series No 17. Vienna 1978.
14. Norwood WD. *Health protection of radiation workers*. Springfield: Charles C Thomas, 1972; 268~272.
15. *Manual on early medical treatment of possible radiation injury*. IAEA safety series No 47. Vienna 1978;84~85.
16. Protection of the event of releases of radioiodine. *NCRP report No 55*. 1979.
17. Richmond CR. Retention and excretion of radio-nuclides of the alkali metals by five mammalian species. *USAEC Rep La-2207* 1958.
18. Bernhardt DE, Carter MW, Buck FN. Protective actions for radioiodine in milk. *Health phys* 1971;21:401~413.
19. BLOM M, Eisenbud M. Reduction of thyroid irradiation from I by potassium iodide. *J Am Med Assoc* 1967;200:1036~1042.
20. Johnson AE. The rate of return of radioiodine uptake up the normal thyroid after suppression by pharmacological doses of stable iodide. *Health physics* 1963; 9:537~542.
21. Evaluation or radiation doses to body tissues from internal contamination due to occupational exposure. In: *Radiation protection*. ICRP publication 10. Oxford: Pergamon Press, 1979;63~68.
22. Handler P. The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation. In: *Radiation in the realing arts*. Washirgton DC: National Academy Press, 1980;44~81.
23. Handler P. The effects on populations of exposure to low levels of ionizing radiation. In: *Radiation in the realing arts*. Washington DC: National Academy Press, 1980;288~305.