

บทที่ 8

บทอภิปราย

จะเห็นได้ว่า ในปัจจุบันมีการใช้สารกัมมันตรังสีในด้านการแพทย์อย่างแพร่หลาย ทั้งในการวินิจฉัยโรค และในการรักษาโรคมะเร็ง วิชาพัฒนาการของเทคนิคในการปฏิบัติก้าวหน้าควบคู่ไปกับความลึกลับซับซ้อนของเครื่องมือซึ่งเป็นส่วนช่วยให้การอ่านผลวินิจฉัยเป็นไปอย่างถูกต้องและสะดวก

วิธีการ "แทรเซอร์" (*tracer methods*) สอดอยู่ในประเภทการวิเคราะห์โดยใช้สารกัมมันตรังสีเป็นตัวบอการกระจายตัวของส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อหาตำแหน่งของสารกัมมันตรังสีและหาความเข้มข้นกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในอวัยวะ เช่น หาอัตราการหมุนเวียนของเลือดในร่างกาย หาปริมาตรของเลือด หรือหา "เอาทพุท" ของหัวใจ ตรวจดูการทำงานของปอด หาอัตราการขับถ่ายของไต เป็นต้น ทั้งนี้ ต้องอาศัยสารประกอบติดฉลากซึ่งเป็นงานด้านรังสีเคมี (*radiochemical*) และชีวเคมี (*biochemical*)

ข้อควรพิจารณาก่อนนำสารรังสีไปใช้ประโยชน์คือ ศึกษาคุณสมบัติและความสะดวกในการใช้สารกัมมันตรังสี รวมทั้งระบบการนับวัดปริมาณกัมมันตรังสีที่แน่นอนและแม่นยำ ไม่ว่าจะเป็นการวัดค่าโดยตรงหรือโดยสัมพันธ์กับค่ามาตรฐานใดๆก็ตาม

ตาราง 8.1 แสดงปริมาณกัมมันตรังสีที่มีผลต่อสิ่งมีชีวิต จะเห็นได้ว่าสิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบของเซลล์อย่างง่ายที่สุด ต้องใช้กัมมันตรังสีปริมาณสูงจึงจะฆ่าได้

เครื่องมือแพทย์ประเภทใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง เช่น ไชริงค์ เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด (*tubing scalpel*) เป็นต้น ทางโรงงานผลิตมักใช้กัมมันตรังสีแกมมา เป็นตัวทำให้เครื่องมือชิ้น

ตาราง 8.1 ผลของรังสีแกมมาต่อสิ่งมีชีวิต⁽⁴⁾

สิ่งมีชีวิต	ปริมาณกัมมันตรังสี (แรด)		
	ฉวัดเฉวียน	เป็นหมัน	ตาย
มนุษย์	50-150	150	400-700
Nematodes (<i>seiworms</i>)	-	5×10^3	7.5×10^5
<i>Molluscs</i>			$2-3 \times 10^4$
แมลง	>70	$5-10 \times 10^3$	$1-2 \times 10^5$
<i>Protozoa</i>	5000	$10^5-3 \times 10^5$	$10^5-3 \times 10^5$
<i>Algae</i>		$>4 \times 10^4$	$>4 \times 10^4$
<i>Fungi</i>	10^4	10^5	$2.5 \times 10^3-1.5 \times 10^6$
แบคทีเรีย	10^3	10^5	$1.5 \times 10^6-2 \times 10^6$
ไวรัส	10^3	10^5	$10^5-5 \times 10^6$

(1 เกรย์ = 100 แรด)

ปราศจากเชื้อโรค โดยทั่วไปมักใช้ 2.5×10^4 เกรย์ หรือ 2.5 เมกะแรด(*megarads*)

ผลของรังสีเอ็กซ์ต่อชีววิทยาเริ่มศึกษากันในบุคคลเริ่มต้นค้นคว้าเกี่ยวกับรังสีเอ็กซ์นั่นเอง โดยมีผู้ทำงานเกี่ยวข้อง กับรังสีเอ็กซ์สูง เกิดว่าผมจะร่วงเมื่อถูกฉายด้วยรังสี และถ้าเป็นบริเวณผิวหนังจะเกิดผื่นแดง ถ้าได้รับกัมมันตรังสีปริมาณมากๆจะเกิดเป็นแผลเปิด นอกจากนี้ยังพบว่า

มะเร็งที่ผิวหนังอาจเกิดภายหลังจากการฉายรังสีแล้วหลายปีได้ โดยทั่วไปแบ่งผลต่อชีวสำรอันเกิดจากไอออนไนซิงเรดิเอชันออกเป็น 2 ชนิดคือ ทางเซลล์ร่างกาย (*somatic cell*) และทางเซลล์สืบพันธุ์ (*genetic cell*) ผลเสียหายต่อเซลล์ร่างกายจะปรากฏเฉพาะแค่รายบุคคล (เช่น อาการผมร่วง หรือผิวหนังเกิดผื่นแดง เป็นต้น) ส่วนผลเสียหายที่เกิดในเซลล์สืบพันธุ์ซึ่งอาจทำให้เกิดมิวเตชัน (*mutation*) ในเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งปรากฏผลในเจเนอเรชัน (*generation*) ต่อไปอีกด้วย จึงควรระมัดระวังในการใช้สำรก็มมันตรังสี

ผลเสียหายของเซลล์ร่างกายขึ้นกับปริมาณก็มมันตรังสี ส่วนของร่างกายที่ถูกก็มมันตรังสี และอายุของบุคคลนั้นๆ โดยทั่วไป ผู้มีอายุน้อยที่สุดจะเกิดผลอันตรายมากที่สุด ซึ่งช่วงเวลาอันตรายที่สุดเมื่อได้รับก็มมันตรังสีคือช่วงระยะเวลาก่อนกำเนิด ในช่วงที่เป็นตัวอ่อน (*fetus*) และกำลังมีวิวัฒนาการนั้น ก็มมันตรังสีสามารถทำให้เกิดการส่ร้างผิดตำแหน่ง ผิดส่วนไปจากที่ควรจะเป็นในทารกปกติตนเอง ช่วงอันตรายที่สุดคือเมื่อทารกในครรภ์มีอายุ 23 วัน ดังนั้นในการวิจัยวิจัยโรคสำหรับสตรีมีครรภ์จึงไม่ควรใช้สำรก็มมันตรังสี ข้อมูลต่างๆของผลที่เกิดจากอวัยวะถูกก็มมันตรังสีนั้น ส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้จากการฉายรังสีเพื่อรักษาโรคมะเร็ง

คาร์ซิโนเจเนซิส (*carcinogenesis*) จัดเป็นผลที่เกิดจากเซลล์ร่างกายได้รับ - ก็มมันตรังสี คือเป็นการเหนี่ยวนำให้เกิดมะเร็ง การรักษาโรคด้วยรังสีมีแนวโน้มกระตุ้นให้เกิดมะเร็ง เช่น มะเร็งที่ผิวหนัง รัยรอยด์ มะเร็งเม็ดเลือด (*leukemia*) และจากการศึกษาผู้รอดชีวิตจากระเบิดปรมาณูเมื่อปี ค.ศ. 1945 (ระเบิดที่เมือง *Hiroshima* และ *Nagasaki*) ในประเทศญี่ปุ่น ผลปรากฏว่า 0.1% ของผู้รอดชีวิตเป็นมะเร็งเม็ดเลือด ซึ่งสูงกว่าอัตราปกติ 2 เท่า ถ้าผู้รอดชีวิตได้รับโดสสูงประมาณ 4 *Gy* อัตราการเป็นมะเร็งเม็ดเลือดจะสูงกว่าระดับปกติ 40 เท่า

ปฏิกิริยาเมื่อรังสีเอ็กซ์และแกมมาชนส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกาย แปรตามพลังงานของโฟตอน เอฟเฟ็คทีฟอะตอมมิกนัมเบอร์ และความหนาแน่นอิเล็กทรอนิกส์ (จำนวนอิเล็กตรอน

ต่ออีกโลกรัม) ของบริเวณนั้นๆ เพื่อความสะดวกและแม่นยำในการวัดโดสจึงแบ่งร่างกายออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ไขมัน (*fat*)
2. กล้ามเนื้อ (หรือเนื้อเยื่ออ่อน ยกเว้นไขมัน)
3. กระดูก
4. โพรงอากาศ (*air-filled cavities*)

โฟตอนจากรังสีเอ็กซ์และแกมมาซึ่งมีพลังงานน้อยกว่า 35 keV ชนกับเนื้อเยื่ออ่อน มักเกิดขบวนการโฟโตอิเล็กทริกเอฟเฟ็คซึ่งโอกาสของการเกิดแปรตามค่า Z^3 ถ้าเปรียบเทียบไขมันกับกล้ามเนื้อและกระดูก จะเห็นได้ว่าไขมันมีความเข้มข้นไฮโดรเจนสูง ($\sim 11\%$) และคาร์บอน ($\sim 57\%$) แต่ความเข้มข้นไนโตรเจนต่ำกว่า ($\sim 1\%$) และออกซิเจน ($\sim 30\%$) เช่นกัน นอกจากนี้มีพวกเทรซเอเลเมนต์ที่มีค่า Z สูง ($< 1\%$) ดังนั้น เอฟเฟ็คฟอะตอมมิกนัมเบอร์ของไขมัน ($Z_{eff} = 5.9-6.3$) จะน้อยกว่าค่าของเนื้อเยื่ออ่อน ($Z_{eff} = 7.4$) หรือกระดูก ($Z_{eff} = 11.6-13.8$) และโฟตอนพลังงานต่ำจะถูกลดค่าพลังงานในไขมันช้ากว่าในเนื้อเยื่ออ่อนหรือกระดูก (ซึ่งมีมวลเท่ากัน) การลดค่าพลังงานในกรณีดังกล่าวเป็นผลให้แฟคเตอร์ f (f -factor) มีค่าน้อยตามไปด้วย

โฟตอนของรังสีเอ็กซ์และแกมมามีพลังงานสูงกว่าพวกแรกที่ได้กล่าวไปแล้ว การชนกันมักเป็นไปตามขบวนการการกระจายแบบคอมป์ตัน ซึ่งโอกาสที่จะเกิดแปรตามความหนาแน่นอิเล็กตรอนของตัวกลาง (แต่ไม่ขึ้นกับอะตอมมิกนัมเบอร์) ความหนาแน่นอิเล็กตรอนของไฮโดรเจนมีค่าประมาณ 2 เท่าของธาตุอื่นๆ เนื่องจากนิวเคลียสของไฮโดรเจนไม่มีนิวตรอนนั่นเอง ดังนั้น ถ้ายังมีไฮโดรเจนในไขมันมากกว่าส่วนอื่นๆของร่างกาย การเกิดปฏิกิริยาคอมป์ตันในไขมันย่อมจะมีมากกว่าในกล้ามเนื้อและกระดูก (ซึ่งมีมวลเท่ากัน)

โฟตอนของรังสีเอ็กซ์และแกมมาที่มีพลังงานมากกว่า 3 MeV ไม่สามารถใช้ค่าแฟคเตอร์ f อธิบายได้ เนื่องจาก เรนต์เกินใช้ได้เฉพาะกับโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 MeV การลดพลังงานของโฟตอนในไขมันอาจหาค่าโดยประมาณได้โดยทำการทดลองวัดค่าในน้ำมัน (*oil*) หรือโพลีเอทธีลีน (*polyethylene*) ซึ่งมีค่าเอฟเฟคทีฟอะตอมมิกนัมเบอร์ความหนาแน่นและความหนาแน่นอิเล็กตรอนใกล้เคียงกับค่าในไขมัน

ส่วนค่าเอฟเฟคทีฟอะตอมมิกนัมเบอร์และความหนาแน่นของส่วนของโหลในร่างกายและเนื้อเยื่ออ่อน ยกเว้นไขมัน จะมีค่าเช่นเดียวกับค่าของน้ำ เนื่องจากเนื้อเยื่ออ่อนและส่วนของโหลในร่างกายประกอบด้วยน้ำประมาณ 75% และ 85 - 100% ตามลำดับ เนื้อเยื่ออ่อนมักใช้แบบจำลองเต็มด้วยน้ำหรือใช้เพลกซีแกลส (*plexiglass*) *Mix D* (ประกอบด้วยพาราฟิน 60.8% โพลีเอทธีลีน 30.4% แมกนีเซียมออกไซด์ 6.4% ดิตาเนียมไดออกไซด์ 2.4% ตามน้ำหนัก) หรือไม้อัด

ไอโตรเจนไม่ปรากฏอยู่ในอากาศ (โดยปกติทั่วไป) แต่จะปนอยู่ประมาณ 10% ของน้ำหนักกลัมน้ำ ความหนาแน่นอิเล็กตรอนในกลัมน้ำมีค่าสูงกว่าในอากาศ และค่าแฟคเตอร์ f ของกลัมน้ำมีค่าสูงกว่าค่าของอากาศ

เอฟเฟคทีฟอะตอมมิกนัมเบอร์และความหนาแน่นฟลักซ์ (kg/m^3) ของกระดูกมีค่าสูงกว่าเนื้อเยื่ออ่อน ดังนั้น รังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมาจะถูกลดค่าพลังงานลงอย่างรวดเร็วในกระดูกในปริมาตรเท่ากับเนื้อเยื่ออ่อน (น้ำหนักไม่จำเป็นต่องานนี้) และโดสที่ถูกดูดกลืนจะถูกลดค่าลง หรือกล่าวได้ว่า โดสที่ถูกดูดกลืนในเนื้อเยื่ออ่อนที่อยู่ติดหรือล้อมรอบกระดูกอาจจะเพิ่มค่าโดยเกิดโฟโตอิเล็กตรอนอิสระเป็นโฟตอนเกิดขึ้นกับอะตอมที่มีค่า Z สูง (เช่น อะตอมของฟอสฟอรัสและแคลเซียม) ในกระดูก

นอกจากการตรวจวินิจฉัยโรคโดยใช้สารกัมมันตรังสีและวิธีการแบบ *in vivo* ยังมีวิธี *in vitro* ได้แก่วิธีการเรดิโออิมมูโนแอสเสย์ ซึ่งในปัจจุบัน ถ้าทำเป็นงานตรวจประจำของแผนกมักจะมีผลิตภัณฑ์เป็นชุดเพื่อสะดวกต่อการใช้งาน เชื่อว่าต่อไปในอนาคตจะได้มีวิวัฒนาการก้าวหน้าขึ้นกว่าในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม หลักการพื้นฐานของวิธีการตลอดจนที่มาของแนวความคิดในการสร้าง เครื่องมืออุปกรณ์ยังคง เป็นดังรายละเอียดที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นนั่นเอง

คำถามทบทวน

- 8.1 "วิธีการเทอร์เซอร์" คืออะไร ใช้ประโยชน์อย่างไรบ้างในด้านการแพทย์
- 8.2 ผลของกัมมันตภาพรังสีต่อชีวสารมีอะไรบ้าง
- 8.3 จงแสดงข้อคิดเห็นถึงผลดี-ผลเสียอันอาจเกิดขึ้นจากการใช้วิธีรังสีรักษา
- 8.4 เพื่อความสะดวกและแม่นยำในการวัดโดส ได้แบ่งส่วนต่างๆของร่างกายเป็นกี่ส่วน อะไรบ้าง
- 8.5 เหตุใดรังสีเอ็กซ์และแกมม่าจึงถูกลดค่าพลังงานลงอย่างรวดเร็วในกระดูกในปริมาณเท่าๆกัน เนื้อเยื่ออ่อน
- 8.6 ถ้ารังสีแอลฟา เบตา แกมม่า และรังสีเอ็กซ์อยู่ภายในร่างกาย อยากรบว่ากัมมันตรังสีชนิดใดมีผลต่อร่างกายร้ายแรงที่สุด จงอธิบายและให้เหตุผลประกอบ และตรงกันข้ามถ้าอยู่ภายนอกร่างกาย กัมมันตรังสีชนิดใดจะก่อผลเสียหายต่อร่างกายได้มากที่สุด