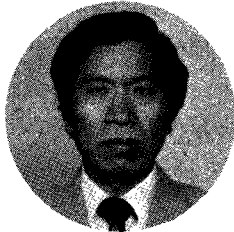


放射線 및 放射性同位元素

— 生産, 利用과 防禦 ⑤ —



金 載 祿

〈韓國에너지研·同位元素室長〉

〈承 前〉

3. 醫學的 利用

가. 일반적 사항

RI 및 그 標識化合物이 人體에 投與되었을 때에 身體內 各 臟器에 選擇的으로 集積되고 거기에서 放射線을 放出함으로 그 放射能을 體外에 設置한 計測器 또는 畫像器에 나타내어 그 臟器의 構造, 機能異常有無 등을 診斷할 수 있다. 이것은 體內에 가려진 内部臟器에 對한 一種의 radiography(방사선 사진술)로써 보이지 않는 臟器를 간접적으로 볼 수 있는 Visualization technique이다. 만약 臟器에 構造的으로 異常이 있거나 機能이 減退되었을 경우 γ 映像에 異常을 나타내거나 集積速度 또는 他 臟器나 體外로의 放出速度(clearance rate)가 달라지게 되며, RI 또는 그 化合物에 따라 特定臟器의 疾患種類에 따라 正常보다 더 많이(positive image) 또는 더 적게(negative image) 集積하게 된다.

RI 또는 그 標識化合物이 體內에 投與되거나 體外에서의 檢査 등 醫學的으로 쓰여질 때 이들을 “放射性醫藥品”(Radiopharmaceuticals) 이라고 한다.

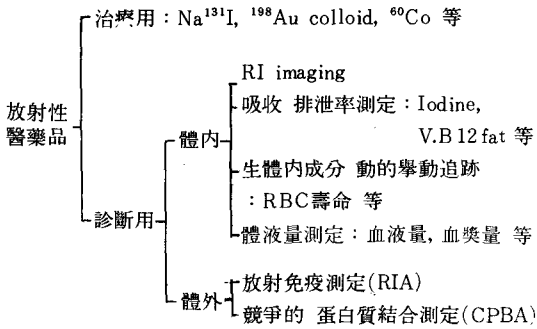
放射性醫藥品의 大部分은 診斷目的으로 利用

되며 治療目的으로 利用되는 것은 많지 않은데도 不拘하고 이와같은 명칭이 붙은 것은 어느 면으로 보면 不合理한 것 같다. 體內에 投與하여 診斷目的으로 쓸 경우의 RI核種은 비교적 반감기가 짧으며 毒性이 없고 單一에너지의 γ 放出體이어야 理想的이다. 이와같은 診斷目的에 RI나 그 化合物이 愛用되는 理由는 極微量을 投入하여도 充分히 檢知할 수 있는 放射線을 방출해냄으로서 體內에서의 代謝異常이나 다른 副作用을 極小化시킬 수 있는 長點이 있기 때문이다.

醫療的利用方法에 따르는 分類를 表14에 나타내었다.

表14에서 보는 바와 같이 ^{60}Co 등 강한 γ 放出體는 惡性腫瘍의 治療에, ^{131}I 는 甲狀腺疾患 治療에, ^{198}Au 는 婦人科 疾患治療에 各各 利用된다. 한편 體外檢査를 통한 診斷的利用에는 비교적 반감기가 길면서 적당한 γ 에너지를 가져야 하며, 비교적 용이하게 여러 物質에 標識가 가능한 RI核種이 理想的이다. 現在 內科疾患 診斷을 위한 體內投與用 核種으로 가장 많이 쓰이는 것은 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ($T_{1/2}=6\text{h}$, 140Kev , γ)이며, 體外檢査를 통한 診斷(放射免疫測定, Radioimmunoassay, RIA)用 核種으로 가장 많이 쓰이는 것

〈表14〉放射線醫藥品の分類



은 ^{125}I ($T_{1/2}=60\text{d}$, 0.035Mev , γ)이다.

나. 放射線醫藥品の集積理論

放射線醫藥品の臟器에 對한 集積理論은 다음과 같다.

- 粒子에 의한 毛細管막힘과 Colloid의 食菌作用(phagocytosis)
- 細胞의 격리作用(Cell sequestration)
- 이온交換
- 단순 擴散過程
- 生化學的 集積理論
- 藥理學的 集積理論

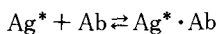
다. 體內投與用 放射線醫藥品

體內에 投與하여 體外에서 γ 영상을 얻고 그를 판독하여 진단하는데 사용되는 放射線醫藥品을 表15에 要約하였다.

라. 放射免疫測定(體外診斷)

放射免疫測定法(Radioimmunoassay)은 1960年度以來 急激히 開發 普及된 放射線追跡子를 利用한 微量生物活性物質의 濃度測定技術이다. 特히 生物體液中的 生物學的 또는 免疫學的 活性物質은 微量 存在하며 活性를 상실하기 쉬운 有機物質이어서 다른 分析方法이나 測定方法의 적용이 곤란하며 RIA법을 적용함으로써 비교적 쉬운 조작으로 감도높게 측정할 수 있어 이 技術을 利用하여 研究·診斷에의 活路를 찾았다.

(1) 原理



+

〈表15〉代表的인 體內投與 診斷用 放射線醫藥品

診斷對象	藥品名	投與量	備考
Brain	$\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$	5~10mCi	
	^{111}In -DTPA	1~2 mCi	
	^{133}Xe inj	10mCi	
Thyroid	Na^{131}I capsule	10~20 μ Ci	
	Na^{123}I "	50~300 μ Ci	
	$\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$	0.5~1 mCi	
Lung	MAA- ^{131}I	0.1~0.4mCi	
	MAA- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1~2 mCi	
	^{133}Xe gas	5 mCi	
Heart	HSA- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	5 mCi	Heart po-
	PYP- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	15 mCi	ol scan, 心
	$^{201}\text{TlCl}_3$	2 mCi	筋 Scan
Liver Gall Bladder Heatobiliary	^{198}Au colloid	150~400mC	} Liver scintig- raphy
	Sn colloid- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1~3 mCi	
	phytate- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	1~3 mCi	} Hepato- biliary scan
	HIDA- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	2 mCi	
Pyridoxilydene isoleucine- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	2 mCi		
Spleen	Selenomethionine- ^{75}Se	200~300 μ Ci	} RBC標 識
	$\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$	0.5~1.5mCi	
	$\text{Na}^{51}\text{CrO}_4$	"	
Kidney	Chloromelodrin- ^{197}Hg	0.1~0.3mCi	} Kidney scan
	DMSA- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	2~5 mCi	
	Hippuran- ^{131}I	40~50 μ Ci	Renography
Bone	PYP- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	10~20 mCi	
	MDP- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	"	
	HMDP- $^{99\text{m}}\text{Tc}$	"	

(1mCi=37MBq)

Ag

↑↓

Ag·Ab

$$[\text{Ag}] + [\text{Ab}] \rightleftharpoons [\text{Ag} \cdot \text{Ab}],$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\text{Ag} \cdot \text{Ab}]}{[\text{Ag}][\text{Ab}]}$$

$$\frac{B}{F} = \frac{[\text{Ag} \cdot \text{Ab}]}{[\text{Ag}]}$$

$$[\text{Ag}] = [\text{Ag}_0] - [\text{Ag} \cdot \text{Ab}]$$

$$[\text{Ab}] = [\text{Ab}_0] - [\text{Ag} \cdot \text{Ab}]$$

$[Ag \cdot Ab] = M$ 이라 놓으면,

$$\left. \begin{aligned} [Ab] &= [Ab_0] - M \\ [Ag] &= [Ag_0] - M \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$K = \frac{M}{[Ag_0 - M][Ab_0 - M]}, \quad \frac{B}{F} = \frac{M}{[Ag_0] - M} \dots\dots (2)$$

$$K = \frac{B}{F} \cdot \frac{1}{[Ab_0] - M} \dots\dots\dots (3)$$

(2)를 M에 대해 풀면

$$M = \frac{\frac{B}{F}[Ag_0]}{\frac{B}{F} + 1} \dots\dots\dots (4)$$

(4)를 (3)에 넣어

$$K = \frac{B}{F} \cdot \frac{1}{\left\{ [Ab_0] - \frac{\frac{B}{F}[Ag_0]}{\left(\frac{B}{F} + 1\right)} \right\}}$$

$$\therefore \frac{B}{F} = K \left\{ [Ab_0] - \frac{\frac{B}{F}[Ag_0]}{\left(\frac{B}{F} + 1\right)} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

(5)의 양변에 $\left(\frac{B}{F} + 1\right)$ 을 곱하면

$$\frac{B}{F} \left(\frac{B}{F} + 1\right) = K[Ab_0] \left(\frac{B}{F} + 1\right) - K \frac{B}{F} [Ag_0]$$

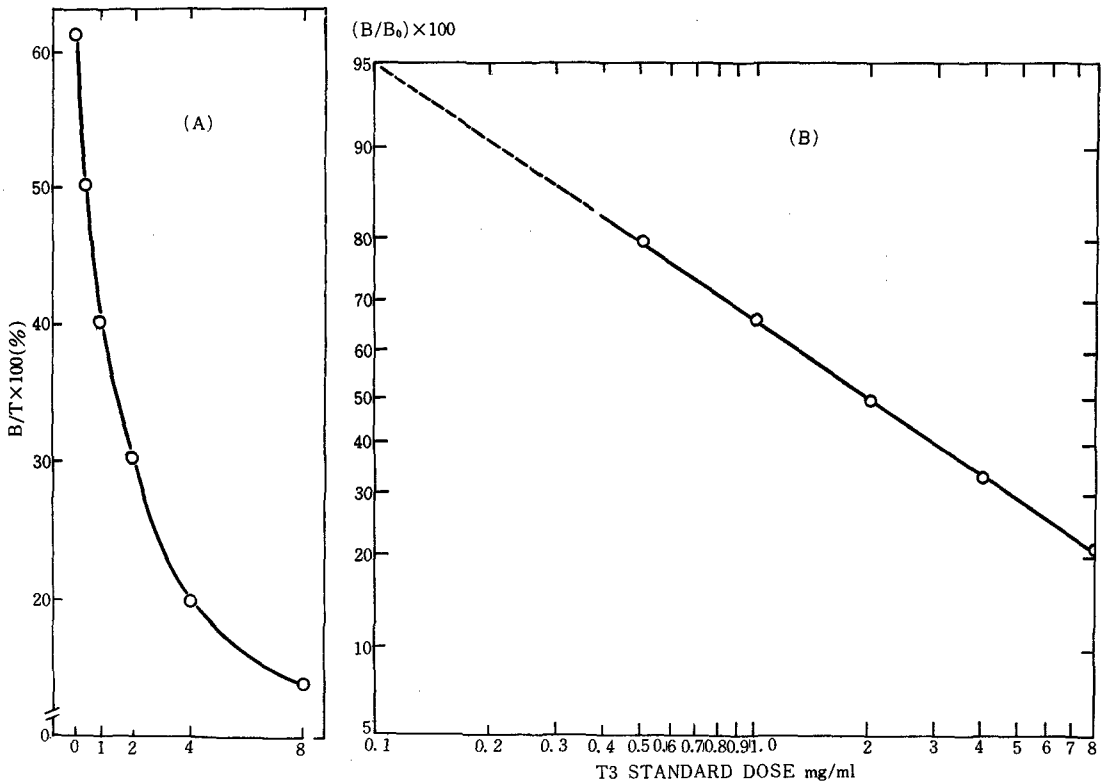
$$\therefore \left(\frac{B}{F}\right)^2 + \frac{B}{F} \{ (1 + K[Ag_0]) - K[Ab_0] \} - K[Ab_0] = 0 \dots\dots\dots (6)$$

즉 $\frac{B}{F}$ 에 대한 2차 방정식이 얻어져 標準dose

-response curve는 雙曲線의 1部가 된다.

그러나 그림16에서 보는 바와 같은 쌍곡선에
서의 시료측정치 reading에 수반되는 오차를 줄
이기 위한 方法으로 logitlog plot법이 개발되었
다.

<그림16> 代表的 RIA標準投與應答曲線(B)logit-log點示



〈表16〉 診斷을 위한 RIA의 主要對象物質들

A. Hormone		
A. 1. Peptide hormone	A. 2. 非peptide hormone	Cancer Marker CEA AFP 기타혈청단백 기타혈청단백 IgE IgE Ab ferritin myoglobin microglobulin 기타 DNA
하수체Hormone	甲狀腺	
HGH	T ₃	
PL	T ₄	
TSH	副腎호르몬	
LH	Hydrocortisone	
	Progesterone	
FSH	Aldosterone	
ACTH	Testosterone	
부갑상선Hormone	Estradiol	
PTH	Estriol	
膵호르몬	B. Hormone 以外物質	
insulin	藥劑	
C-peptide	Digoxin	
소화관호르몬	Digitoxin	
Gastrin	肝炎관련물질	
태반호르몬	HAAb	
HPL	HBsAg	
HCG	HBsAg·Ab	
β-sub HCG	HBeAg·Ab	
	HBcAg·Ab	

$$\text{logit } Y = \ln \frac{Y}{1-Y} = 2.303 \log \frac{Y}{1-Y},$$

$$Y = \frac{B}{F} \text{ 또는 } \frac{B}{B_0}$$

(2) RIA의 必要條件

- 순수한 抗原이 있어야 한다.
- 力價 높고 特異性 있는 抗體가 있어야 한다.
- 放射能 이 높은 RI標識抗原이 있어야 한다.
- 간편 迅速한 B(抗體結合抗原)와 F(遊離狀態抗原)의 分離手段이 있어야 한다.
- 干涉因子가 存在할 경우 그를 극복할 수 있는 方法이 강구되어야 한다.

(3) 診斷用 RIA 對象物質

오늘날 日常 診斷目的으로 遂行하는 RIA 對象物質들을 紹介하면 表16과 같다.

參考로 우리나라에서 수행중인 방사면역키트류와 ^{99m}Tc를 이용한 즉석표지키트류의 수입량

〈表17-1〉 방사면역측정키트류 수입량(1984)

키트명	수입키트수	방사능(μCi)	금액(US \$)
T3	1,474	6	105,720
T4	1,357	8	98,250
TSH	1,311	3	100,630
HBsAg	2,349	65	302,690
HBsAb	1,908	28	249,100
AFP	905	1	89,600
Corab	1,141	84	212,240
기타	6,089	55	688,800
계	16,534	250	1,847,030

〈表17-2〉 ^{99m}Tc즉석표지키트류 수입량(1984)

키트명	수입바이알수	금액(US \$)
석콜로이드	3,427	24,540
HSA	560	5,630
MAA	924	6,100
PYP	990	5,000
DTPA	2,000	16,700
Phytate	1,660	14,600
MDP	4,329	32,300
HIDA	748	9,900
RBC	45	370
Gluconate	30	950
계	14,713	116,090

은 表17-1, 17-2와 같다.

마. 醫療用 싸이클로트론

近來에 와서 人體내에 投與하는 RI로 인한 放射線危險(radiation hazard)을 減縮하고 더욱 鮮명한 畫像(image)을 얻기 위하여 싸이클로트론에서 생산하는 短半減期의 陽電子(positron) 放出核種을 이용하는데, 陽電子放出核種은 陽電子消滅放射線(positron annihilation radiation)을 내며 0.51Mev의 γ光子 두개를 反對方向으로 放出하므로 이들을 同時計數함으로써 放出位置의 3次元的作圖가 가능하게 되어 診斷情報 信賴度の 向上이 이룩되었기 때문이다. 代表的인 醫療用 싸이클로트론을 利用해 生産한 核種은 表18에 나타낸 것과 같다.

〈表18〉 主要 사이클로트론利用生産 醫療用 RI核種

RI	Half life	Mode of decay	Principal Nuclear reaction for Production
¹⁴ C	20. 3m	$\beta^+(99. 8)$ EC(0. 2)	¹⁴ N(p, α) ¹⁴ C
¹³ N	9. 9m	$\beta^+(100)$	¹² C(d, n) ¹³ N
¹⁵ O	2 m	$\beta^+(99. 9)$ EC(0. 1)	¹⁴ N(d, n) ¹⁵ O
¹⁸ F	109. 7m	$\beta^+(96. 9)$ EC(3. 1)	¹⁶ O(³ He, p) ¹⁸ F
⁴³ K	22. 2h	$\beta^+(100)$	⁴⁰ Ar(α , p) ⁴³ K
⁶⁷ Ga	78. 3h	EC(100)	⁶⁶ Zn(d, n) ⁶⁷ Ga
⁷⁷ Br	57 h	$\beta^+(0. 7)$, EC(99. 3)	⁷⁷ Se(p, n) ⁷⁷ Br
¹¹¹ In	2. 8d	EC(100)	¹¹¹ Cd(p, n) ¹¹¹ In
¹²³ I	13. 0h	EC(100)	¹²³ Te(p, n) ¹²³ I, ¹²⁷ I (p, 5n) ¹²³ Xc \rightarrow ¹²³ I
²⁰¹ Tl	73. 5h	EC(100)	²⁰² Hg(p, 2n) ²⁰¹ Tl

4. 農學의 利用

農學研究에서는 선원을 利用하는 分野 및 追跡子를 利用하는 分野로 나누어 생각할 수 있으며, 線源을 利用하여 食品의 長期保存, 品種改良, 害蟲驅除 등을, 追跡子를 利用하여 作物生理研究, 土壤 및 肥料研究, 家畜, 農藥 農業 土木研究 등을 수행한다. 利用하는 主要 RI는 ³²P, ³⁵S, ⁴⁵Ca, ³⁶Cl, ⁴²K, ²⁴Na, ¹³¹I, ⁵⁹Fe, ⁹⁹Mo, ⁶⁰Co, ¹⁴C, ³H 등이다.

특히 ⁶⁰Co는 大單位 7農場 및 食品照射용으로 사용된다.

가. 放射線感受性

生物의 放射線感受性的의 差異比較 및 突然變異育種을 위해 참고할 수 있는 소위 半致死量(50% lethal dose, LD₅₀)이 알려졌다. 그것은 農作物 및 기타 有用植物에 방사선을 照射한 다음 30일째에 과중했거나 심어둔 植物體의 半數가 致死하는데 要하는 放射線照射量이다. 約 130종의 作物 및 有用植物에 對한 것이 알려져 있는데 照射部位에 따라 差異가 있으며 農作物의 seed에 조사한 경우는 대략 8~40KR이다.

나. 突然變異 育種法

예를 들면 보리에 放射線을 照射하여 키가 작으면서 收量이 높은 新品種이 育成된 바 있다. 그와 같은 新品種은 約30種이 알려졌다.

다. 食品保存

農產物 및 食品의 파괴者는 곤충류, 박테리아類, 곰팡이類 및 自體內的 酵素 등인데 이들을 죽이는데 要하는 致死放射線量은 모두 다르다. 따라서 最適 照射線量이 選定되어야 하며 특히 食品에 대해서는 저장성뿐만 아니라 색·맛·향기·신선도 등에 新중한 검토가 필요하다.

현재 방사선처리식품을 여러 각도에서 검토하여 그 보존을 위한 방사선조사가 허용된 품목은 25個 品目이며 約20개 국가가 법적허가를 하고 있다(表19).

라. 害蟲驅除

DDT, BHC, parathion 등 강력한 農藥살포에도 불구하고 병충해가 더욱 심해지고 있는 이유는 이들에 대한 저항성이 생겨나기 때문이다. 그리고 農작물품종이 발달됨에 따라 이들이 병충해에 대한 저항성을 잃게 된대다 天敵이 많이 없어졌기 때문이기도 하다. 이를 제거하기 위한 方法으로 放射線照射에 의한 雄性不妊技術이 實用化되었다. 이 方法으로 蝨파리, screw worm 등 家畜害蟲, fruit fly 등 果蠅加害蟲, codling moth 등 사과加害蟲, boll weevil 등 木花加害蟲 같은 害蟲防除에 成功을 했다. 이 方法의 長點은 天敵의 死滅이 없고 殘留毒性이 없으며 散布範圍가 넓다는 점이다.

그 밖에 추적자의 농학적이용에 의한 작물생리, 시비법연구 가속 및 수산자원개발 등은 제한된 지면관계로 생략한다.

5. 放射線 및 그 防禦

가. 放射線

放射線(radiation)이란 空間을 傳播移動하는 에너지의 흐름이다. 그리고 粒子線(corpuscular radiation)과 電磁放射線(electromagnetic radiation)으로 分類한다.

粒子線은 原子, 分子 등의 微粒子가 가는 方向로 一定方向으로 날아가는 흐름을 말한다. 그

〈表19〉 세계 각국의 放射線照射食品 許可狀況(1983 IAEA資料)

許可品名	國名	아르헨티나	호주	벨기에	불가리아	캐나다	칠레	체코	덴마크	프랑스	서독	항가리	이스라엘	이탈리아	일본	네덜란드	필리핀	남아프리카	스페인	태국	영국	우루과이	미국	소련
Coalfish																76								
빵類																80								
쌀, 쌀가루																79								
파파이아																		78						
냉동새우			79													78								
냉동 식용게구리다리																		77						
아보가도																		77						
건조 바나나																77								
Sour green																76								
겹질간 마령서												76												
캔용 肉類												74												
혼합향신료																								
shallots				80						77														
생선액체식품																72								
환자용 냉동식품											72					69								
환자식품																					69			
건조식품 농축물					72																			66
haddock						73										76								
새우류																70								
調理肉																								67
담고기						73										71 76		78						66
半調理 肉類品																								64
小麥粉, 全小麥粉						69																		
小麥粉																								63
穀類					72																			59
香辛料 및 藥品				80								74				71								
endives																75								
製果用 混合材料																74								
고로계용 야채																74								
코코아豆																69								
망고																		78						
딸기				80								73				69		78						
아스파라가스																69								
버섯										76						69								
果實 및 야채류					72																			64
乾果類					72																			66
마늘				80	72					77				73				78						
양파				80	72	65	76		77		73	68	73		71 75	71	78	75	73					67 73
고구마		78		80	72	60	74	76	70	72	74	69	67	73	72	70	72	77	69			70	64	58

리고 粒子線에서는 電子線(β⁻線), 陽電子線(β⁺線), 陽子線, 重陽子線, α粒子(He核), 中性子, μ中間子, π中間子, K粒子, 核分裂片, 重이온 (⁷Li, ¹¹B, ¹²C, ¹⁴N, ¹⁶O, ²⁰Ne, ⁴⁰Ar 등) 등이 있다.

粒子線의 에너지(E)는 그 질량(m)과 速度(v)에 의존하기 때문에 速度v가 光速에 비해 대단히 느린 경우에는 다음과 같이 된다.

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

放射線에너지는 흔히 電子볼트(eV, electron volt)로 표시된다. 1eV는 진공중에서 전자가 1 V의 電位差로 加速되었을 때 얻는 運動에너지이다. 다른 에너지單位와 比較하면 다음과 같다.

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{erg} = 1.6 \times 10^{-19} \text{Joule}$$

電磁放射線이란 電磁場의 週期的變化가 波動으로 傳播되는 것으로 라디오나 TV의 電波, 赤外線, 可視光線, 紫外線, X線, γ 線, 宇宙線 등을 칭한다. 電磁放射線은 波動性和 함께 粒子性도 갖고 있다. 그래서 이들을 光子(photon)라고도 한다. 이 때의 에너지는 $E=h\nu$ 로 表示된다.

여기서 에너지 $h\nu$ 를 光量子(light quantum)라고도 한다. [h 는 plank's constant($6.6 \times 10^{-27} \text{erg} \cdot \text{sec}$)이며 ν 는 진동수이다.]

이와같이 電磁放射線은 波長에 의해 에너지가 決定된다. 이들 放射線이 物質과 相互作用하여 原子에서 核外電子를 電離시키기에 充分的 能量을 갖고 있느냐 아니냐에 따라 電離放射線(ionizing radiation)과 非電離放射線(non-ionizing radiation)으로 分類한다.

電離放射線이란 다음의 粒子線이나 電磁波를 칭한다.

- ① α 粒子, 重陽子線 및 陽子線
- ② β 粒子 및 電子線
- ③ 中性子束
- ④ γ 線 및 X線

나. 放射能

우라늄, 토륨, 라듐과 같은 原子의 原子核은 放射線을 放出하면서 崩壞한다. 그리하여 보다 安定한 核이 되려고 한다. 이와같이 原子核自體가 放射線을 放出하는 性質을 放射能(radioactivity)이라고 한다. 또 原子核이 放射線을 放出하면서 他核種으로 變化되는 過程을 放射性崩壞(radioactive decay)라고 한다. 이와 같은 性質을 갖는 原子를 放射性核種(radionuclide)

또는 放射性同位元素(radioisotope, RI)라고 하며 放射性核種이 放出하는 放射線에는 α 粒子, β 粒子, γ 線이 있다.

放射能의 세기를 나타내는 記號는 A이며 다음과 같이 定義한다.

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

여기서 dN 은 崩壞되는 原子數, dt 는 時間이고 \ominus 符號는 原子數가 減少됨을 뜻한다. 放射能의 單位는 秒當 崩壞數(dps)나 Ci(큐리)로 表示된다.

1Ci는 1g의 라듐이 每秒 崩壞되는 數인 3.7×10^{10} 個/秒로 表示하여 왔지만 점차 國際單位로 代替되고 있다. 國際單位인 SI單位系에서는 放射能의 單位를 秒當崩壞數(sec^{-1})로 定하였고 固有名稱으로 Bq(Becquerel)이 使用된다. Ci 및 dps와의 關係는 다음과 같다.

$$1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{dps}$$

$$1\text{Bq} = 1 \text{dps}$$

單位時間當 崩壞되는 原子數는 崩壞치 않고 存在하고 있는 原子數 N에 比例한다.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (\lambda \text{는 崩壞常數})$$

이 式을 積分하면

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

가 된다. N_0 는 最初에 있던 放射性原子數이고 N_t 는 t 時間後에 남아있는 放射性原子數이다.

N_0 가 半으로 減少되는데 要하는 時間을 半減期(half life)라고 하며 이것을 T 또는 $T_{1/2}$ 로 表示한다.

$$T_{1/2} = \frac{\log^2 0.693}{\lambda}$$

다. 放射線의 量과 單位

1) 照射線量(exposure)

照射線量(X)은 質量 dm 의 空氣에 光子(X線, γ 線)를 照射하여 dQ 의 + 또는 -의 이온을 發生시켰을 때 다음과 같이 表示된다.

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

1R(Roentgen)은 1kg의 공기에서 2.58×10^{-4} Coulomb의 電荷가 生成되었을 때의 量이라고 定義된다. SI系 單位로써의 固有名稱은 없고 C/kg로 表示된다. 그 關係는 다음과 같다.

$$1R = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg} = 87.7 \text{ erg/g}$$

이와같이 照射線量은 X線 또는 γ 線의 空氣電離能力을 나타내는 것이며, 다른 媒質 또는 線質에 대해서는 使用할 수 없다.

2) 吸收線量(absorbed dose)

吸收線量(D)은 質量 dm의 物質에 電離放射線에 의해 주어지는 平均에너지를 $d\epsilon$ 라 하면 다음과 같이 된다.

$$D = \frac{d\epsilon}{dm}$$

이 吸收線量은 放射線의 種類, 에너지, 物質 등에 關係없이 適用할 수 있는 單位이다. 이 單位的 特別 單位는 rad이고

$$1\text{rad} = 10^{-2} \text{ J/kg} = 100\text{erg/g}$$

이 된다. SI單位系에서는 Gy(Gray)라 稱하고 다음과 같다.

$$1\text{Gy} = 1\text{J/kg}$$

$$1\text{Gy} = 100\text{rad}$$

3) 線量當量(Dose equivalent)

線量當量(H)은 放射線防禦目的으로 만들어진 線量單位이다. 一般적으로 吸收線量의 生物學의 效果의 程度는 放射線의 種類, 照射條件 등에 의존한다. 그래서 放射線防禦目的으로 問題臟器에 대한 效果를 表示하기 위해 그 臟器에 照射된 吸收線量에 여러가지 修正係數를 加重시켜 나타낸 單位를 線量當量이라고 부른다. 다음과 같이 表示한다.

$$H = D \cdot Q \cdot n$$

여기서 D; 吸收線量, Q; 線質係數, n; 다른 修正係數를 나타낸다. 여기서 n中에는 吸收線量率이나 分割照射에 대한 修正係數가 包含된다.

<表20> 放射線의 種類와 平均線質係數(\bar{Q})의 關係

	放射線 種類	\bar{Q}
外部照射	X線, γ 線, 電子	1
	에너지不明의 中性子, 陽子 및 静止質量이 1原子單位보다 큰 電荷1의 粒子	10
	에너지不明의 α 粒子와 多重 電荷의 粒子	20
内部照射	上記한 것 以外의 α 粒子	10
	自發核分裂로부터의 中性子	8

<表21> 個人에 대한 年間 線量當量限度(ICRP 권고치)

	放射線作業從事者	公衆의 構成員
全身一時被曝	50m Sv(5rem)	5m Sv(0.5rem)
不均一被曝	$\leq 5\text{m Sv}$	$\leq 5\text{m Sv}$
水晶體	300m Sv(30rem)	50m Sv(5rem)
皮膚	500m Sv(50rem)	50m Sv(5rem)
其他臟器	500m Sv(50rem)	50m Sv(5rem)

現在 ICRP는 이 n을 1로 잡고 있다. 線質係數 Q는 吸收에너지의 微視的分布가 障害에 미치는 效果를 參작하기 위한 것으로 水中衝突阻止能 L_{∞} 의 函數로 定義되고 表19와 같이 나타낸다.

한편 吸收線量 D가 여러가지 값의 L_{∞} 를 갖는 多數의 粒子로 構成되어 있는 경우 線量當量 H는

$$H = D \cdot \bar{Q} \cdot n$$

이 된다.

放射線의 L_{∞} 分布가 問題로 하는 體積中의 모든 點에 대해서 알려져 있지 않은 경우에는 體外放射線 및 體內放射線의 兩者에 대해 表20의 \bar{Q} 값을 使用할 수 있다.

吸收線量 D를 特別單位 rad로 表示했을 때 H의 單位는 rem이고 吸收線量을 SI單位系의 Gy로 表示하면 線量當量 H는 Sv가 된다. Sv와 rem과의 關係는 다음과 같다.

$$1\text{Sv} = 100\text{rad} \times Q \times n \quad (1\text{Sv} = 100\text{rem})$$

라. 放射線防禦를 위한 線量制限體系

放射線防禦를 위한 ICRP가 권고하는 個人에 대한 年間 線量當量限度를 表21에 요약하였다.