

บทที่ 7

รังสีรักษา

7. 1 บทนำ

วิธีการรักษามะเร็งทำได้ 3 แบบคือ การผ่าตัด รังสีรักษา และโดยยาหรือที่เรียกว่า "เคมีเทอราปี" (*chemotherapy*) ผลสำเร็จของรังสีรักษาขึ้นกับชนิดและระยะการเจริญเติบโตของมะเร็ง ความชำนาญของนักฟิสิกส์ที่ชำนาญพิเศษในการใช้กัมมันตรังสีรักษาโรคมะเร็ง ชนิดของกัมมันตรังสีที่ใช้ และความถูกต้องแม่นยำของปริมาณกัมมันตรังสีที่ใช้ทำลายมะเร็ง แพทย์ผู้สุดท้ายอยู่ในความรับผิดชอบของนักฟิสิกส์รังสี (*radiological physicist*) ส่วนโรคอื่น ๆ นอกเหนือจากมะเร็งมักไม่นิยมใช้กัมมันตรังสีในการรักษา เนื่องจากผลเสียที่อาจเกิดขึ้นคือมะเร็งที่เกิดจากการกระตุ้นโดยกัมมันตรังสี

ก่อนปี ค.ศ. 1940 รังสีรักษา (การใช้สารกัมมันตรังสีในการรักษาโรค) และรังสีวินิจฉัย (การวินิจฉัยโรคโดยใช้สารกัมมันตรังสี) ใช้พลังงานกัมมันตรังสีระดับเดียวกัน คือในปริมาณน้อยๆ ต่อเมื่อมีการเริ่มปรับปรุงใช้บีตาทรอน (*betatron*) โดย *Kerst* ตั้งแต่ต้นปี ค.ศ. 1940 (บีตาทรอน เป็นเครื่องเร่งอนุภาค สามารถเร่งอิเล็กตรอนจนถึงพลังงาน 45 MeV) จึงเริ่มมีการใช้พลังงานจากกัมมันตรังสีสูงขึ้น

ผลจากข้อผิดพลาดในการคำนวณปริมาณกัมมันตรังสีคือ

- ถ้าปริมาณกัมมันตรังสีน้อยเกินไป มะเร็งมิได้ถูกฆ่าหมดสิ้น
- ถ้าปริมาณกัมมันตรังสีมากเกินไป จะมีผลเสียต่อเนื้อเยื่อปกติ

โพลีที่มีผลต่ออวัยวะของร่างกายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติเฉพาะตัวของนิวไคลด์รังสี เช่น ชนิดของอนุภาคและพลังงานที่ปล่อยออกมา และช่วงเวลา นิวไคลด์รังสีอยู่ในอวัยวะ ได้มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการหาช่วงเวลา นิวไคลด์รังสีอยู่ในอวัยวะ คือ "ครึ่งอายุเอฟเฟ็คทีฟ" (*effective half-life*) เขียนแทนด้วย $T_{\frac{1}{2}eff}$ ค่า "ครึ่งอายุทางฟิสิกส์" (*physical half-life*) เขียนแทนด้วย $T_{\frac{1}{2}phy}$ และค่า "ครึ่งอายุทางชีวภาพ" (*biological half-life*) เขียนแทนด้วย $T_{\frac{1}{2}bio}$ ค่าครึ่งอายุทางชีวภาพหมายถึง เวลาที่อะตอมของต้นกำเนิดกัมมันตรังสีมีปริมาณลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิมที่ปรากฏในร่างกายมนุษย์

ความสัมพันธ์ของค่าครึ่งอายุดังกล่าวทั้งสามแบบคือ

$$T_{\frac{1}{2}eff} = \frac{(T_{\frac{1}{2}bio})(T_{\frac{1}{2}phy})}{T_{\frac{1}{2}bio} + T_{\frac{1}{2}phy}} \quad (7.1)$$

เมื่อมีการพบเภสัชรังสีชนิดใหม่ จะมีการศึกษาในสัตว์ทดลอง เพื่อหาค่าครึ่งอายุเอฟเฟ็คทีฟในแต่ละอวัยวะนั่นเอง

ตัวอย่าง ก. หาค่าครึ่งอายุเอฟเฟ็คทีฟของ ^{131}I ในธัยรอยด์ ถ้า $T_{\frac{1}{2}bio} = 15$ วัน และ $T_{\frac{1}{2}phy} = 8$ วัน

วิธี

แทนค่าลงในสมการความสัมพันธ์ (7.1)

$$T_{\frac{1}{2}eff} = \frac{(15 \text{ วัน})(8 \text{ วัน})}{15 \text{ วัน} + 8 \text{ วัน}} = 5.2 \text{ วัน}$$

ข. หาค่าครึ่งอายุเอฟเฟกทิฟของ ^{131}I hippuric acid (ใช้ในการทำ
รีโนแกรม) ถ้าครึ่งหนึ่งของปริมาณถูกกำจัดทางปัสสาวะใน 1 ชม. (i.e. $T_{\frac{1}{2}} \text{ bio} = 1$ ชม.)

วิธี

$$T_{\frac{1}{2}} \text{ eff} = \frac{(1 \text{ ชม.})(192 \text{ ชม.})}{1 \text{ ชม.} + 192 \text{ ชม.}} = 0.99 \text{ ชม.}$$

ค. หาค่าครึ่งอายุเอฟเฟกทิฟของ ^{18}F ในกระดูก ถ้า $T_{\frac{1}{2}} \text{ bio} = 7$ วัน
และ $T_{\frac{1}{2}} \text{ phy} = 110$ นาที (7 วัน $\approx 10^4$ นาที)

วิธี

$$T_{\frac{1}{2}} \text{ eff} = \frac{(110 \text{ นาที})(10^4 \text{ นาที})}{110 \text{ นาที} + 10^4 \text{ นาที}} \approx 109 \text{ นาที}$$

7.2 หน่วยที่ใช้ในรังสีรักษา

หน่วยของรังสีรักษาเดิมใช้อีริทมาโดส (*erythema dose*) คือปริมาณของรังสี
เอ็กซ์ที่ทำให้ผิวหนังกลายเป็นสีแดง ประมาณปี ค.ศ. 1930 เริ่มใช้หน่วยเรินต์เกน (ปัจจุบันใช้
แทนด้วย R) ซึ่งเป็นหน่วยขึ้นกับการแตกตัวของอากาศ ต่อมาประมาณปี ค.ศ. 1950 มีการ
เล่นอแรด (*rad*) แทนโดสที่ถูกดูดกลืน เนื่องจากเทอมของการแตกตัวของอากาศไม่ล้ามากร่น่า
ไปใช้กับปริมาณกัมมันตรังสีซึ่งถูกดูดกลืนโดยอวัยวะของร่างกายได้ โดยกำหนดให้

$$1 \text{ แรด} = 100 \text{ เอิร็ก/กรัม}$$

หรือกล่าวได้ว่า กัมมันตรังสีซึ่งให้พลังงาน 100 เอิร็กกับเนื้อเยื่อ 1 กรัม จะทำ
ให้เนื้อเยื่อได้รับโดสดูดกลืน 1 แรด

หน่วยเรตไอ้ได้กับกัมมันตรังสีทุกชนิดในทุกล้าร แต่เรตเกันไอ้กับรังสีเอ็กซ์และแกมมาในอากาศเท่านั้น (เป็นหน่วยของ เอ็กซ์โพเชอร์โดล) กำหนดความสัมพันธ์ของเรตกับเรตเกันคือ รังสีเอ็กซ์หรือแกมมาประมาณ 1 เรตเกันจะเกิดโดล่ถูกดูดกลืนประมาณ 1 เรตในเนื้อเยื่ออ่อน (*soft tissue*) และน้ำถ้าความหนาแน่นของเนื้อเยื่อมากขึ้น อัตราล้าส่วนของเรตต่อเรตเกันขึ้นกับพลังงานของโพตอน โดยทั่วไป ค่าพลังงานที่ไ้ในด้านรังสีวินิจฉัยล้ามีอัตราล้าส่วนของเรตต่อเรตเกันในกระดูกประมาณ 4 (กล่าวคือ 1 เรตเกันจะมีค่าประมาณ 4 เรต) และในด้านรังสีรักษา อัตราล้าดังกล่าวมีค่าเป็น 1 (หรือใกล้เคียง 1) ทั้งในกระดูกและในเนื้อเยื่ออ่อน

หน่วยเกรย์ (*gray*) เขียนย่อเป็น *Gy* เป็นหน่วยของโดล่อินเตอร้เนชันแนล (*SI unit*) โดยกำหนด

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

และ
$$1 \text{ Gy} = 100 \text{ เรต} \quad (\because 1 \text{ J} = 10^7 \text{ ergs})$$

หน่วยเกรย์มีชื่อตาม *Harold Gray* นักฟิสิกส์การแพทย์ชาวอังกฤษผู้ค้นพบอ็อกซีเจนเอฟเฟ็ค (*oxygen effect*)

7.3 หลักการของรังสีรักษา

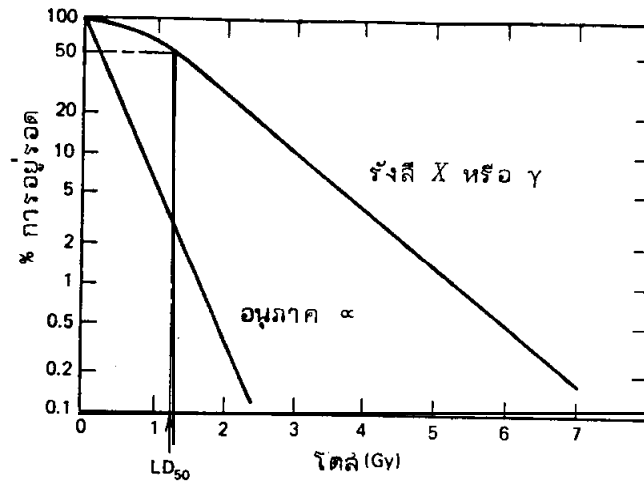
หลักการพื้นฐานของรังสีรักษาคือ ต้องการทำลายมะเร็งให้ได้มากที่สุด ขณะเดียวกับที่ป้องกันเนื้อเยื่อปกติให้ถูกทำลายน้อยที่สุด วิธีการทั่วไปคือกวาดล้ารังสีไปยังมะเร็งหลายทิศทาง เพื่อให้เกิดโดล่มากที่สุดตรงเนื้อมะเร็ง นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงการที่เนื้อเยื่อปกติบางชนิดมีความไวต่อกัมมันตรังสีไม่เท่ากัน

กัมมันตภาพรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัว (*ionizing radiation*) เช่น รังสีเอ็กซ์ และแกมมา จะเป็นตัวแยกอิเล็กตรอนออกจากอะตอมเพื่อทำให้เกิดไอออนบวกและลบ นอกจากนี้ยังทำให้โมเลกุลแตกสลาย ซึ่งอาจมีการสร้างชิ้นใหม่แต่มีลักษณะรูปฟอร์มไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สิ่งจัดเป็นสารเป็นพิษ (*poison*) อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันได้มีการศึกษาขบวนการชีวเคมีของการที่รังสีเอ็กซ์ทำลายเซลล์และที่ยอมรับเป็นขบวนการชีวเคมีขั้นพื้นฐานคือรูปฟอร์มทางเคมีเป็นพิษ (*toxic*) ภายในเซลล์ซึ่งเกิดจากการแตกสลายของโมเลกุลปกติ และจะเป็นตัวฆ่าเซลล์

กัมมันตรังสีมีโดสขนาดใดจึงจะฆ่าเซลล์ได้? คำถามนี้เปรียบเสมือนกับการถามว่า - จะต้องใช้ลูกปืนจำนวนเท่าไรสังฆ่าคนได้นั่นเอง คำตอบคืออาจใช้ลูกปืนลูกเดียวหรือหลายลูกก็ได้ ทั้งนี้ ขึ้นกับว่าลูกปืนยิงถูกตำแหน่ง (อวัยวะ) ที่สำคัญของร่างกายหรือไม่ สำหรับกัมมันตรังสีมีแฟกเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงคือชนิดของกัมมันตภาพรังสี ชนิดของเซลล์ สภาวะแวดล้อมของเซลล์ เช่น แสงสว่าง อุณหภูมิและออกซิเจน เป็นต้น นอกจากนี้ นิวเคลียสของเซลล์ยังมีความไวต่อกัมมันตภาพรังสีมากกว่าไซโตพลาซึม (*cytoplasm*) ที่อยู่ล้อมรอบ ตัวอย่างเห็นได้ชัดในรูปที่ 7.1 แสดงเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดของเซลล์ฮีลา* (*Hela cells*) เมื่อโดสกัมมันตรังสีแปรค่า สังเกตได้ว่า เส้นกราฟของรังสีเอ็กซ์และแกมมามีบริเวณเป็นไหล่ (*shoulder*) ขณะที่เส้นกราฟของรังสีแอลฟาไม่มี รังสีเอ็กซ์ประมาณ 1.4 Gy สามารถฆ่าเซลล์ฮีลาได้ครึ่งหนึ่ง ส่วนที่เหลืออีกครึ่งหนึ่งสามารถฆ่าให้ตายได้โดยใช้โดสเพียง 1 Gy ปริมาณกัมมันตรังสีที่ใช้ฆ่าออร์แกนนิซึม (*organisms*) ครึ่งหนึ่งในป๊อปูเลชัน (*population*) (คือเซลล์ หนู คน ฯลฯ) เรียกว่า "ลีทอลโดส 50%" (*lethal dose for 50%*) หรือ LD_{50} โดยสมมติว่าเป็นการให้กัมมันตภาพรังสีอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วออร์แกนนิซึมในช่วงเวลานั้น ปริมาณดังกล่าวนี้บางทีถูกตัดแปลง

* เซลล์ฮีลา มีกำเนิดจากมะเร็งในมนุษย์ชนิดหนึ่ง สามารถปลูกได้ในหลอดแก้ว (*in vitro*) มักนิยมใช้ในการทดลองทางชีววิทยารังสี

โดยรวมแพคเตอร์เวลาด้วย ตัวอย่างเช่น ปริมาณกัมมันตรังสีที่จะฆ่า 50% ของออร์แกนส์ซิมใน เวลา 30 วัน เรียกเป็น LD_{50}^{30} หรือ $LD_{50}(30)$ สำหรับมนุษย์มีค่า LD_{50}^{30} ประมาณ 4.5 Gy



รูป 7.1 เปรียบเทียบการอยู่รอดของเซลล์สีลาในฟังก์ชันของโดสจากรังสีเอ็กซ์หรือแกมมาและอนุภาคแอลฟา สังเกตว่าเกรย์แรกของรังสีเอ็กซ์มีผลในการฆ่าเซลล์น้อยกว่าอนุภาคของแอลฟา

ผลของออกซิเจน (*oxygen effect*) ค้นพบโดย Gray ในอังกฤษประมาณปี ค.ศ. 1955 ซึ่งได้สังเกตว่าเซลล์ที่ถูกฉายรังสีโดยมีออกซิเจนอยู่ด้วยจะถูกฆ่าได้ง่ายกว่าเซลล์ที่ไม่มีออกซิเจนอยู่ (โดยใช้กัมมันตรังสีชนิดเดียวกัน) เป็นที่คาดว่าผลของออกซิเจนมีอิทธิพลในการกลับสู่สภาวะปกติของมะเร็ง เซลล์ที่อยู่บริเวณศูนย์กลางของมะเร็งใหญ่ๆจะมีแหล่งเลือดน้อย (ไม่เพียงพอ) นั่นคือมีแหล่งออกซิเจนน้อย เมื่อมะเร็งถูกกัมมันตรังสี เซลล์มะเร็งที่แข็งแรง (คือมีแหล่งจ่ายเลือดที่ดี) จะถูกฆ่า พวกที่มีแหล่งจ่ายเลือดน้อยจะถูกฆ่าบ้าง ส่วนพวกมีความต้านทานกัมมันต

รังสีจะยังคงมีชีวิตอยู่ ซึ่งเป็นเหตุผลให้อธิบายการที่เซลล์มะเร็งกลับงอกเจริญเติบโตได้อีก แม้ว่าจะได้รับโดสแกมมันตรังสีมากก็ตาม ส่วนแกมมันตรังสีที่มีค่า *RBE* มากกว่า 1 (เช่น นิวตรอนเร็ว และอนุภาคแอลฟา) ไม่ต้องนำผลของอีอกซิเจนมาเกี่ยวข้อง

ได้มีข้อเสนอในการกำจัดเซลล์มะเร็งบริเวณใจกลางโดยวิธีเพิ่มแหล่งจ่ายอีอกซิเจนไปที่ร่างกาย ดังนั้น จึงมีการใช้แท็งค์ของไฮเพอร์बारิค (*hyperbaric*) อีอกซิเจนในรังสีรักษา

หน้าที่สำคัญของนักฟิสิกส์ในตํานรังสีรักษามี 3 ข้อ คือ

1. หาค่าแกมมันตภาพรังสีที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้ในรังสีรักษาในสภาวะมาตรฐาน (*standard conditions*) หรือเรียกว่าเป็นการปรับ (*calibrate*) เครื่องมือซึ่งรวมทั้งการหาค่าเอาทัฟท์ในระยะที่ทำการฉายแสง และค่าเกรย์ต่อนาที่ตลอดปริมาณที่ถูกฉายแกมมันตภาพรังสีโดยมีสภาวะต่างๆกัน
2. คำนวณโดสที่มะเร็งและเนื้อเยื่อปกติอื่นๆในร่างกายคนจะได้รับ ข้อปฏิบัตินี้ยากพอสมควรในต่างประเทศนิยมใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณซึ่งต้องคำนึงถึงรูปร่างคนไข้ที่แตกต่างกันไปรวมทั้งลักษณะแตกต่างภายในร่างกายคนไข้ เช่น กระดูก และช่องว่างที่เป็นอากาศ (เช่น ปอด เป็นต้น)
3. ทบทวนความถูกต้องของปริมาณแกมมันตรังสีที่อวัยวะของคนไข้จะได้รับ

หลังจากได้มีการตรวจหาตำแหน่งและขนาดโดยประมาณของมะเร็งแล้วจึงจะมีการใช้รังสีรักษา อุปกรณ์ที่ใช้ในรังสีรักษาได้รับการปรับปรุงให้สะดวกต่อคนไข้ ทั้งยังให้ผลแม่นยำในการทำลายเนื้อมะเร็ง เนื่องจากรูปร่างของร่างกายขึ้นกับตำแหน่ง กล่าวคือ อวัยวะภายในจะคลาดเคลื่อนเมื่อคนไข้เปลี่ยนท่า เช่น ลุกขึ้นจากท่านอน เป็นต้น จึงมีการออกแบบให้อุปกรณ์ที่

ใช้เป็นต้นกำเนิดกัมมันตรังสีมีลักษณะหมุนได้รอบขึ้นส่วนบริเวณเป็นมะเร็ง ดังนั้น คนไข้เพียงแต่นอนนิ่งๆ หรืออยู่ในท่าใดท่าหนึ่งขณะที่สร้างสีถูกฉายไปยังร่างกายด้วยมุมต่างๆกัน

วิธีการตรวจลบลอตำแหน่งของสารรังสีระหว่างทำการฉายรังสีทำโดยวางแผ่นฟิล์มของเอ็กซ์เรย์ ณ บริเวณซึ่งมีสารรังสีจากร่างกาย ภาพที่ปรากฏบนฟิล์มไม่สามารถให้รายละเอียดได้เช่นเดียวกับฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่ใช้วินิจฉัยโรค แต่สามารถบอกถึงกายวิภาคศาสตร์ภายใน เพื่อแสดงว่าสารรังสีถูกกระจายไปยังตำแหน่งที่ต้องการหรือไม่

7.4 ฟอสฟอรัส - 32

ฟอสฟอรัส -32 เป็นสารกัมมันตรังสีมีครึ่งอายุ 14.3 วัน ให้รังสีเบตาอย่างเดียว พลังงานสูงสุด 1.7 MeV มีรูปทางเคมี 2 แบบคือ โซเดียมฟอสเฟต ^{32}P และ โครมิกฟอสเฟต ^{32}P ซึ่งวิธีการใช้ต่างกัน

- โซเดียมฟอสเฟต ^{32}P ใช้รักษามะเร็งในเม็ดเลือด เซลล์มะเร็งจับสารนี้ได้ถึง 25 - 100% ของโดส ค่าพทศจะสูงขึ้นเรื่อยๆภายใน 1 ชั่วโมง และจะติดแน่นอยู่ที่เซลล์มะเร็งนานถึง 72 ชั่วโมง มะเร็งที่ตาเป็นเนื้อเยื่อชนิดหนึ่งที่ไวกับสารนี้ การให้โดสจะได้ผลเหมือนกันไม่ว่ารับประทานหรือฉีด แต่การให้รับประทานควรให้ขนาดโดสเพิ่มขึ้นอีก $1/3$ เท่า เพื่อชดเชยกับการดูดซึมที่ไม่สมบูรณ์

ข้อควรระวังสำหรับการใช้โซเดียมฟอสเฟต ^{32}P

1. ไม่ควรใช้กับหญิงมีครรภ์ หรือเด็กอายุต่ำกว่า 18 ปี นอกจากจำเป็นหรือในกรณีพิเศษเท่านั้น
2. ไม่ควรใช้กับคนไข้โพลีซีธเมียเวอร่า (*polycythemia vera*) ที่มีปริมาณเพลทเล็ต

(platelet) ต่ำกว่า 15×10^3 หรือมีเรติคูลิวโลไซต์ (reticulocytes) ต่ำกว่า 0.2% หรือมีเม็ดเลือดขาวต่ำกว่า 3,000

3. ในการรักษาโรคลูคีเมียเรื้อรัง (chronic leukemia) ต้องเพิ่มความระมัดระวังให้มาก ถ้าคนไข้มีปริมาณเม็ดเลือดแดงต่ำกว่า 25×10^5 ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร
4. เพื่อความปลอดภัยต่อคนไข้และผู้เกี่ยวข้อง ควรใช้โดสปริมาณน้อยที่สุดที่ยังคงมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการรักษา
5. การให้โดสปริมาณมากเกินไปก่อให้เกิดผลเสียต่อระบบเลือด และอาจก่อให้เกิดลูโคปีเนีย (leukopenia) ทромโบ-ไซโตปีเนีย (thrombo-cytopenia) และโรคโลหิตจาง (anemia)
6. ระหว่างการรักษาคนไข้ต้องตรวจเลือดเป็นระยะ เพื่อดูค่าฮีโมโกลบิน ปริมาณเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว เพลทลิต ฮีมาโตคริต และเพอริโตเนล (peritoneal)

โครมิกฟอสเฟต $-^{32}P$ ใช้ในการลดน้ำขุ่นในเยื่อหุ้มปอดและเยื่อช่องท้องได้ผลดีใน 3 กรณีคือ

1. เมื่อเป็นอาการเริ่มแรกที่มีการสะสมของเหลวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
2. เมื่อของเหลวที่เกิดขึ้นนั้นมีต้นเหตุมาจากมะเร็ง
3. อาการหวั่นไหวของคนไข้ดีพอสมควร และไม่มีการอุดตันเนื่องมาจากก้อนเนื้อที่คล้ำรู้สึกได้ หรือจากโลหิตจางอย่างหนัก

นอกจากนั้น โครมิกฟอสเฟต $-^{32}P$ สามารถทำให้เซลล์มะเร็งตายได้ อาจใช้รักษาซิสติคทูเมอร์ (cystic tumor) หรือเบลลเดอรัททูเมอร์ (bladder tumor) ได้ ให้โดสโดยใช้หลอดส่วนเล็กๆ (catheter) ทำด้วยโพลีเอทิลีนช่วยสอดเข้าในโพรงปิด (closed

cavity) เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำในเยื่อหุ้มปอด ข้อควรระวังคือ โดสตั้งแต่ขนาด 10 mCi ขึ้นไป คนไข้บางคนอาจมีอาการจากการถูกกัมมันตรังสี และบางคนเป็นเยื่อหุ้มปอดอักเสบ - (*pleuritis*) หรือเยื่อช่องท้องอักเสบ (*peritonitis*) ได้

7.5 ทองคอลลอยด์ - ^{198}Au

ทอง -198 มีครึ่งอายุ 2.696 วัน ให้รังสีเบต้า พลังงาน 0.96 MeV (98.81%) ให้รังสีแกมมาพลังงาน 0.412 MeV (95.8%) ใช้ใส่เข้าไปในโพรงปิดเพื่อลดการมาน (*ascitis*) และน้ำซึมผ่านในเยื่อหุ้มปอด และใช้หลังผ่าตัดก้อนมะเร็ง เพื่อฆ่าเซลล์มะเร็งที่ยังมีเหลือ หรือฉีดเข้าในข้อเพื่อควบคุมอาการโรคไขข้ออักเสบ ไม่ควรใช้กับมะเร็งที่มีการตายเฉพาะส่วน มะเร็งเกี่ยวกับแผลเปื่อย หรือมะเร็งที่มีขนาดใหญ่มาก วิธีการให้ยาเหมือนกับโครมคอฟอสเฟต - ^{32}P

7.6 ไอโอดีน - 131

ใช้ในการรักษาโรคไฮเปอร์ธัยรอยด์ มะเร็งของต่อมธัยรอยด์หลังผ่าตัด และใช้รักษาอาการปวดเค้นอก (*angina pectoris*)

ไฮเปอร์ธัยรอยด์ ขนาดของโดสพิจารณาจากค่าเปอร์เซ็นต์อัฟเทค น้ำหนักของธัยรอยด์และปริมาณกัมมันตรังสีต่อกรัม โดยทั่วไป น้ำหนัก 50 กรัมแรกใช้ 80 μCi ต่อกรัม และในกรณีคอพอกเป็นพิษเพิ่มโดสขึ้นอีก 50% การให้โดสเกินความจำเป็นจะทำให้คนไข้เป็นไอโอดีนธัยรอยด์ได้

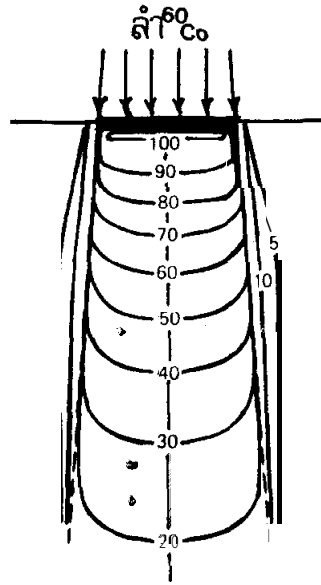
หลังจากคนไข้ได้รับโดสรักษา ควรติดตามดูผลเลือดของคนไข้ทุกอาทิตย์เป็นเวลา 6 อาทิตย์ เพื่อดูปริมาณฮีโมโกลบิน เม็ดเลือดขาว และเพลทลิตที่เปลี่ยนแปลง การให้โดสซ้ำ ควรให้ห่างจากโดสแรก 4-6 เดือน ปริมาณโดสทั้งหมดสำหรับคนไข้แต่ละคนไม่มีกำหนด ควรรักษาจนกระทั่งเซลล์มะเร็งไม่จับไว้อีก

7.7 เมกะโวลเตจเทอราปี (Megavoltage therapy)

โคบอลต์ -60 เป็นต้นกำเนิดรังสีที่ผลิตโดยรีแอกเตอร์ (*reactor*) ปล่อยรังสีแกมมา พลังงาน 1.25 MeV ซึ่งมีอำนาจทะลุทะลวงเสมือนรังสีเอกซ์ซึ่งได้จากเครื่องขนาด 3 MV (*million volt*) การใช้โคบอลต์ -60 ในด้านรังสีรักษา เริ่มในปี ค.ศ. 1951 โดย *Harold Johns* ในแคนาดา ซึ่งในการฉายรังสีจะต้องมีการป้องกันรังสีเป็นอย่างดี เช่น โดยสร้างกำแพงคอนกรีตหนาครอบห้อง เป็นต้น โคบอลต์ -60 มีขนาดเล็กบรรจุอยู่ในภาชนะทำด้วยตะกั่ว

รังสีแกมมาพลังงานสูงจาก ^{60}Co จะถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อและก่อให้เกิดอิเล็กตรอน พลังงานสูงซึ่งส่วนใหญ่จะเคลื่อนไปในทิศทางเดียวกันกับลำรังสีต้นกำเนิด เมื่อลำรังสีแกมมาทะลุผ่านไปได้ผิวหนัง 2-3 มม. จำนวนอิเล็กตรอนจะเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการถ่ายเทพลังงาน (โดยอิเล็กตรอน) เพิ่มขึ้น (เรียก "*electron build-up*") โดสสูงสุดจะปรากฏประมาณ 5 มม. ได้ผิวหนัง บนผิวหนังจะมีโดสสัมพัทธ์ต่ำ เนื่องจากผิวหนังบางนั่นเอง รูป 7.2 แสดงไอโซโดสของโคบอลต์ -60

โดยทั่วไปมักใช้ต้นกำเนิดโคบอลต์มีความเข้มรังสีสูงถึง 370 TBq ($\sim 10^4 \text{ Ci}$) ซึ่งต้องมีการป้องกันกัมมันตภาพรังสีที่ไม่ต้องการ เนื่องจากการสลายตัวไม่ล่ามารถกำจัดให้หมดไปได้ ดังนั้น ต้นกำเนิดจึงถูกบรรจุในวัตถุกำบังทำด้วยตะกั่วขนาดใหญ่ (หนักหลายตัน) และจะถูกเปลี่ยนทุก 5-10 ปี เนื่องจากโคบอลต์ -60 จะมีความเข้มรังสีลดลงในอัตรา 1% ต่อเดือน หรือ 50% ใน 5.3 ปี (คือค่าครึ่งอายุเป็น 5.3 ปีนั่นเอง)



รูป 7.2 เส้นโค้งไอโซโดสของ โคบอลต์ -60 แต่ละเส้นมีความเข้มข้นของสารกัมมันตรังสีต่างกัน 10% เห็นได้ว่า โดสสูงสุดได้รับที่ระยะใต้บริเวณผิวหน้า เล็กน้อย

กัมมันตภาพรังสีเอาทอปุของ โคบอลต์ -60 370 TBq มีค่าประมาณ 200 R/min ณ ระยะห่าง 1 เมตรจากต้นกำเนิด และโดยทั่วไปมักจะใช้รังสีรักษา 3 Gy (ใช้เวลาน้อยกว่า 2 นาที) ต่อวัน เป็นเวลาทั้งสิ้น 20 วัน (ยกเว้นวันสุดสัปดาห์)

ประมาณปี ค.ศ. 1970 ได้มีการผลิตเครื่องเร่งอิเล็กตรอนลีนีเยอร์ (*electron linear accelerators*) หรือที่เรียกว่า "ลีนีเยอร์" (*linacs*) ซึ่งวิวัฒนาการต่อมาคือการผลิตลีนีเยอร์ มีขนาดประมาณ 4 MV (ขนานเดียวกับหน่วยของ โคบอลต์ -60) สามารถผลิตสารรังสีมีความเข้มข้นเท่ากันตลอดเวลา (โดยทางทฤษฎีถือว่าเท่ากันตลอดเวลา) และกัมมันตรังสีมีต้นกำเนิดจากบริเวณที่มีขนาดเล็กกว่าต้นกำเนิดโคบอลต์ -60 เป็นผลให้ได้เส้นโค้งแสดงการกระจายไอโซโดสที่ชันคมกว่า

ข้อได้เปรียบของ เมกะโวลต์จเรอราปี

1. เกิดโด้ลสูงสูดได้ผิวหนัง และจากผลของการค่อยืมผ่านผิวหนังจะลดความเสีบปวดอันเกิดจากรังสีรักษา
2. พลังงานกั่มมันตรังสีขนาดสูง เกือบจะมีค่าลุ่มบูรณ์ในบริเวณคอมป์ตัน และไม่ทำให้เกิดโด้ลขนาดสูงต่อกระดูก
3. ความสามารถในการทะลทะลวงสูง ทำให้ลุ่มารถใช้วิธีการรังสีรักษาบริเวณมะเร็งที่อยู่ลึกในร่างกาย

7.8 บทสรุป

ประโยชน์ของรังสีรักษาคือใช้รักษาโรคมะเร็ง เป็นลุ่มใหญ่ ข้อควรระวังคืออาจเกิดการกระตุ้นโดยกั่มมันตรังสีให้เกิดเป็นมะเร็ง ได้เคยมีรายงานในสหรัฐอเมริกาว่า เด็กที่เคยรักษาัยรรอยดด้ด้วยไอโอดีน -131 ในเวลา 10 ปีกว่าผ่านไป คนใช้ตั้งกล่าวว่าได้เกิดมะเร็ง ณ บริเวณกระดูกคอซึ่ง เคยได้รับโด้ล เมื่อครั้งที่ทำการรักษาัยรรอยดด้นั้นเอง และการใช้รังสีรักษาโรคมะเร็งจะได้ผลหรือไ่มันขึ้นขึ้นอยู่กับระยะการเจริญเติบโตของมะเร็ง ถ้าเป็นระยะเริ่มต้นก็ลุ่มดวกและมักจะได้ผลในการรักษา ชนิดของมะเร็ง และปริมาณโด้ลกั่มมันตรังสีที่ใช้รักษา

การค้ำนึ่งถึงผลของกั่มมันตรังสีต่ออวัยวะของร่างกายต้องพิจารณาถึงค่าครึ่งอายุเอฟเฟ็คทิฟซึ่งสัมพันธ์กับค่าครึ่งอายุทางฟิสิกส์และค่าครึ่งอายุทางชีวภาพ ดังแสดงในลุ่มการ (7.1) หน่วยของกั่มมันตรังสีเพื่ออธิบายในด้านรังสีรักษาต้องค้ำนึ่งถึงโด้ลที่ถูกดูดกลืน (อธิบายรายละเอียดแล้วในบทที่ 5)

ในปัจจุบันเชื่อว่าขบวนการชีวเคมีของการที่กั่มมันตรังสีทำลายเซลล์มะเร็งคือกั่มมันตรังสีจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปฟอร์มทางเคมีขึ้น โดยลุ่มารที่ลุ่มั้งขึ้นใหม่ถือว่า เป็นพิษภายใน

เซลล์และจะเป็นตัวฆ่าเซลล์ ได้มีการกำหนดปริมาณกัมมันตรังสีที่จะฆ่าออร์แกนีสซึมได้ 50% (ของจำนวนทั้งหมด) เป็นค่าสัทิลโดส 50% (LD_{50}) บางครั้งถ้ามีการกำหนดเวลาจะเขียนเป็น LD_{50}^{30} หรือ $LD_{50}(30)$ กล่าวคือ เป็นค่าปริมาณกัมมันตรังสีที่จะฆ่า 50% ของออร์แกนีสซึมในเวลา 30 วัน

กัมมันตรังสีที่ใช้ในการรักษา โรคมะเร็งโพสฟอรัส -32 ทองคอลลอยด์-198 และไอโอดีน -131 ทั้งสองไอโซโทปรังสีแรกมักไม่นิยมใช้นัก และได้มีผลิตภัณฑ์ "ลินเน็คส์" ซึ่งมีขนาดเท่าโคบอลต์ -60 (4 Mu) ใช้ในงานรังสีรักษา อย่างไรก็ตาม ยังคงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของแพทย์ นักฟิสิกส์ พยาบาล คนไข้ รวมทั้งผู้เกี่ยวข้องอื่นๆในการจะได้รับกัมมันตรังสีด้วย

คำถามทบทวน

7.1 อธิบายความหมายของคำต่อไปนี้

- ก) ค่าครึ่งอายุทางฟิสิกส์
- ข) ค่าครึ่งอายุทางชีวภาพ
- ค) ค่าครึ่งอายุเอฟเฟ็คทีฟ

7.2 จงหาค่าครึ่งอายุเอฟเฟ็คทีฟของ $Tl - 201$ ในหัวใจ ถ้า $T_{\frac{1}{2}}^{bio} = 8$ ชม. และ $T_{\frac{1}{2}}^{phy} = 8$ วัน

7.3 อธิบายความหมายและเปรียบเทียบแสดงความสัมพันธ์ของหน่วย

- ก) แรด
- ข) เรินต์เก้น
- ค) เกรย์

7.4 LD_{50}^{80} คืออะไร จงอธิบาย

- 7.5 อธิบายเจเนอเฟฟเฟ็คคืออะไร ใครเป็นผู้ค้นพบ และเกี่ยวข้องอย่างไรในรังสีรักษา
- 7.6 อธิบายการใช้นิวไคลด์รังสีในการรักษาโรคพอลีเมีย
- ก) ฟอสฟอรัส -32
 - ข) ทองคอลลอยด์ -¹⁹⁸Au
 - ค) ไอโอดีน -131
- 7.7 ข้อได้เปรียบของเมกะโวลเตจเรอราปีมีอะไรบ้าง
- 7.8 วิจารณ์ถึง โดสที่คนไข้ได้รับในรังสีรักษาและในรังสีวินิจฉัย