หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ปริมาณรังสีที่ได้รับเมื่อสารกัมมันตรังสีอยู่ภายในร่างกาย

ครึ่งชีวิตแท้จริง (effective half life)

สารกัมมันตรังสีเมื่ออยู่ภายในร่างกายจะถูกขจัดโดยขบวนการทางชีววิทยา ควบคู่ไปกับการสลายตัวตามธรรมชาติ ครึ่งชีวิตของสารกัมมันตรังสีภายในร่างกายจึงเป็นผลรวมของครึ่งชีวิตทางชีววิทยา(biological half life)และครึ่งชีวิตของการสลายตัว (physical half life) เรียกครึ่งชีวิตนี้ว่า ครึ่งชีวิตแท้จริง(effective half life) เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้ :-

ส.ป.ส.ของการขจัดรวม = ส.ป.ส.ของการขจัดทางชีววิทยา + ส.ป.ส.ของการสลายตัว

$$\lambda_{eff} = \lambda_b + \lambda_p \qquad \text{——————(2.1)}$$

และ $\lambda = 0.693/T_{\frac{1}{2}}$

เมื่อ $T_{\frac{1}{2}}$ เป็นครึ่งชีวิต อักษรเขียนข้างท้าย: b หมายถึง biological, p หมายถึง physical.

$$\therefore \quad T_{eff} = \frac{T_b T_p}{T_b + T_p} \qquad \text{——————(2.2)}$$

สำหรับไอโอดีน-131 ค่า T_p = 8.05 วัน

T_b = 17 วัน

สำหรับไอโอดีน–125 ค่า T_p = 60 วัน ; T_b = 17 วัน*

ค่าขีดจำกัดของปริมาณรังสีที่ได้รับ (Maximum Permissible Dose)

สารกัมมันตรังสีเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปเกาะติดอวัยวะบางส่วนของร่างกาย จะเป็นอวัยวะใดขึ้นอยู่กับชนิดของสารกัมมันตรังสีที่ใช้ เรียกอวัยวะส่วนนี้ว่า Critical Organ สารกัมมันตรังสีที่เกาะติด(deposite) ณ อวัยวะยังคงแผ่รังสีตลอดเวลา รังสีเหล่านี้จะทำให้โครงสร้างและประจุไฟฟ้าของอะตอมเปลี่ยนไป เมื่ออะตอมอยู่ในสถานะโลด (excited state)แรงยึดเกาะระหว่างอะตอมเปลี่ยน ทำให้โมเลกุลแตกออกเป็นกลุ่ม ๆ ในเซลที่มีชีวิตประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ รังสีจะทำให้น้ำแตกตัวเป็นไฮโดรเจนอะตอม (Hydrogen radical)และไฮดรอกซิลล์(Hydroxyle) ซึ่งจะกลับมารวมตัวกันใหม่เป็นสารอื่น เช่น ไฮโดรเจนไดออกไซด์(HO_2) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์(H_2O_2) ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของโปรตีนในเซลแตกออก(break down) ด้วยสาเหตุนี้จึงจำต้องกำหนดค่าขีดจำกัดค่าหนึ่งเรียกว่า Maximum Permissible Dose (MPD) เป็นปริมาณรังสีสูงสุดที่อวัยวะแต่ละส่วนไม่ควรได้รับมากกว่านี้โดยไม่จำเป็น ค่านี้แตกต่างกันไปตามประเภทของบุคคล

องค์การพลังงานปรมาณูระหว่างชาติ(International Atomic Energy Agency - IAEA)ได้กำหนดค่าMPD เมื่อสารรังสีอยู่ในร่างกายสำหรับบุคคลแต่ละประเภทดังนี้ :–

---

* ครึ่งชีวิตทางชีววิทยาของธาตุไอโอดีน เป็นค่าที่มีความเบี่ยงเบนสูงมาก เนื่องจากร่างกายมีความจำเป็นต้องใช้ธาตุไอโอดีนอยู่ปริมาณหนึ่ง อัตราที่ธาตุนี้จะเก็บอยู่ในร่างกายของแต่ละบุคคล หรือบุคคลเดียวกันแต่ต่างระยะเวลา จึงแตกต่างกันได้มาก ขึ้นกับภาวะการขาดแคลนธาตุไอโอดีนในร่างกาย.

1. ผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีโดยตรง(Occupational Groups) ค่า MPD สำหรับอวัยวะสืบพันธุ์(Gonads) หรือทั่วร่างกาย(Total Body)ไม่เกิน 5 เรมต่อปี ต่อมไทรอยด์และผิวหนังไม่เกิน 30 เรมต่อปี สำหรับอวัยวะใดอวัยวะหนึ่งเพียงอย่างเดียว(Single Organ) ยกเว้นอวัยวะสืบพันธุ์ กระดูก ผิวหนัง และต่อมไทรอยด์ ไม่เกิน 15 เรมต่อปี

2. กลุ่มเฉพาะ (Special Groups) แบ่งเป็น 3 จำพวก คือ

ก. ผู้ที่ทำงานในเขตควบคุม แต่ไม่ได้ทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีโดยตรง

ข. ผู้เข้าออกในเขตควบคุมเป็นประจำ

ค. ผู้อาศัยอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกับเขตควบคุม

บุคคลประเภท 2.ก และ 2.ข ค่า MPD = 1.5 เรมต่อปี พวก 2.ค ค่า MPD = 0.5 เรมต่อปี

3. ประชาชนทั่วไป ค่า MPD สำหรับทั่วร่างกายและอวัยวะสืบพันธุ์ = 1.5 เรม* ค่านี้ไม่รวมถึงการไปรับการรักษาทางรังสี

หากบุคคลเหล่านี้ได้รับรังสีทั้งภายนอกและภายในควบคู่กันไป ประเภทที่ 1 และ 2 ค่า MPD จะลดลงเท่ากับ (D-E)/D โดยที่ D เป็นค่า MPD เดิม ส่วน E เป็นปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอก บุคคลประเภทที่ 3 ปริมาณรังสีที่ได้รับจากภายนอกไม่เกิน 0.5 เรม* สำหรับอวัยวะอื่น ๆ ให้ค่า MPD เท่ากับ $\frac{1}{30}$ เท่าของ MPD ของประเภทแรก

ปริมาณรังสีที่ได้รับรวมเมื่อสารกัมมันตรังสีสลายตัวให้ทั้งเบตาและแกมมา

เมื่อสารกัมมันตรังสีให้ทั้งรังสีแกมมาและเบตา ปริมาณรังสีที่ได้รับรวมมีค่าเท่ากับผลบวกของปริมาณรังสีที่ได้รับจากรังสีเบตาและรังสีแกมมาที่พลังงานต่าง ๆ กัน j พลังงาน นั้นคือ

---

* เป็นค่า MPD ในช่วงระยะเวลา 30 ปี

$$D_{\beta+\gamma} = \frac{C_o T_{eff}}{M} \left(73.8 \bar{E} + 34.6 \sum_{i=1}^{j} \Delta_i \phi_i \right) \quad \text{(2.3)}$$

โดยที่

C_o : ความแรง(activity)เริ่มต้นของสารกัมมันตรังสีที่กระจายอยู่ในเนื้อเยื่อ หน่วยเป็น ไมโครคูรี(μCi)

M : น้ำหนักของเนื้อเยื่อที่สารกัมมันตรังสีไปเกาะติด หน่วยเป็นกรัม

T_{eff} : ครึ่งชีวิตแท้จริง (effective half life) หน่วยเป็น วัน

$\bar{E}$: พลังงานเฉลี่ยของรังสีเบตา หน่วยเป็น ล้านอิเลคตรอนโวลต์ (MeV)

Δ_i : ค่าคงที่ในการดูดกลืนรังสี หน่วยเป็น (กรัม-rad)/ไมโครคูรี-ชม.

ϕ_i : สัดส่วนระหว่างพลังงานที่ถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อที่สารกัมมันตรังสีอยู่(ขึ้นกับขนาดและรูปร่างของเนื้อเยื่อนั้น)ต่อพลังงานที่สารรังสีให้ออกมาในระหว่างการสลายตัว เรียกว่าเศษส่วนแห่งการดูดกลืน(absorbed fraction)

คุณสมบัติการสลายตัวและปริมาณรังสีที่ได้รับจากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125, ไอโอดีน-131

ตารางที่ 2.1 การสลายตัวของสารกัมมันตรังสี I-125 และ I-131

ชนิดของสาร	ครึ่งชีวิตแทจริง วัน	พลังงานเฉลี่ยของเบตา(MeV)	พลังงานของโฟตอน(MeV)	สัดส่วนการสลายตัว N_i	Δ_i $\frac{g\text{-}rad}{\mu Ci\text{-}hr}$	ϕ_i
ไอโอดีน 125	13.25	0.014	0.027(X-ray)	1.126	0.0657	0.79
			0.031(X-ray)	0.242	0.016	0.72
			0.035	0.07	0.00522	0.653
ไอโอดีน 131	5.4	0.188	0.080	0.022	0.004	0.351
			0.28	0.053	0.032	0.325
			0.36	0.82	0.637	0.327
			0.64	0.09	0.122	0.3298
			0.72	0.03	0.046	0.330

จากข้อมูลในตารางที่ 2.1 คิดว่าทั่วร่างกายเป็น Critical organ (ต่อมไทรอยด์ให้ไอโอดีนธรรมดาป้องกันไว้ก่อน) มาตรฐานคนไทยมีน้ำหนักตัวโดยเฉลี่ยประมาณ 60 กิโลกรัม ต่อมไทรอยด์น้ำหนัก 20 กรัม หาปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับเมื่อสารกัมมันตรังสีไอโอดีน – 125 ความแรง 100 ไมโครคูรีเข้าสู่ร่างกาย คำนวนจากสมการ (2.3)

$$D_{\beta+\gamma} \quad \frac{100}{6 \times 10^4} (13.25) (73.8 \times 0.014 + 34.6 \times 0.0668)$$

$$= \underline{\underline{0.07}} \quad \text{rads}$$

ปริมาณรังสีที่ได้รับเท่ากัน ต้องใช้สารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 ความแรง C ไมโครคูรี

จากสมการ(2.3); $C = \dfrac{D_{\beta+\gamma} \quad M}{T_{eff}(73.8 \bar{E} + 34.6 \sum_{i=1} A_i \phi_i \quad)}$

$$= \frac{0.07 \times 6 \times 10^4}{5.4 \ (73.8 \times 0.188 + 34.6 \times 0.2755)}$$

$$= \underline{\underline{33.23}} \quad \text{ไมโครคูรี}$$

สารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 ความแรง 33.23 ไมโครคูรี ใช้ฉีดเข้าร่างกายคนโดยไม่เป็นอันตราย และมีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นสูงสุดที่อวัยวะทั่วร่างกายเมื่อป้องกันต่อมไทรอยด์แล้ว(Blocked Thyroid) ได้รับโดยไม่เป็นอันตราย(Maximum Permissible Body Burden, Q_f) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50 ไมโครคูรี นอกจากนี้อัตราการขจัดสารกัมมันตรังสีไอโอดีน–131 ออกจากร่างกายเร็วมาก

งานวิจัยนี้ กล่าวถึงการใช้ไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน ซึ่งป้องกันต่อมไทรอยด์ก่อน โดยรับประทานน้ำยาไอโอดีน(Lugol's solution) หรือโปแตสเซียมไอโอไดน์ไม่น้อยกว่าวันละ 200–500 มิลลิกรัม และรับประทานติดต่อกันไปตลอดไม่น้อยกว่า 7 วัน กรณีเช่นนี้ร่างกายผู้ป่วยจะอิ่มตัวด้วยธาตุไอโอดีน จึงไม่ควรจะเก็บไอโอดีนไว้ในร่างกายเลย ครึ่งชีวิตทางชีววิทยาของไอโอดีนซึ่งติดฉลากอยู่กับไฟบริโนเจน จึงเปรียบเทียบได้กับอายุของไฟบริโนเจน เนื่องจากเมื่อไฟบริโนเจนหมดอายุลงไอโอดีนจะกลาย

เป็นธาตุอิสระ และถูกขจัดออกจากร่างกาย ครึ่งชีวิตของไฟบริโนเจนประมาณ 4 วัน[1]

ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับเมื่อฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-125 ความแรง 100 ไมโครคูรี เข้าสู่ร่างกาย คำนวนได้ดังนี้.-

$$T_b = 4 \text{ วัน}$$

$$T_{eff} = 3.75 \text{ วัน}$$

$$D_{\beta+\gamma} = \frac{100}{6 \times 10^4} (3.75) \left(73.8 \times 0.014 + 34.6 \times 0.0668 \right)$$

$$= 0.021 \text{ rads}$$

ถ้าหากฉีดไฟบริโนเจนติดฉลากสารกัมมันตรังสีไอโอดีน-131 ความแรง 100 ไมโครคูรี เข้าสู่ร่างกาย ปริมาณที่ได้รับจะมีค่า

$$T_{eff} \cong 2.67 \text{ วัน}$$

$$D_{\beta+\gamma} = \frac{100}{6 \times 10^4} (2.67) \left(7.38 \times 0.188 + 34.6 \times 0.2755 \right)$$

$$= 0.049 \text{ rads}$$

จะเห็นได้ว่า ปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับนั้นน้อยมาก อยู่ในช่วงของความปลอดภัย

---

1. Takeda, Y."Studies of the metabolism and distribution of fibrinogen in healthy men with autologous 125-I-labelled fibrinogen." Journal of Clinical Investigation 45 (1966) 103-111