

บทที่ 2

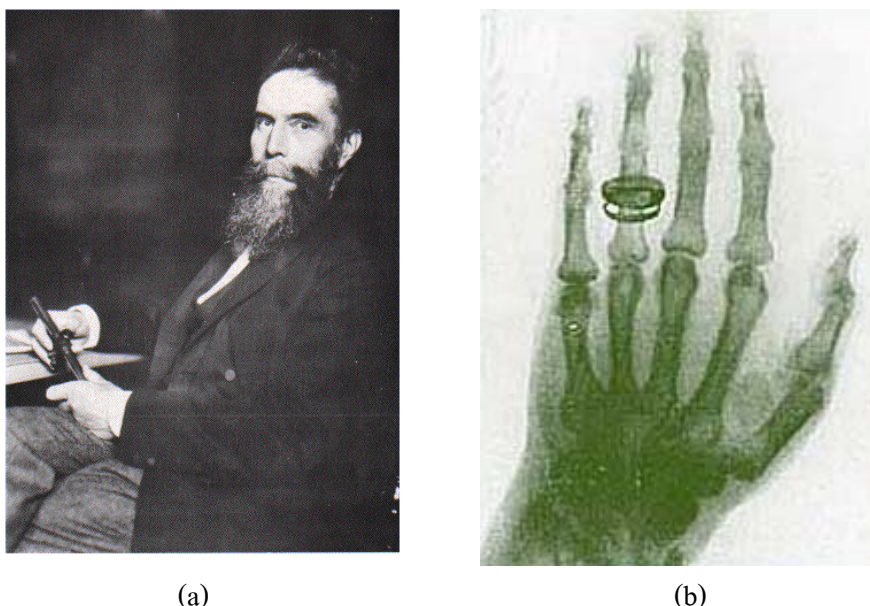
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอ็กซ์เรย์

2.1 บทนำ

เอ็กซ์เรย์คือรังสีที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า มีลักษณะเป็นทั้งคลื่นและอนุภาคของแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นสั้น โดยมีค่าความยาวคลื่นอยู่ในช่วงประมาณ 0.04 ถึง 1000 อังสตรอม ซึ่งเป็นค่าความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงระหว่างรังสีแกมมากับรังสีอัลตราไวโอเลต คุณสมบัติโดยทั่วไปของเอ็กซ์เรย์จะคล้ายคลึงกับแสงสว่างธรรมดาเป็นส่วนใหญ่ แต่คุณสมบัติพิเศษของเอ็กซ์เรย์คือมีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุต่างๆ ได้ โดยที่จะผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นและน้ำหนักอะตอมของวัตถุที่ผ่าน นอกจากนั้นเอ็กซ์เรย์ยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านอื่นๆ อีกด้วย

2.2 ประวัติการค้นพบเอ็กซ์เรย์

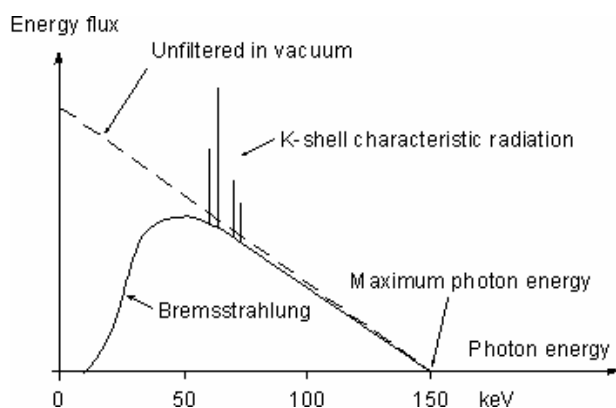
ผู้ที่ทำการค้นพบเอ็กซ์เรย์เป็นคนแรกคือ นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน (Wilhelm Conrad Roentgen) การพบนี้เกิดขึ้นในตอนเย็นวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2438 ภายในห้องทดลอง ณ มหาวิทยาลัยวูบรุค ประเทศเยอรมัน เรินท์เกนได้พบเอ็กซ์เรย์ในขณะที่กำลังทำการทดลองในเรื่อง “Absorption of Cathode rays” โดยใช้หลอดทดลองที่เรียกว่า Crookes’ tube เขาได้สังเกตเห็นว่า Cathode rays ที่ออกมาจากหลอดทดลองนั้นทำปฏิกิริยาให้กระดาษแข็งที่ฉาบด้วยธาตุ “แบเรียมพลาทิโนไซยาไนด์” (Barium platinocyanide) เกิดการเรืองแสงขึ้น โดยที่ระยะที่ไกลที่สุดที่ยังมีการเรืองแสงบนกระดาษแข็งคือ 120 เซนติเมตร ในขณะเดียวกันเขาสังเกตเห็นอีกว่าตัวอักษร A ที่ทำด้วยธาตุแบเรียมพลาทิโนไซยาไนด์ซึ่งวางอยู่ห่างออกไปเกือบสิบฟุตเกิดเรืองแสงขึ้นด้วย ทั้งๆที่ไม่อยู่ในระยะของ Cathode rays เรินท์เกนจึงคิดว่าเขาค้นพบชนิดใหม่ขึ้นแล้วและให้ชื่อว่า X-ray และเขาได้ใช้เวลาอีกหลายสัปดาห์ต่อมาทำการทดลองและสังเกตถึงอำนาจในการการทะลุทะลวงของเอ็กซ์เรย์ผ่านกระดาษ, โลหะและแม้กระทั่งผ่านเนื้อของมนุษย์และเขาได้ถ่ายภาพรังสีของมือของภรรยาเขาไว้โดยในบริเวณที่เป็นเนื้อหนังจะเห็นเป็นรอยสีเทาหรือสีดำ ส่วนบริเวณที่เป็นกระดูกนั้นจะมีให้เห็นเป็นรอยสีขาว ดังรูปที่ 2.1 (b) จึงนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิชารังสีวิทยาทางการแพทย์ [1]



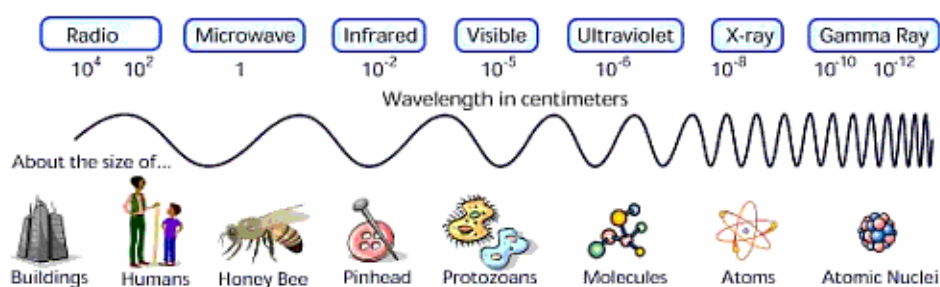
รูปที่ 2.1 (a) วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน ผู้ค้นพบเอ็กซเรย์เป็นคนแรกเมื่อปี ค.ศ.1895
(b) ภาพถ่ายเอ็กซเรย์ภาพแรกซึ่งเป็นภาพถ่ายมือภรรยาของ วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน

2.3 การเกิดเอ็กซเรย์

เอ็กซเรย์ไม่ได้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ แต่เป็นรังสีที่เกิดจากการสร้างของมนุษย์ โดยใช้ปรากฏการณ์เบรมสตารุงส์ (Bremsstrahlung) เอ็กซเรย์เกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนซึ่งเป็นวัสดุที่มีมวล (อิเล็กตรอน 1 ตัวมีมวล 9.11×10^{-28} กรัม) วิ่งไปกระทบกับเป้าโลหะซึ่งทำมาจากทังสเตน และถูกทังสเตนสกัดกั้นไว้ มีผลทำให้อิเล็กตรอนวิ่งช้าลงหรือหยุดและคายพลังงานจลน์ (kinetic energy) ออกมา ในขณะที่อิเล็กตรอนกำลังวิ่ง จะมีพลังงาน 2 รูป คือ พลังงานศักย์ (potential energy) และพลังงานจลน์ พอถูกทังสเตนสกัดกั้นไว้จนหยุด อิเล็กตรอนจะคงเหลือแต่พลังงานศักย์ ส่วนพลังงานจลน์ไม่สูญหาย แต่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานใหม่อีก 2 รูป คือ มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ จะเปลี่ยนเป็นความร้อนและน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ [2] จะเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า เอ็กซเรย์ โดยที่เอ็กซเรย์ที่เกิดขึ้นจะเป็นส่วนผสมของเอ็กซเรย์ที่มีค่าความยาวคลื่นแตกต่างกันตั้งแต่ความยาวคลื่นสั้นที่สุดซึ่งมีพลังงานสูงสุดที่เกิดจากอิเล็กตรอนที่ถูกทำให้หยุดและความยาวคลื่นปานกลางขนาดต่างๆ ไปจนถึงความยาวคลื่นที่สูงที่สุดซึ่งเป็นเอ็กซเรย์ที่มีพลังงานต่ำและยังมีพลังงานจลน์เหลืออยู่ ส่วนผสมของเอ็กซเรย์นี้เรียกว่าเอ็กซเรย์สเปกตรัม (X-ray spectrum) เอ็กซเรย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นจะมีพลังงานสูงและมีอำนาจทะลุทะลวงมากกว่าเอ็กซเรย์ที่มีค่าความยาวคลื่นยาว

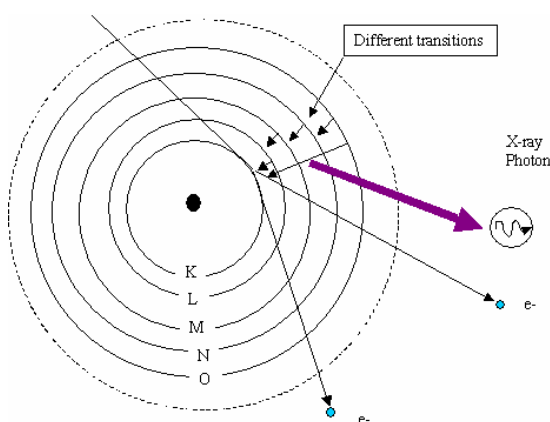


รูปที่ 2.2 เอ็กซ์เรย์สเปกตรัมที่ได้จากหลอดเอ็กซ์เรย์ที่เป่าโลหะทำจากทังสเทน



รูปที่ 2.3 แสดงแถบความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

นอกจากวิธีการข้างต้น เอ็กซ์เรย์ยังสามารถเกิดขึ้นได้อีกวิธีหนึ่ง คือเมื่ออิเล็กตรอนหลายๆ วงที่วิ่งวนรอบนิวเคลียสของอะตอม เกิดการกระโดดข้ามจากวงโคจรที่มีระดับพลังงานสูงกว่าไปสู่วงโคจรอื่นที่มีระดับพลังงานต่ำกว่า จะเกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของเอ็กซ์เรย์ที่มีพลังงานเฉพาะและคงที่ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะอะตอมของธาตุนั้นๆ เอ็กซ์เรย์ที่ได้มาด้วยวิธีนี้ จึงเรียกว่ารังสีลักษณะเฉพาะ (characteristic radiation) [2]



รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดเอ็กซ์เรย์แบบลักษณะเฉพาะ

การเกิดเอ็กซ์เรย์นี้อาศัยองค์ประกอบสำคัญ 5 ประการ [3] คือ

1. ทำให้เกิดอนุภาคอิเล็กตรอนหรือการแยกอิเล็กตรอนออกจากอะตอมของโลหะ อิเล็กตรอนจะเกิดขึ้นหรือแยกจากอะตอมของโลหะที่ทำเป็นไส้หลอดเอ็กซ์เรย์ โดยการที่เราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในไส้หลอด (Filament) จนกระทั่งไส้หลอดร้อนขึ้น ประมาณ 2000 องศาเซลเซียสหรือมากกว่านั้น จะมีผลทำให้เกิดเทอร์มิโอนิกอีมิชชัน (Thermionic Emission) คือ อิเล็กตรอนหลุดออกจากเซลล์หรือวงโคจรของมันเมื่อถูกความร้อน อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจะมาออกันอยู่รอบๆ ผิวหน้าของโลหะจนกลายเป็นกลุ่ม (Cloud) เรียกว่า Space charge สาเหตุที่อิเล็กตรอนไม่สามารถหลุดพ้นไปจากผิวหน้าโลหะ เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนและอะตอม ของโลหะยังมีอยู่

2. การทำให้อนุภาคอิเล็กตรอนหลุดและเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วสูง วิธีที่จะทำให้อนุภาคอิเล็กตรอนหลุดจากอะตอมไปได้ คือ ต้องหาสิ่งที่มีพลังงาน หรือแรงดึงดูด มากกว่าแรงดึงดูดระหว่างอิเล็กตรอนกับ อะตอมของโลหะ มาดึงดูดอิเล็กตรอนสิ่งนั้นก็ คือ ไฟฟ้าแรงสูง (High voltage) ไฟฟ้าแรงสูงนี้ นอกจากจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวหน้าของโลหะ แล้ว ยังทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่หรือวิ่งไปด้วยความเร็วสูง กล่าวอีกอย่างหนึ่งคือ ต้องทำให้ไฟฟ้าระหว่างขั้วบวกและขั้วลบให้ต่างกันความต่างศักย์นี้ถ้ายังมีค่ามากขึ้นเท่าใด ก็ยิ่งทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากผิวหน้าของไส้หลอดได้มากและวิ่งไปด้วยความเร็วสูงขึ้นความต่างศักย์ 100 กิโลโวลต์จะทำให้อิเล็กตรอนมีความเร็วประมาณ 165 กิโลเมตรต่อวินาที

3. การทำให้เส้นทางที่อิเล็กตรอนวิ่งผ่านไปด้วยไม่มีสิ่งกีดขวาง จึงจะทำให้อิเล็กตรอนวิ่งไปด้วยความเร็วสูง ดังนั้นภายในหลอดเอ็กซ์เรย์จึงเป็นสุญญากาศ เพราะถ้ามีอากาศหรือก๊าซอยู่ภายในหลอดแม้เพียงเล็กน้อยก็ตาม ความเร็วของอิเล็กตรอนจะลดลงเนื่องจากเกิดไอออนไนเซชัน (Ionization)

4. การทำให้อิเล็กตรอนมีความเข้มข้น (Concentration of electron) จะต้องมียุทธวิธีที่จะให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปในแนวทิศทางเดียวกัน คือ พุ่งไปหาจุดโฟกัสของเป้าด้วยปริมาณ (ความเข้มข้น) ที่มากพอสมควร ซึ่งทำได้โดยการใช้เครื่องมือที่เรียกว่า "Electron focusing device" คอยควบคุม ให้อิเล็กตรอนส่วนใหญ่ไปตกในบริเวณจุดโฟกัสของเป้า

5. การที่จะทำให้อิเล็กตรอนที่วิ่งมาด้วยความเร็วสูงนี้หยุดวิ่งในทันทีทันใดจะสามารถทำให้เกิดเอ็กซ์เรย์ได้ ซึ่งสามารถทำได้โดยหาวัตถุมักันหรือขวางอิเล็กตรอนวัตถุนั้นก็คือ เป้า (Target) ผลที่เกิดขึ้น คือ เกิดการชนหรือกระทบกันระหว่างอิเล็กตรอนกับเป้าอย่างแรงอิเล็กตรอนดังกล่าวจะไปชนอิเล็กตรอนที่อยู่ในวงโคจรของอะตอมของเป้านั้นให้หลุดกระเด็นออกนอกวงโคจรและจะมีอิเล็กตรอนจากวงโคจรอื่นๆ ที่อยู่ถัดไปวิ่งเข้ามาแทน แต่เนื่องจากพลังงานของอิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรจะไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงมี การคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของเอ็กซ์เรย์และความร้อน (ส่วนใหญ่จะเป็นความร้อนมากกว่า) กล่าวคือ จากพลังงานของอิเล็กตรอนทั้งหมดที่วิ่งไปสู่เป้านั้น 99.8 เปอร์เซ็นต์จะเปลี่ยนเป็นความร้อน และ 0.2 เปอร์เซ็นต์จะเปลี่ยนเป็นเอ็กซ์เรย์

2.4 ลักษณะและคุณสมบัติของเอ็กซ์เรย์

1. เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีช่วงคลื่นสั้นมากอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.04-1000 อังสตรอม
2. มีคุณสมบัติเหมือนแสงสว่างธรรมดา เช่น เดินทางเป็นเส้นตรง ถ้าเดินทางในสุญญากาศจะมีความเร็วเท่ากับแสงคือ 186,000 ไมล์ต่อวินาที หรือ 3×10^8 เซนติเมตร/วินาที นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการสะท้อนกลับ, หักเหและเบี่ยงเบนได้เช่นเดียวกับแสงสว่างธรรมดา
3. ไม่หักเหโดยสนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า
4. เกิดจากการที่อนุภาคอิเล็กตรอนที่มีความเร็วสูงวิ่งเข้าชนเป้าอิเล็กตรอนดังกล่าวนี้จะวิ่งไปชนอิเล็กตรอนตัวอื่นๆ ที่อยู่ในวงโคจรของอะตอมของเป้าให้หลุดกระเด็นออกนอกวงโคจร อิเล็กตรอนของเชลล์นอกถุดออกไปจะวิ่งเข้ามาแทนที่และคายพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปของเอ็กซ์เรย์และความร้อน
5. ทำให้เกิดการเรืองแสงในสารพิเศษบางอย่าง
6. ดูดกลืน (Absorbed) โดยสสาร (Matter) ทุกชนิดมากบ้างน้อยบ้างขึ้นอยู่กับความหนาแน่นและน้ำหนักของอะตอมของสสารนั้น
7. ทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้า (Ionization) เมื่อผ่านไปในอากาศหรือก๊าซ
8. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เช่น เมื่อเอ็กซ์เรย์ไปถูกฟิล์มถ่ายรูปจะทำให้ฟิล์มนั้นดำจึงนำผลอันนี้มาใช้ในการบันทึกภาพรังสีบนแผ่นฟิล์มเอ็กซ์เรย์
9. ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีวะ เป็นต้นว่าทำให้เซลล์ของร่างกายเปลี่ยนแปลงหรือเกิดการผ่าเหล่า (Genetic mutation) ถ้าได้รับรังสีเป็นจำนวนมาก
10. มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูงสามารถทะลุผ่านเนื้อหนังของมนุษย์และสัตว์ได้แต่ไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นตะกั่วหรือคอนกรีตหนาๆ ได้

2.5 โครงสร้างหลอดเอ็กซเรย์

หลอดเอ็กซเรย์ที่ใช้กันในวงการแพทย์มีด้วยกัน 2 ชนิด [4] คือ

2.5.1 หลอดเอ็กซเรย์แบบทั่วไป จะแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

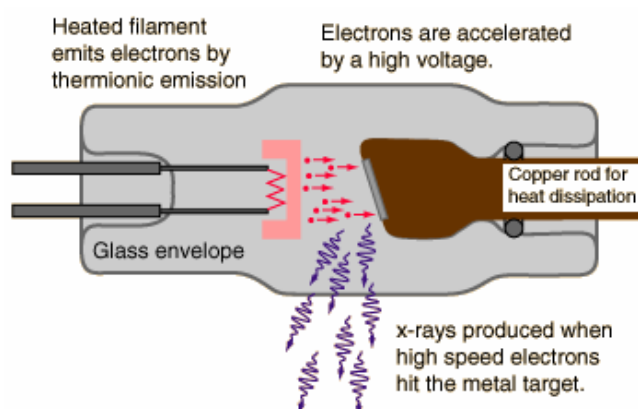
หลอดเอ็กซเรย์ชนิดขั้วแอโนดแบบอยู่นิ่ง (Stationary anode tube)

หมายถึงหลอดเอ็กซเรย์ชนิดที่ขั้วบวก อยู่คงที่ กล่าวคือขั้วบวกมักจะทำเป็นแท่งทองแดง ลักษณะเป็นบล็อกและมีเป่าเป็นบริเวณสี่เหลี่ยมเล็กๆ ทำด้วยแผ่นโลหะทั้งสแตนเลสซึ่งฝังลงในบล็อกทองแดงอีกทีหนึ่ง

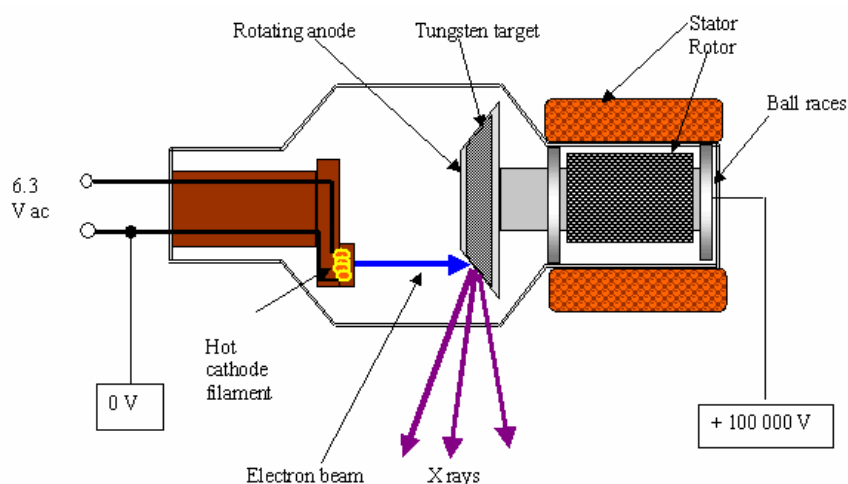
หลอดเอ็กซเรย์ชนิดขั้วแอโนดแบบหมุนได้ (Rotating anode tube)

หมายถึงหลอดเอ็กซเรย์ชนิดที่ขั้วบวกไม่อยู่คงที่ กล่าวคือจะหมุนรอบตัวตลอดเวลาที่ทำการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ ขั้วบวกของหลอดชนิดนี้ จะมีรูปร่างคล้ายจาน ทำด้วยทั้งสแตนเลสและมีแกนหรือด้ามลักษณะเรียวยาวเล็กทำด้วยโมลิบดีนัมและมีส่วนที่ทำให้เกิดการหมุนอยู่ตรงปลายของด้ามนั้น

ส่วนประกอบที่สำคัญของหลอดเอ็กซเรย์ทั้ง 2 ชนิด แสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของ Stationary anode



รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญๆ ของ Rotating anode

2.5.2 หลอดเอกซเรย์แบบพิเศษ จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

หลอดเอกซเรย์แบบกริด (Grid-Controlled X-ray tube)

เป็นหลอดเอกซเรย์ที่มีขั้วไฟฟ้าขั้วที่ 3 ที่เรียกว่ากริด (Grid) เพื่อใช้ในการควบคุมการไหลอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดไปยังขั้วแอโนด กริดนี้จะมีลักษณะเป็นรูปถ้วยโฟกัสอยู่รอบไส้หลอด และมีศักย์เป็นลบเมื่อเทียบกับไส้หลอด ซึ่งศักย์ไฟฟ้าระหว่างกริดกับไส้หลอดจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่สามารถบังคับอิเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นได้ แต่หากสนามไฟฟ้าสูงเกินไปจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนชนกันเอง และไปไม่ถึงแอโนดได้

หลอดเอกซเรย์แบบขั้วแอโนดแยกส่วนและหมุนได้ (Rotating segmented anode tube)

หลอดเอกซเรย์ชนิดนี้จะมีแอโนดที่ทำด้วยแกรไฟต์เป็นรูปถ้วย ภายในถ้วยจะประกอบด้วยหลอดทั้งสแตน-รีเนียมหลายร้อยเส้นเรียงรายกัน ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการระบายความร้อนขณะที่แอโนดหมุน หลอดเอกซเรย์ชนิดนี้สามารถรองรับความร้อนได้มากขึ้นกว่าแบบจานหมุนมาก โดยสามารถรองรับความร้อนได้สูงถึง 700,000 Heat unit

หลอดเอกซเรย์แบบปลดปล่อยอิเล็กตรอนด้วยสนามไฟฟ้าความเข้มสูง (Field emission X-ray tube)

ลักษณะพิเศษของหลอดเอกซเรย์ชนิดนี้ก็คือ มีขั้วแคโทดเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเข็มเล็กๆ อยู่ภายใน ซึ่งทำให้สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างแอโนดและแคโทดไม่กระจายออกไปเหมือนแบบปกติ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่สูงมากขึ้นทำให้อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากแคโทดมีพลังงานสูงขึ้น พลังงานเอกซเรย์ก็จะมากขึ้นด้วย หลอดเอกซเรย์ลักษณะนี้จะใช้กับการถ่ายภาพทรวงอกและทารกแรกเกิด

จากรูปที่ 2.5 และ 2.6 ส่วนประกอบสำคัญของหลอดเอกซเรย์โดยทั่วไปจะมีดังนี้

1. โครงสร้างทั้งหมดของเอกซเรย์จะถูกรองรับอยู่ในหลอดแก้วที่ผนึกอย่างดี ทั้งนี้เพื่อให้ภายในหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ เพื่อป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาชนกับโมเลกุลของอากาศซึ่งจะทำให้เสียพลังงานไป

2. มีขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว คือ ขั้วบวก (Anode) และขั้วลบ (Cathode)

Anode มี 2 ชนิดคือ

Anode ชนิดอยู่กับที่ชนิดนี้ทำด้วยทองแดง ปลายด้านหนึ่งติดอยู่กับหลอดแก้ว ส่วนอีกปลายหนึ่งมีแผ่นโลหะทั้งสแตนขนาดครึ่งตารางนิ้วติดอยู่ตรงกลาง เรียกว่า เป้า การใช้โลหะทั้งสแตนเป็นเป้าก็ด้วยสาเหตุคือทั้งสแตนเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง ด้านทานความร้อนได้ดี จึงไม่ละลาย กับทั้งยังเป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวสูง เป็นผลให้สามารถผลิตแสงเอกซเรย์ได้ดีมากกว่าโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมต่ำ

Anode ชนิดที่หมุนได้นี้มีลักษณะคล้ายๆ จานกลมทำด้วยโลหะทั้งสแตน หมุนอยู่กับแกนที่ทำด้วยโมลิบดีนัมที่ทำเป็นแกนก็เพื่อที่จะเพิ่มเนื้อที่ของ Anode ให้มากขึ้นและช่วยระบายความร้อนอีกด้วย

สำหรับ Cathode นั้นประกอบด้วยลวดทั้งสแตนที่พันเป็นขดเรียกว่าไส้หลอด ขดลวดนี้จะบรรจุอยู่ในที่รองรับที่มีลักษณะถ้วยเรียกว่า “Focusing cup” ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อออกไปภายนอกหลอดแก้วเพื่อต่อกับวงจรไฟฟ้า เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านเข้าไปยังไส้หลอด จะทำให้อุณหภูมิของไส้หลอดสูงขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงมากพอก็จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่บริเวณผิวหลอดออกมา และเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของสนามไฟฟ้าระหว่างแคโทดและแอโนด ปรากฏการณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนนี้เรียกว่า การปลดปล่อยเทอร์มิโอนิก (Thermionic Emission)

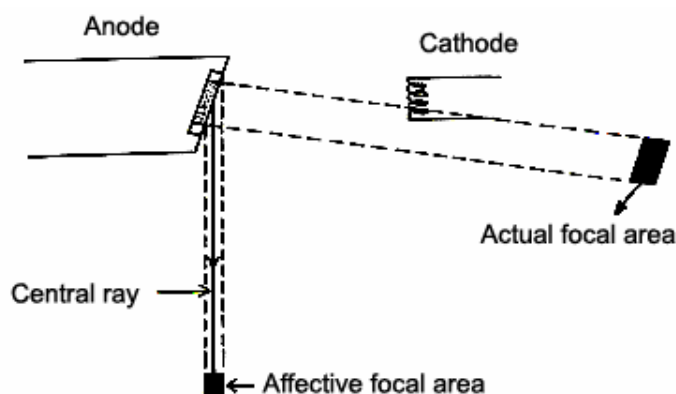
3. เป้าเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดเอ็กซเรย์ทั้งนี้อิเล็กตรอนต้องวิ่งมาชนเป้านี้จึงจะเกิดเอ็กซเรย์ จุดหรือบริเวณที่เป็นเป้าให้อิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนนี้เรียกว่าจุดโฟกัส จุดนี้คือจุดกำเนิดของเอ็กซเรย์

ขนาดของจุดโฟกัสนั้นมีความสำคัญเกี่ยวกับการถ่ายภาพเอ็กซเรย์มาก โฟกัสที่มีขนาดเล็กจะให้คุณภาพที่มีคุณภาพดี มีรายละเอียดและความชัดเจนมากกว่า ส่วนจุดโฟกัสที่มีขนาดใหญ่จะมีความทนทานต่อความร้อนได้มากกว่าแต่ภาพที่ได้รับจะมีความชัดเจนน้อยกว่าภาพที่ถ่ายโดยใช้จุดโฟกัสขนาดเล็ก

ดังนั้นเพื่อที่จะได้ภาพที่มีความชัดเจนและเพื่อให้จุดโฟกัสมีความทนทานต่อความร้อนได้เป็นอย่างดีจึงได้มีการหาวิธีที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวนี้ ทำได้ 2 วิธีคือ

- 1 ใช้วิธีสร้าง Line-focus principle
- 2 ใช้วิธีทำให้ Anode หมุน

Line-focus principle นั้น อาศัยหลักการคือ บังคับให้ลำอิเล็กตรอนวิ่งไปสู่เป้าในลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉากและสร้างให้ด้านหน้าของเป้า (Target) เอียงเป็นมุมประมาณ 17° - 20° กับด้านหน้าของ Cathode ดังในรูปที่ 2.7

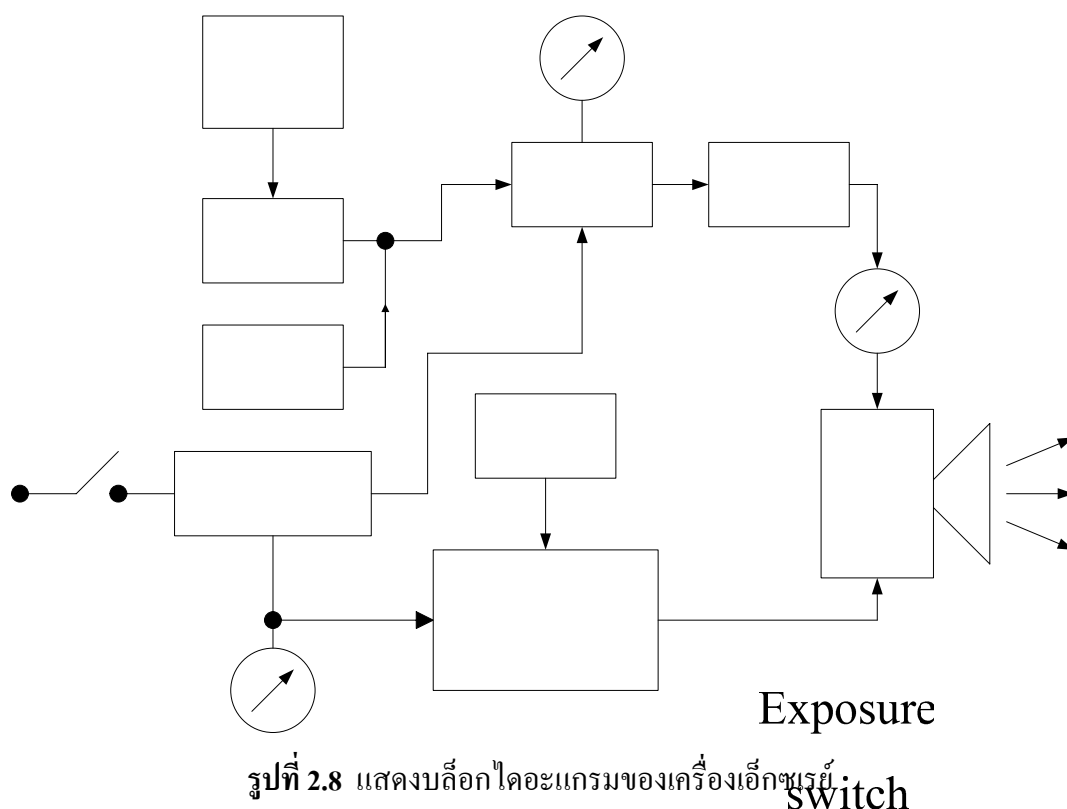


รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึง Line-focus principle และการเอียง Target เป็นมุม 17° - 20° เพื่อทำให้ Effective focal spot ขนาดเล็ก

การสร้างให้เป่าเอียง 17° - 20° นี้มีวัตถุประสงค์คือ

1. ทำให้ Effective focal area มีขนาดเล็ก ภาพที่ได้จะชัดเจนและคม
2. ทำให้ Actual focal area มีขนาดใหญ่ รับความร้อนได้มากและทนความร้อนได้ดี

สำหรับวิธีที่ทำให้ Anode หมุนนั้นก็เพื่อจะเพิ่มเนื้อที่ของ Anode ให้มากขึ้น ผลคือทนทานต่อความร้อนได้มากขึ้นและตำแหน่งของ Focal spot ที่ถูกอิเล็กตรอนชนจะเปลี่ยนที่ไปเนื่องจาก Anode มีการหมุน



2.6 หน่วยที่ใช้วัดเอ็กซเรย์

หน่วยที่ใช้วัดเอ็กซเรย์ มี 2 อย่าง [6] คือ วัดคุณภาพ และ วัดปริมาณ

2.6.1 การวัดคุณภาพ

การวัดคุณภาพ คือ การวัดคุณสมบัติในการฉายทะลุวัตถุต่างๆ มี 3 วิธี คือ

- 1) โดยการวัดความยาวคลื่น ความยาวคลื่นสั้นมีอำนาจทะลุทะลวงได้มาก
- 2) โดยการวัดพลังงานของรังสี เป็นอิเล็กตรอนโวลต์ (electron volt) พลังงานมากมีอำนาจ

ทะลุทะลวงมาก

1 อิเล็กตรอนโวลต์ = 1.60×10^{-12} เอร์ก (erg)

1 วัตต์ (watt) = 10^7 เอร์กต่อวินาที (erg/second)

kV

Selector

Voltage

Compensator

$$\begin{aligned}
 1 \text{ แรงม้า (horse power)} &= 746 \text{ วัตต์} \\
 &= 7.46 \times 10^9 \text{ เอิร์กต่อวินาที} \\
 &= 4.66 \times 10^{21} \text{ อิเล็กตรอน โวลต์ต่อวินาที (electron volt/second)}
 \end{aligned}$$

3) โดยการวัดอำนาจทะลุโลหะ (half value layer ; H.V.L) เป็นความหนาเป็นมิลลิเมตรของโลหะ เช่น ทองแดง หรือ อะลูมิเนียม ที่สามารถกรองเอ็กซ์เรย์แล้วลดปริมาณรังสีลงได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม

2.6.2 การวัดปริมาณ

สามารถวัดได้ใน 2 ลักษณะ [6] คือ

1. ปริมาณและรังสีที่มนุษย์สัมผัส (Expose radiation)
2. ปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ร่างกาย (Absorbed radiation)

หน่วยต่างๆ ที่ใช้ในการวัด ได้แก่

คูรี (Curie,Ci) เป็นหน่วยวัดที่ใช้กันทั่วไป โดยตั้งชื่อขึ้นหลังจากมาดามแมรี คูรี และสามี ปีแอร์ คูรี ได้ค้นพบธาตุเรเดียม คูรี เป็นหน่วยวัดความแรงของรังสี โดยกำหนดว่า สารกัมมันตรังสีที่สลายตัวในอัตรา 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที จะมีความแรงเท่ากับ 1 คูรี ตัวอย่างเช่น EPA (Environmental Protection Agency ใน USA) เปรียบเทียบการหายใจเอาสารเรดอน (เป็นธาตุกัมมันตรังสีชนิดหนึ่ง) เข้าไปวันละ 10 ปีแอร์คูรีต่อลิตรของอากาศ (1Pci=1 ส่วนล้านล้านส่วน Ci) จะเกิดอันตรายต่อการเป็นโรคมะเร็งพอๆกับการสูบบุหรี่วันละ 1 ซอง

เรินต์เกน ในปี พ.ศ. 2471 ที่ประชุมรังสีแพทยนานาชาติได้ตกลงกันที่กรุงสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน ให้วัดปริมาณเอ็กซ์เรย์ด้วยหน่วยเรินต์เกน ซึ่งต่อมาในปี พ.ศ. 2480 ในการประชุมแบบเดียวกันที่นครชิคาโก สหรัฐอเมริกา ได้ตกลงให้ใช้หน่วยเรินต์เกนวัดปริมาณรังสีแกมมาด้วย เพราะรังสีแกมมาและเอ็กซ์เรย์เหมือนกันทุกอย่าง นอกจากกำเนิดไม่เหมือนกัน คือ เอ็กซ์เรย์มนุษย์ทำขึ้น แต่รังสีแกมมาเกิดโดยธรรมชาติ รังสี 1 เรินต์เกน ฉายผ่านอากาศแห้ง จำนวน 0.001293 กรัม ที่ 0 องศาเซลเซียส ความกดดัน 760 มิลลิเมตรปรอท จะทำให้โมเลกุลของอากาศปล่อยอิเล็กตรอนซึ่งมีไฟฟ้าสถิต 1 หน่วยประจุไฟฟ้าสถิตหรือ 1 อีเอสยู (electrostatic unit ; e.s.u.) ถ้าคิดเป็นพลังงาน 1 เรินต์เกน จะเท่ากับ 83 เอิร์กต่อกรัมของอากาศ หรือ 93 เอิร์กต่อกรัมของเนื้อ

เรป (roentgen equivalent physics ; R.E.P) คือ จำนวนรังสีใดๆที่ให้พลังงาน 93 เอิร์กต่อ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของเนื้อ

เรม (roentgen equivalent man ; R.E.M.) คือ จำนวนรังสีใดๆที่ให้ผลทางชีววิทยาต่อเนื้อคนเท่ากับผลที่เกิดจากเอ็กซ์เรย์ 1 เรินต์เกน

แรด (roentgen absorbed dose ;R.A.D) ในปี พ.ศ. 2496 ในการประชุมรังสีวิทยานานาชาติครั้งที่ 7 ที่นครโคเปนโฮเกน มีมติให้ใช้แรดเป็นหน่วยวัดปริมาณรังสีที่ถูกดูด โดยสิ่งมีชีวิต ในรูปของพลังงานที่สะสมในช่วงเวลาหนึ่ง

เกรย์ (Gray ; Gy) เป็นหน่วยในระบบเอสไอ (SI unit) ของปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ร่างกาย มีค่าเท่ากับ 2 Jkg^{-1}

$$100 \text{ rad} = 1.0 \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy} = 1 \text{ cGy}$$

$$1 \text{ mrad} = 0.01 \text{ mGy}$$

$$10 \text{ mrad} = 0.1 \text{ mGy}$$

ซีเวิร์ท (Sievert; SV) เป็นหน่วยในระบบเอสไอของจำนวนรังสีที่มากที่สุดที่มนุษย์สามารถได้รับด้วยความปลอดภัยเป็นจำนวนที่เรียกว่า relative biological effective (RBE) ซึ่ง $1 \text{ rem} = 10^{-2} \text{ SV}$ และ $1 \text{ SV} = 100 \text{ rem}$

2.7 ระบบเอ็กซเรย์ที่ใช้ในทางการแพทย์

2.7.1 Photofluorography [4]

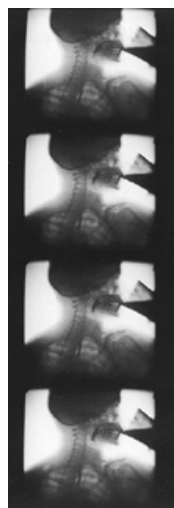
หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Mass miniature radiography เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในงานเอ็กซเรย์ทรวงอก โดยเป็นการบันทึกภาพเอ็กซเรย์ลงบนฟิล์ม ซึ่งจะบันทึกได้เพียงครั้งเดียวต่อฟิล์ม 1 แผ่น



รูปที่ 2.9 แสดงการถ่ายภาพเอ็กซเรย์แบบใช้ฟิล์ม

2.7.2 Cinefluorography [4]

เป็นวิธีการบันทึกภาพยนตร์รังสีเอ็กซ์ โดยใช้กล้องถ่ายภาพยนตร์ หรือกล้องโทรทัศน์แทนฟิล์มเอ็กซเรย์ ซึ่งอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Television Cinefluorography ซึ่งเครื่องเอ็กซเรย์รูปแบบนี้จะเป็นต้นแบบในการพัฒนาในรุ่นต่างๆภายในเวลาต่อมา



(a)



(b)

รูปที่ 2.10 (a) แสดง Cinefluorography ภาพแรกของโลก ในปี ค.ศ. 1947

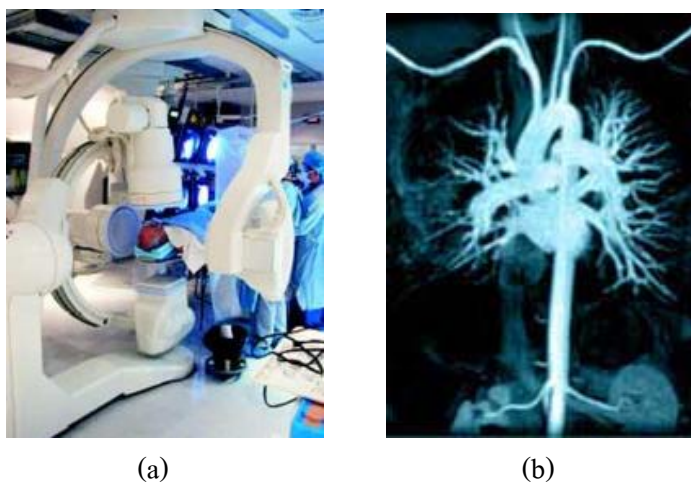
(b) แสดง ฟิล์มที่ใช้บันทึก Cinefluorography ของบริษัท โกดัก

2.7.3 Angiography [4]

เป็นวิธีการตรวจทางรังสีของหลอดเลือด ปกติแล้ว เส้นเลือดจะโปร่งเมื่อฉายรังสีเอ็กซ์ลงบนฟิล์ม จึงต้องทำให้เส้นเลือดทึบ โดยการฉีดสารทึบรังสีเข้าไปในเส้นเลือดที่เราต้องการดู วิธีการนี้สามารถถูกนำไปใช้กับงานบริเวณนั้นได้อีกด้วย ซึ่งจะมีชื่อเรียกย่อยลงไปตามบริเวณที่ใช้งาน เช่น

- Vertebral Angiography การตรวจทางรังสีของเส้นเลือดที่เลี้ยงสมองส่วนหลัง
- Branchial Angiography การตรวจทางรังสีของเส้นเลือดแดงที่ไปเลี้ยงแขนหรือมือ
- Cerebral Angiography การตรวจทางรังสีของเส้นเลือดในสมอง
- Cardio Angiography การตรวจทางรังสีของเส้นเลือดแดงที่เลี้ยงหัวใจ

เป็นต้น



รูปที่ 2.11 (a) แสดงเครื่อง Angiography ขณะทำงาน
(b) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากเครื่อง Angiography

2.7.4 Xeroradiography [4]

เป็นเทคนิคการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ลงบนฟิล์มชนิดพิเศษ ฟิล์มเอ็กซเรย์ชนิดนี้จะถูกฉาบด้วยสารรังสีชนิดพิเศษ จึงต้องใช้วิธีการเฉพาะเมื่อทำให้เกิดภาพ โดยวิธีการนี้สามารถนำฟิล์มกลับมาใช้ใหม่ได้ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้ในการเอ็กซเรย์กระดูกบริเวณแขน ขา และทรวงอก นอกจากนี้ยังเป็นที่นิยมในการใช้เอ็กซเรย์วัตถุต่างๆ เพื่อตรวจสอบภายใน หารอยร้าว อีกด้วย ดังรูปที่ 2.12



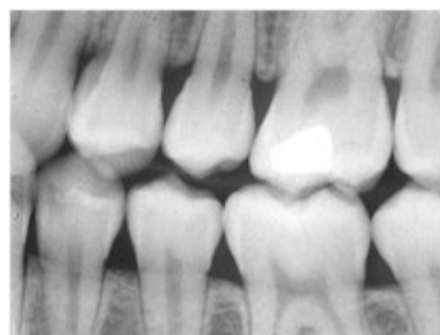
รูปที่ 2.12 แสดงการใช้ Xeroradiography ในการตรวจสอบวัตถุต่างๆ
(a) ตัวอย่างวัตถุที่นำมาตรวจสอบ
(b) ภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากวิธี Xeroradiography

2.7.5 Dental x-ray machines [5]

เครื่องเอ็กซเรย์ฟันนั้นจะใช้สำหรับเอ็กซเรย์ลักษณะและตำแหน่งของฟันภายในช่องปาก โดยจะใช้พลังงานเอ็กซเรย์ในระดับที่ค่อนข้างต่ำ ทั่วไปใช้อยู่ที่ 50kV 7 mA ทำให้เครื่องเอ็กซเรย์ฟันมีขนาดเล็ก และสามารถเคลื่อนไหวได้เพื่อความสะดวกในขณะฉายเอ็กซเรย์ หลอดเอ็กซเรย์ของเครื่องเอ็กซเรย์ฟันนี้จะมีลักษณะพิเศษคือ มีกริดกันอยู่ระหว่างแคโทดและแอโนด เพื่อทำการจัดเรียงลำอิเล็กตรอนให้มีความเป็นระเบียบ อีกทั้งยังมีไส้หลอดที่มีขนาดเล็กทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างแอโนดและแคโทดมีค่าความเข้มสูง ซึ่งช่วยให้อิเล็กตรอนมีพลังงานมากขึ้น เอ็กซเรย์ที่เกิดจึงมีพลังงานมากพอ และมีระยะเวลาในการฉายที่สั้นมาก



(a)



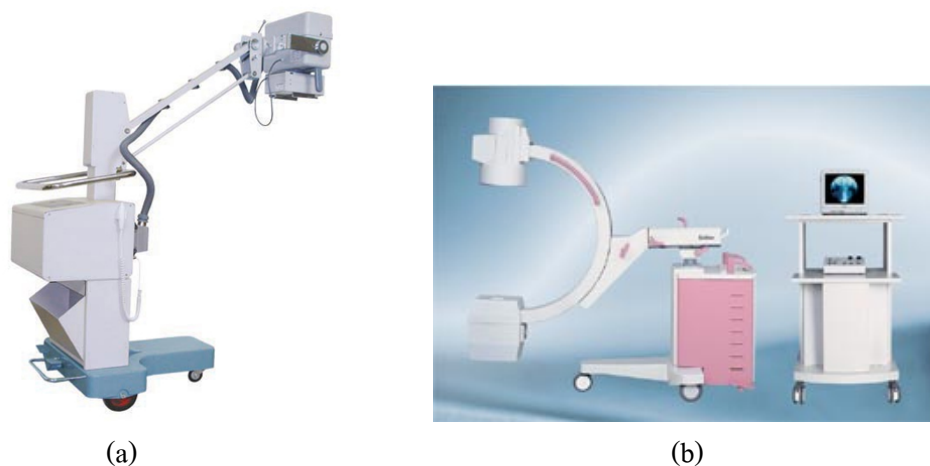
(b)

รูปที่ 2.13 (a) แสดงตัวอย่างของเครื่องเอ็กซเรย์ฟันที่ใช้ในปัจจุบัน

(b) แสดงตัวอย่างภาพเอ็กซเรย์ฟัน

2.7.6 Portable and Mobile x-ray units [5]

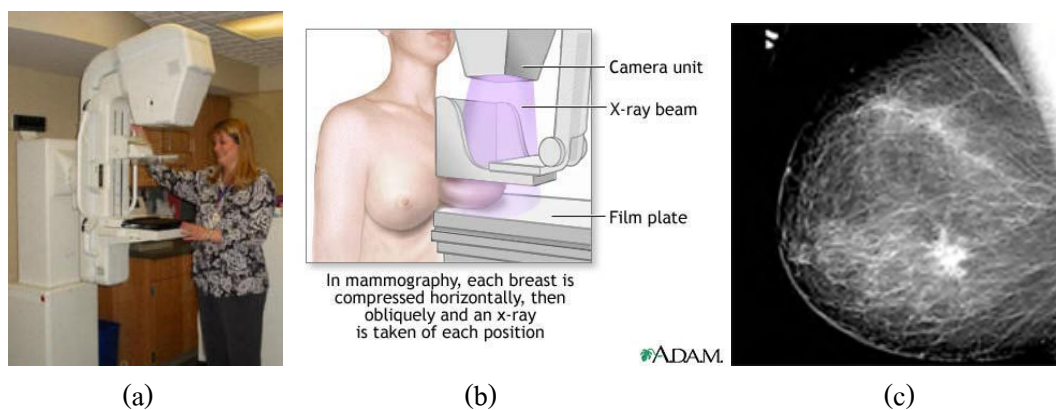
สำหรับผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนย้ายไปไหนได้นั้น จำเป็นต้องมีเครื่องเอ็กซเรย์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อไปเอ็กซเรย์ผู้ป่วยที่เตียงผู้ป่วย จึงได้มีการพัฒนาเครื่องเอ็กซเรย์ที่สามารถถอดประกอบ หรือเคลื่อนย้ายได้โดยง่าย เพื่อที่สามารถนำไปถ่ายเอ็กซเรย์ที่เตียงผู้ป่วยได้ โดยทั่วไปแล้ว เอ็กซเรย์แบบ Portable X-ray unit จะมีขนาดเล็กกว่าปกติ โดยมีพลังงานในการฉายเอ็กซเรย์อยู่ที่ 15 mA ถึง 15 A ที่แรงดันไฟฟ้า 90 – 95 kV การใช้งานปกติจะอยู่ที่ 15 – 20 mA เท่านั้น ขณะที่ Mobile X-ray unit จะมีระดับพลังงานที่สูงเทียบเท่ากับเครื่องเอ็กซเรย์ทั่วไป คือ 300 mA – 30 A ที่แรงดันไฟฟ้า 125 kV



รูปที่ 2.14 (a) แสดงลักษณะของเครื่องเอ็กซเรย์แบบทั่วไปที่สามารถเคลื่อนย้ายได้
(b) แสดงลักษณะของเครื่องเอ็กซเรย์แบบ C Arm ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้

2.7.7 Mammographic x-ray equipment [5]

เครื่องเอ็กซเรย์เต้านม เป็นเครื่องเอ็กซเรย์อีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการวินิจฉัยโรคมะเร็งเต้านม ซึ่งเป็นกันมากในสตรี และเนื่องจากหน้าอกสตรีนั้นเป็นส่วนที่มีความไวต่อรังสีค่อนข้างสูง พลังงานเอ็กซเรย์ที่ฉายจึงต้องต่ำมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ อีกทั้งฟิล์มเอ็กซเรย์ที่ใช้จึงต้องเป็นแบบชนิดพิเศษกว่าที่ใช้งานทั่วไป คือเป็นแบบ Xeroradiography ดังหัวข้อที่ 2.7.4 ในขณะที่หลอดเอ็กซเรย์ที่ใช้แผ่นอลูมิเนียมหนา 1 มม. เป็นตัวกรองเอ็กซเรย์ และใช้พลังงานอยู่ที่ 40 – 50 kV



รูปที่ 2.15 (a) แสดงลักษณะของ Mammographic x-ray equipment
(b) แสดงลักษณะของการเอ็กซเรย์
(c) แสดงภาพที่ได้จากการเอ็กซเรย์

2.7.8 Digital Radiography [5]

เนื่องจากการเอ็กซเรย์แบบทั่วไปที่ใช้ฟิล์มเอ็กซเรย์บางครั้งจะได้ภาพที่ไม่ชัดเจนนัก ซึ่งอาจมาจากการเคลื่อนไหวของผู้ป่วย หรือคุณภาพของฟิล์มที่ใช้งานเสื่อมลง จึงได้มีการคิดค้นรูปแบบใหม่ขึ้นมาแทนฟิล์ม นั่นคือ การเก็บข้อมูลภาพในรูปแบบดิจิทัล และสามารถนำมาแสดงเป็นภาพได้ที่จอมอนิเตอร์ วิธีนี้นอกจากสามารถได้ภาพที่ชัดเจนแล้วแพทย์ยังสามารถปรับแต่งความคมชัดของภาพเอ็กซเรย์ได้ตามที่แพทย์ต้องการอีกด้วย



(a)



(b)

รูปที่ 2.16 (a) แสดงตัวอย่างของเครื่องเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล

(b) แสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล



(a)



(b)

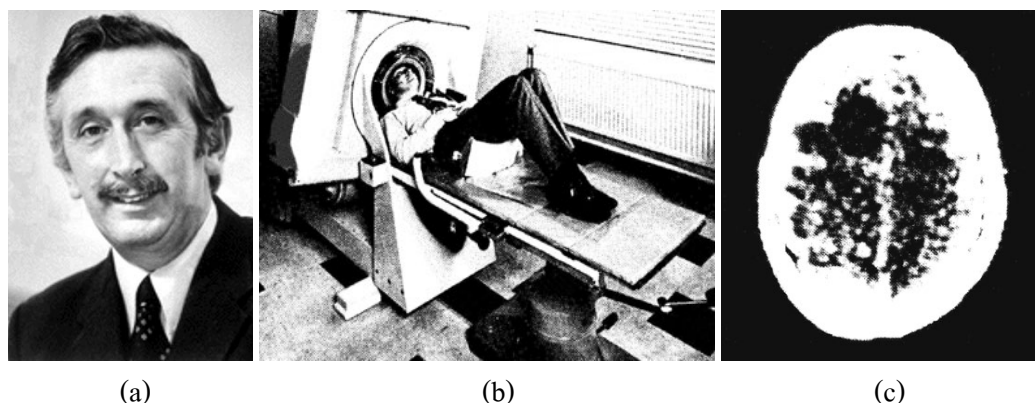
รูปที่ 2.17 (a) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากฟิล์มเอ็กซเรย์

(b) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล

2.7.9 Tomography [1]

เทคนิคนี้ถูกค้นพบในปี พ.ศ. 2465 โดยนายแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ โบเคจ (Bocage) เทคนิคนี้เป็นการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ผ่านส่วนของลำตัว หรืออวัยวะ ในลักษณะของภาพตัดขวาง เทคนิคนี้ทำให้ได้ภาพของโครงสร้างภายในร่างกายชัดเจนเพียงระนาบใดระนาบหนึ่งเท่านั้น ขณะเดียวกันภาพเงาของระนาบอื่นก็ปรากฏซ้อนทับออกมาด้วยแต่ไม่คมชัด เทคนิคนี้จึงแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการซ้อนทับกันของเงาของอวัยวะภายในที่ปรากฏบนฟิล์มรับภาพได้ แต่ยังไม่สมบูรณ์นัก จนหลายสิบปีต่อมาได้มีการพัฒนาเทคนิคนี้มากขึ้นจนสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ CT (Computed Tomography)

ซีที เครื่องแรกได้ถูกสร้างขึ้นในปี พ.ศ. 2510 โดยวิศวกรของบริษัทอีเอ็มไอ (EMI) ชื่อ เฮาส์ฟิลด์ (Sir Godfrey N. Hounsfield (1919-2004)) โดยเฮาส์ฟิลด์ได้พัฒนาแนวคิดมาจากนักฟิสิกส์ชื่อ คอว์แม็ก และในปีพ.ศ. 2515 เครื่องซีทีเครื่องแรกของโลกสามารถใช้งานกับผู้ป่วยได้จริง

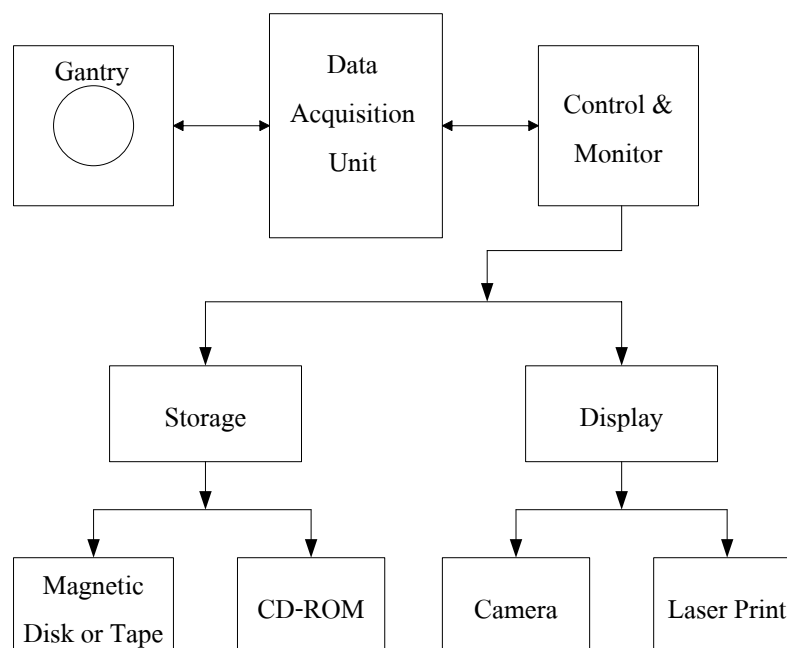


รูปที่ 2.18 (a) *Sir Godfrey N. Hounsfield* (1919-2004) ผู้คิดค้นเครื่องซีทีเครื่องแรกของโลก
 (b) *EMI Head Scanner* เครื่องซีทีเครื่องแรกของโลก
 (c) ภาพตัดขวางรูปสมองมนุษย์ภาพแรก

ซีทีได้ถูกพัฒนาเรื่อยมาหลายรุ่น จนปัจจุบันสามารถถ่ายภาพตัดขวางได้ที่หลายภาพภายในเวลาที่รวดเร็ว แต่เครื่องซีทีแต่ละรุ่นนั้นต่างก็มีส่วนประกอบ และการทำงานพื้นฐานเหมือนกัน

การทำงานพื้นฐานของเครื่องซีที

การทำงานพื้นฐานของเครื่องซีที สามารถอธิบายได้ตามบล็อกไดอะแกรมดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องซีที

ส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผลจะควบคุมการทำงานของเครื่อง เมื่อหลอดเอ็กซเรย์ยิงเอ็กซเรย์ทะลุผ่านตัวผู้ป่วยไปยังหัววัดเอ็กซเรย์ หัววัดเอ็กซเรย์จะทำหน้าที่วัดความเข้มของเอ็กซเรย์ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นข้อมูลอะนาล็อก (Analog Data) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะต้องผ่านวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) เพื่อขยายให้สัญญาณมีความแรงมากพอสำหรับการประมวลผลข้อมูล โดยสัญญาณไฟฟ้าเหล่านี้จะแปรผันตามความเข้มของเอ็กซเรย์ที่ตกกระทบที่หัววัด นั่นหมายถึง หากเอ็กซเรย์ผ่านอวัยวะในจุดที่ต่างกัน ย่อมให้ค่าความเข้มต่างกัน แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้ในเบื้องต้นนี้เป็นข้อมูลอะนาล็อก จึงไม่สามารถส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผลได้ จำเป็นต้องผ่านการแปลงสัญญาณจากอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) หรือเรียกว่า เอดิซี (ADC) เมื่อได้ข้อมูลดิจิทัลมาแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งเข้าสู่ส่วนจัดเก็บข้อมูล ซึ่งจะเป็นส่วนจัดเก็บข้อมูลผู้ป่วยทั้งหมด จากนั้นก็จะเข้าสู่ส่วนควบคุมการทำงานและแสดงผลเพื่อทำการแสดงผลในรูปแบบต่างๆ เช่น แสดงบนจอมอนิเตอร์ หรือทำการพิมพ์ภาพผ่านทางเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูลที่ได้ลงในแผ่นดิสเก็ต หรือแผ่นซีดีรอมได้อีกด้วย

ส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องซีที

ส่วนประกอบทั่วไปของเครื่องซีทีมีดังต่อไปนี้

แกนตรี (Gantry)

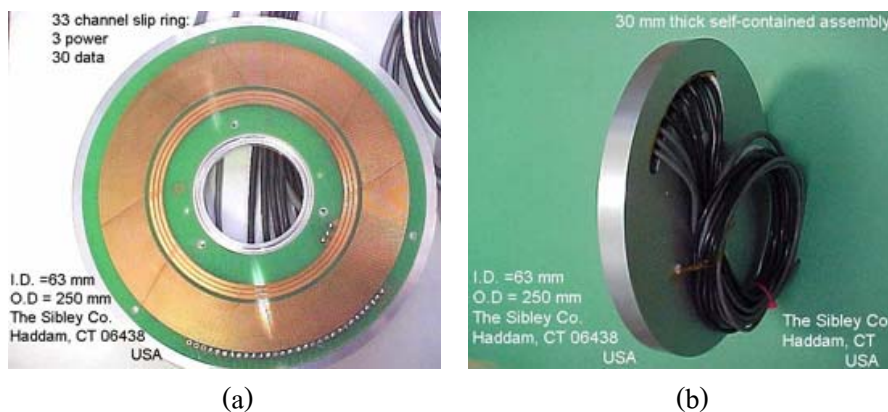
แกนตรีเป็นส่วนที่ใกล้ชิดกับผู้ป่วยเพราะเป็นที่ที่จะต้องให้ผู้ป่วยนอนขณะรับการตรวจ ส่วนมากจะมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ตรงกลางมีช่องวงกลมขนาดใหญ่เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 70 – 80 ซม. สามารถสอดผู้ป่วยเข้าไปได้ทั้งตัวอย่างสะดวก แกนตรีจะมีขนาดและน้ำหนักที่แตกต่างกันขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต แกนตรีจะเป็นเชื่อมโยงส่วนประกอบอื่นๆเข้าด้วยกัน เช่น วงแหวนสลิป หลอดเอกซเรย์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง คอลลิเมเตอร์ หัววัดเอกซเรย์ และระบบเก็บข้อมูล เป็นต้น



รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างของแกนตรี

วงแหวนสลิป

วงแหวนสลิปเป็นอุปกรณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย บริษัท ซีเมนส์ และโตชิบา เพื่อแก้ไขปัญหาข้อจำกัดของความยาวสายไฟฟ้าแรงสูงที่เชื่อมระหว่างหม้อแปลงกับหลอดเอกซเรย์ ทำให้การเคลื่อนที่หมุนของหลอดเอกซเรย์ไม่สามารถทำได้ต่อเนื่องตลอดเวลา วงแหวนสลิปเป็นอุปกรณ์ทางกลศาสตร์ไฟฟ้า ที่ทำด้วยตัวนำไฟฟ้าเพื่อนำไฟฟ้าไปสู่หลอดเอกซเรย์ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่ต้องเสียเวลาหยุดเพื่อเริ่มต้นใหม่ วงแหวนสลิปจะมี 2 แบบตามลักษณะ คือ แบบทรงกระบอก และแบบจาน หากแบ่งตามวิธีการจ่ายไฟฟ้า สามารถแบ่งได้ 2 แบบเช่นเดียวกัน คือ แบบศักย์สูง และแบบศักย์ต่ำ ดังรูป



รูปที่ 2.21 (a) แสดงวงแหวนสลিপด้านหน้า

(b) แสดงวงแหวนสลิปด้านหลัง

หลอดเอ็กซเรย์

หลอดเอ็กซเรย์คือส่วนที่ใช้สร้างเอ็กซเรย์ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

ส่วนการกรอง (Filtration)

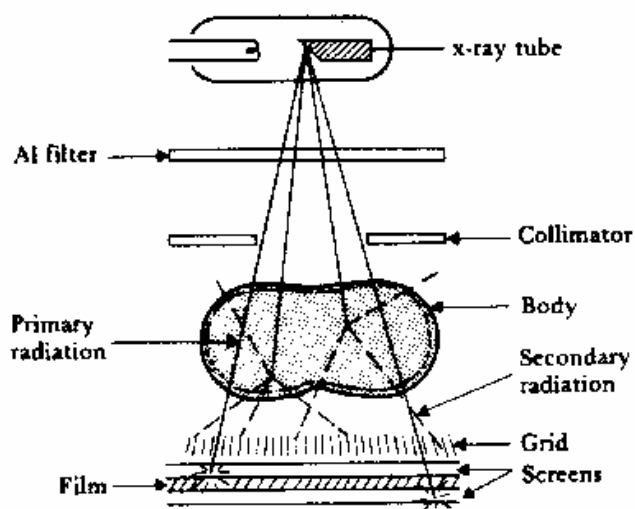
เนื่องจากเอ็กซเรย์ที่ออกมาจากหลอดเอ็กซเรย์นั้น ส่วนใหญ่จะมีพลังงานที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งทำให้เกิดการประมวลผลภาพที่ผิดเพี้ยนไป และมีสัญญาณรบกวนเยอะ ดังนั้นส่วนนี้จะช่วยทำให้เกิดการคัดแยก ให้เอ็กซเรย์ที่เหลือออกมีค่าพลังที่สูง และใกล้เคียงกัน ทำให้ระดับพลังงานเฉลี่ยสูงขึ้น และสม่ำเสมอขึ้น

คอลลิเมเตอร์

คอลลิเมเตอร์ เป็นตัวทำหน้าที่จัดลำเอ็กซเรย์ในแนวภาคตัดขวางให้มีลักษณะและขนาดตามที่ต้องการ สำหรับซีที จะมีคอลลิเมเตอร์หลัก 2 ชนิด คือ คอลลิเมเตอร์ชนิดหน้าผู้ป่วย (Pre-patient Collimator) และคอลลิเมเตอร์ชนิดหน้าหัววัด (Pre-detector Collimator) ความหนาของลำเอ็กซเรย์ที่ได้จากการปรับคอลลิเมเตอร์นั้นจะสัมพันธ์กับความหนาของชิ้นภาพ ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ และความคมชัดของภาพ อีกทั้งคอลลิเมเตอร์ชนิดหน้าหัววัดยังช่วยกันเอ็กซเรย์ที่กระเจิง (Scattered X-ray) ไม่ให้เข้าสู่หัววัดอีกด้วย

กริด (Grid) [4]

กริดทำหน้าที่ป้องกันมิให้ฟิล์มเอ็กซเรย์ได้รับรังสีกระเจิงจากผู้ป่วย กริดจะมีลักษณะเป็นแผ่นตะกั่วซ้อนกับวัสดุโปร่งรังสี ซึ่งรังสีที่กระเจิงจากตัวผู้ป่วยจะถูกกั้นโดยตะกั่ว แต่รังสีที่อยู่ในแนวตรงจากข้อแอนโอดจะผ่านกริดไปยังฟิล์มได้



รูปที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบต่างๆขณะทำการเอ็กซเรย์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง

ในปัจจุบันแหล่งไฟฟ้าแรงสูงสำหรับเครื่องซีทีนั้น จะเป็นแบบความถี่สูง เพื่อให้มีขนาดเล็ก ทำให้สามารถติดตั้งเอาไว้ภายในแกนครีได้ โดยที่ใช้ทั่วไปจะอยู่ที่ 400 – 2000 Hz

ตัวตรวจจับเอ็กซเรย์

เนื่องจากเอ็กซเรย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง สามารถทะลุทะลวงผ่านตัวกลางได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการตัวตรวจจับเอ็กซเรย์จะมีลักษณะต่าง ๆ กันตามแบบการใช้งาน รายละเอียดในส่วนหัววัดนี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป

ส่วนควบคุมปฏิบัติการ และแสดงผลภาพ

เป็นส่วนที่ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงานของซีที การเก็บข้อมูลภาคตัดขวาง และการแสดงผลภาพตัดขวาง นอกจากนี้ยังสามารถจัดเตรียมข้อมูลของผู้ป่วย เช่น ชื่อ อายุ เพศ เลขประจำตัว เป็นต้น และยังจัดเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานของซีที เช่น เลขที่สแกน เทคนิคที่ใช้ ตำแหน่งของเตียง เป็นต้น

ที่เก็บข้อมูล และส่วนบันทึกภาพ

ที่เก็บข้อมูล คือส่วนที่ใช้ทำสำเนาชั่วคราว ได้แก่ การเก็บภาพ หรือข้อมูลแบบดิจิทัลลงในแผ่นซีดี หรือแถบแม่เหล็ก

ส่วนบันทึกภาพ คือส่วนที่ใช้ทำสำเนาถาวร ได้แก่บันทึกลงกล้อง หรือเครื่องพิมพ์

2.8 ผลและอันตรายของเอ็กซ์เรย์ต่อร่างกาย

อันตรายของเอ็กซ์เรย์ต่อร่างกายนั้นได้ถูกสังเกตเป็นครั้งแรกในเดือนมกราคม หลังจากที่มีการประกาศการค้นพบเอ็กซ์เรย์ 1 เดือน การค้นพบอันตรายในระยะแรกนั้นเกี่ยวข้องกับอันตรายต่อผิวหนังและแขนขาของบุคลากรที่ทำงานเกี่ยวกับเอ็กซ์เรย์ ซึ่งเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายมีความไวต่อรังสีแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 [7]

เวลาที่ต้องการสำหรับการเกิดอันตรายจากรังสีนั้นมิได้ตั้งแต่การทำให้เซลล์ต่างๆตายโดยทันทีไปจนถึงเวลาล่าช้าไปมากหลายชั่วอายุก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านกรรมพันธุ์ โดยทั่วไปแล้วถ้ารังสีมีความแรงมากจะทำให้เกิดอันตรายรวดเร็วและถึงตายได้ โดยทำให้การเคลื่อนไหวของโปรโตพลาสซึมของเซลล์ (Cytoplasm) หดไป และโปรตีนในเซลล์มีการแข็งตัว เมื่อรังสีมีความเข้มข้นจะทำให้การแบ่งนิวเคลียสของเซลล์อย่างอ้อม (mitosis) ของเซลล์ล่าช้าไป นอกจากนี้อันตรายต่อโครโมโซม (chromosome) ที่เห็นได้ ยังมีอันตรายในทางกรรมพันธุ์อันจะนำไปสู่การผ่าเหล่าหรือการก่อมะเร็ง (carcinogenesis) ได้

ตารางที่ 2.1 ความต้านทาน (Resistance) ของเนื้อเยื่อในร่างกายมนุษย์ต่อรังสี

ความต้านทานมากที่สุด	คอลลาเจน (Collagen) กระดูก (Bone) กล้ามเนื้อ (Muscle) ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) หนังกำพร้า (Epidermis of skin) รูขุมขน (Hair follicle of skin)
ความต้านทานปานกลาง	เยื่อผิวของลำไส้ใหญ่ (Epithelium of colon) เยื่อผิวของกระเพาะอาหาร (Epithelium of stomach) เยื่อผิวของลำไส้เล็ก (Epithelium of small intestine) เนื้อเยื่อที่มีส่วนในการสร้างเม็ดเลือด (Hemopoietic tissues) เซลล์กำเนิดเม็ดเลือดแดง (Erythroblasts) เซลล์น้ำเหลือง (Lymphocytes)
ความต้านทานน้อยที่สุด	เซลล์เพศชายที่จะกลายเป็นตัวสุจิ (Spermatogonia)

2.8.1 ผลของรังสีต่อร่างกาย

ผลที่สำคัญของรังสีต่อร่างกายที่เกิดขึ้นโดยทันทีคือ ทำให้เซลล์ของอวัยวะที่สำคัญตายไป อย่างไรก็ตามการตอบสนองของอวัยวะต่าง ๆ นั้นอาจคาดการณ์ไม่ได้และมีกลไกซับซ้อน ทั้งนี้เนื่องจากการสร้างเซลล์ขึ้นมาใหม่ ปัจจัยทางด้านฮอร์โมนและภูมิคุ้มกัน รวมทั้งกลไกการซ่อมแซมของเซลล์ เนื้อเยื่อที่ได้รับผลกระทบในระยะแรกๆ นั้นเป็นเนื้อเยื่อที่มีการสร้างทดแทนใหม่อยู่เรื่อยๆ เช่น เยื่อบุทางเดินอาหารและระบบการสร้างเลือด เมื่อเนื้อเยื่อเหล่านี้ถูกทำลายจะทำให้ตายได้ภายในเวลาเป็นวันหรือเป็นสัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับ [8]

2.8.1.1 ผลของการได้รับรังสีปริมาณมาก

- อาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเม็ดเลือด (hematopoietic syndrome) เป็นผลจากการทำลายของสเต็มเซลล์หรือเซลล์น้ำเหลืองในไขกระดูกที่เป็นต้นกำเนิดของเซลล์ (stem cell) ในไขกระดูกหลังจากที่ได้รับรังสีขนาด 1.5-6 Sv 1 วัน หลังจากการรับรังสี สเต็มเซลล์ในไขกระดูกจะลดลงในอัตราที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณรังสี เช่น ลดลง 10-20%, 25-30% และ 50-60% หลังจากที่ได้รับรังสี 1-2 Sv, 3-4 Sv และ 5-7 Sv ตามลำดับ แต่เม็ดเลือดต่างๆ ในกระแสเลือดซึ่งมีความไวต่อรังสีน้อยกว่าสเต็มเซลล์จะยังคงระดับปกติ ซึ่งแตกต่างจากเซลล์น้ำเหลืองที่มีความไวต่อรังสีมากที่สุดจำนวนเซลล์น้ำเหลืองจะลดลงกว่าครึ่งภายในเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากที่ได้รับรังสีขนาด 1-2 Sv เม็ดเลือดในกระแสเลือดได้แก่ เม็ดเลือดขาว และ เกล็ดเลือด จะเริ่มลดลงในเวลา 10-15 วัน หลังจากได้รับรังสีการลดลงของเม็ดเลือดเหล่านี้เป็นผลจากการที่สเต็มเซลล์ในไขกระดูกไม่สามารถผลิตเซลล์มาทดแทนเม็ดเลือดที่เสื่อมสภาพไปตามอายุขัย ต่างจากเม็ดเลือดแดงซึ่งจะลดลงไม่มากนักเพราะมีอายุยาวนานถึง 120 วัน การลดลงของค่าฮีโมโกลบิน (hemoglobin) จะเกิดขึ้นเนื่องจากสภาวะเลือดออกง่ายจากการลดลงของเกล็ดเลือดประมาณสัปดาห์ที่ 3 ผู้ป่วยจะมีอาการหนาวสั่นอ่อนเพลียเป็นแผลในปากและมีเลือดออกใต้ผิวหนังอาจมีผื่นร่วงถ้าได้รับรังสี ≥ 3 Sv ถ้าปริมาณรังสี ที่ผู้ป่วยได้รับมีขนาดไม่เกิน 6 Sv อาจสามารถช่วยชีวิตผู้ป่วยได้โดยการให้ดูแลอย่างดีตามด้วยการปลูกถ่ายไขกระดูก มิฉะนั้นแล้วผู้ป่วยจะเสียชีวิตภายใน 1-2 เดือน อันมีสาเหตุเนื่องจากการติดเชื้อ

- อาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับกระเพาะอาหารและลำไส้ (gastrointestinal syndrome) เป็นผลจากการรับรังสีขนาด 6-10 Sv ซึ่งมากพอที่จะทำลายเซลล์เยื่อบุทางเดินอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งลำไส้เล็ก ซึ่งไวต่อรังสีมากกว่าส่วนอื่น ซึ่งจะเริ่มต้นในเวลา 3-7 วัน หลังจากรับรังสีในระยะนี้ผู้ป่วยจะมีอาการคลื่นไส้อาเจียนและท้องร่วงอย่างแรงรังสีขนาด 5-6 Sv อย่างไรก็ตามผลจากการทำลายในระดับนี้ ยังไม่ส่งผลร้ายแรงมากนัก แต่ถ้าปริมาณรังสีที่มีขนาดมากกว่า 6 Sv จะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำและเกลือแร่ และเป็นช่องทางให้เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายผู้ป่วยจะเสียชีวิตเนื่องจากสภาวะการสูญเสียน้ำจากร่างกายอย่างมาก (dehydration) และ electrolyte imbalance ภายในเวลา 2 สัปดาห์

- อาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system syndrome) เป็นผลจากการได้รับรังสีที่มีขนาดมากเกิน 15 Sv เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ไม่บ่อยผู้บาดเจ็บจะมีการเจ็บป่วยภายในเวลาไม่กี่นาที หลังจากที่ได้รับรังสีโดยมีอาการคลื่นไส้อาเจียนอย่างรุนแรงและมีอาการอื่น ๆ ที่เข้าข่ายอาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบประสาท (neurological syndrome) ได้แก่ ความไม่สามารถประมาณทิศทาง สถานที่ เวลา หรือบุคคล (disorientation), สูญเสียการประสานงานและการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ (loss of coordination and muscular movement), การหดเกร็งของกล้ามเนื้ออย่างรุนแรงจากอาการชักของโรคลมบ้าหมู (convulsion seizure), หมาดสติ (coma) และในที่สุดจะเสียชีวิตภายในเวลา 2 วัน สาเหตุของการเสียชีวิตยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด ทั้งนี้เนื่องจากสมองเป็นอวัยวะที่มีความทนต่อรังสีมากที่สุดแต่เป็นที่เชื่อกันว่าผลของรังสีต่อหลอดเลือดที่เลี้ยงสมองน่าจะเป็นสาเหตุที่สำคัญ

2.8.1.2 ผลของการได้รับรังสีปริมาณน้อย

เมื่อได้รับรังสีจำนวนน้อยผลที่เกิดขึ้นไม่รุนแรงมากและอาจต้องใช้เวลาานทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่ได้รับซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของอวัยวะที่น่าสนใจ ได้แก่

อาการหนังร้อนแดงเนื่องจากเลือดคั่ง (Erythema) เมื่อผิวหนังได้รับรังสีครั้งหนึ่งนั้นจะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงภายใน 2-3 ชั่วโมง แต่บางครั้งจะเริ่มภายใน 2-3 วัน คือ ผิวหนังจะมีลักษณะแดงแล้วจะค่อยๆหายไปภายในเวลา 2-3 วัน อย่างไรก็ตามในวันที่ 11 หลังจากได้รับรังสีนั้นผิวหนังจะมีลักษณะแดงขึ้นมาอีก และจะอยู่จนถึงประมาณวันที่ 28 แล้วค่อยๆเปลี่ยนเป็นผิวหนังสี

ภาวะการเกิดต้อกระจก (Cataractogenesis) เนื่องจากรังสีทำให้เซลล์ตายจึงทำให้เกิดการขุ่นมัว ตามปกติภาวะนี้เกิดขึ้นได้แต่ช้ามากและขึ้นอยู่กับอายุของผู้ป่วย แต่เมื่อได้รับรังสีจะทำให้เซลล์ของเลนส์ตายมากขึ้นทำให้เกิดการขุ่นมัว ผู้ป่วยที่ได้รับรังสี 250-650 แรด จะมีระยะแฝงของการเกิดต้อกระจกถึง 8 ปี เมื่อได้รับรังสีเพิ่มขึ้นเป็น 1000 แรดจะมีระยะแฝงสั้นลงเหลือประมาณ 4 ปี

2.8.1.3 ผลต่อการสืบพันธุ์

การเป็นหมัน ผลที่สำคัญของรังสีต่ออวัยวะสืบพันธุ์ คือจะทำให้เซลล์ของอวัยวะสืบพันธุ์ตาย จึงทำให้เป็นหมัน ในเพศชายพบว่าเมื่ออั้นทะได้รับรังสีเฉพาะที่ขนาด 30 แรด ทำให้ตัวอสุจิลดลงเป็นหมันชั่วคราว (Functional sterility), ขนาด 250 แรดครั้งเดียว จะทำให้ไม่มีตัวอสุจิ (Aspermia) ชั่วคราวประมาณ 1 ปี, ขนาด 400-600 แรด ครั้งเดียว จะทำให้เป็นหมันถาวรแต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสมรรถภาพและความรู้สึกทางเพศแต่อย่างไร เพราะฮอโมนเพศชายยังปกติ

การผ่าเหล่าในมนุษย์ พบว่าผู้ที่ได้รับรังสีประมาณ 9.4 % จะเกิดโรคทางกรรมพันธุ์ได้ และรังสีสามารถทำให้เกิดความผิดปกติทางกรรมพันธุ์ได้ 4 ประการ คือ ลักษณะส่วนสำคัญที่ถ่ายทอดทางกรรมพันธุ์ (Dominant), recessive, x-linked และ chromosomal

2.8.1.4 ผลต่อทารกในครรภ์

รังสีมีผลต่อการเจริญเติบโตของทารกในครรภ์ มีดังนี้

- รังสีขนาดปานกลาง ประมาณ 250 เรนต์เกน ที่ทารกได้รับในระยะ 2-3 เดือนแรกของการตั้งครรภ์ จะไม่มีผลต่อความผิดปกติของทารกที่เกิดมา ถึงแม้ว่าทารกส่วนใหญ่จะมีการตายในครรภ์หรือแท้ง

ขนาดของรังสีที่ใช้ในการรักษาทางการแพทย์ คือ 500 เรนต์เกน ซึ่งได้รับในระยะ 4-11 สัปดาห์ จะทำให้เกิดความผิดปกติของทารกที่เกิดมาได้อย่างมาก

- ปริมาณรังสีขนาด 500 เรนต์เกน แต่ได้รับในระหว่าง 11-16 สัปดาห์จะไม่ค่อยมีความผิดปกติต่อตา กระดูก หรืออวัยวะสืบพันธุ์ แต่จะพบบ่อยว่ามีศีรษะเล็กผิดปกติ (microcephaly), ปัญญาอ่อน (mental retardation) และ การเจริญเติบโตช้าลง (stunted growth)

- ปริมาณรังสีขนาด 500 เรนต์เกน แต่ได้รับในระหว่าง 16-20 สัปดาห์ อาจทำให้เกิดความผิดปกติได้เล็กน้อย คือ มีศีรษะเล็กผิดปกติ, ปัญญาอ่อนและ การเจริญเติบโตช้าลง อย่างชนิดที่เป็นน้อย

- ปริมาณรังสีขนาด 500 เรนต์เกน แต่ได้รับหลังสัปดาห์ที่ 20 ไปแล้ว มักไม่ทำให้เกิดความผิดปกติในอวัยวะต่างๆที่เห็นได้ชัดเจน แต่อาจมีอาการผิวหนังร้อนแดงเนื่องจากเลือดคั่ง (skin erythema) หรือความบกพร่องของระบบการสร้างเม็ดเลือด (hematopoietic system)

ตารางที่ 2.2 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

ความแรงรังสีระดับ 10,000 มิลลิซีเวิร์ท ในระยะเวลาสั้นๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสีทันทีและทำให้ถึงแก่ความตายใน 2-3 สัปดาห์
ความแรงรังสีระดับ 1,000 มิลลิซีเวิร์ท ในระยะเวลาสั้นๆ	เกิดการบาดเจ็บทางรังสี เช่น คลื่นไส้ อาเจียน แต่ไม่ถึงตายและอาจเกิดเป็นมะเร็ง ใน ระยะ หลัง
ความแรงรังสีระดับ 20 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	เกณฑ์ความปลอดภัยทางรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานในสถานปฏิบัติงานทางรังสี
ความแรงรังสีระดับ 2 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	ระดับรังสีปกติในธรรมชาติ
ความแรงรังสีระดับ 0.05 มิลลิซีเวิร์ท	ระดับรังสีสูงสุดที่ยอมให้มีอยู่ ณ รอบบริเวณสถานปฏิบัติงานนิวเคลียร์

จากที่กล่าวมาทั้งหมดสามารถสรุประดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 2.2 [6]

2.8.2 ระดับรังสีที่ปลอดภัย

ระดับรังสีที่ปลอดภัย หมายถึง การเปลี่ยนแปลงในร่างกายที่เกิดขึ้น เนื่องจากรังสีนั้นไม่ปรากฏออกมาให้เห็นและตรวจพบได้ การกำหนดค่าปริมาณสูงสุดที่ยอมให้มนุษย์รับได้โดยถือว่าปลอดภัย ได้รับการพิจารณาจากนักวิทยาศาสตร์และแพทย์มานานแล้ว โดยได้มีการจัดตั้งกลุ่มหรือสถาบันขึ้นทั้งในประเทศ และระหว่างประเทศ เรียกว่า คณะกรรมาธิการว่าด้วยการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ (ICRP = International Commission on Radiological Protection) ได้กำหนดค่าปริมาณรังสีสูงสุดที่ยอมให้รับได้ เรียกว่าค่า MPD (MPD = Maximum Permissible dose) ขึ้นมาโดยมีความหมายในแง่ที่ว่าการทำงานกับรังสี ถ้าได้รับรังสีต่ำกว่าค่า MPD ถือว่าปลอดภัย ค่า MPD ที่กำหนดให้สำหรับอวัยวะต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.3 และระดับรังสีที่ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ที่เป็นระดับรังสีที่ปลอดภัยแสดงดังตารางที่ 2.4 [6]

ตารางที่ 2.3 ค่า MPD ที่กำหนดให้สำหรับอวัยวะต่างๆ

อวัยวะ (organ)	MPD rem/ปี
อวัยวะสืบพันธุ์, เลนส์ตา, ไชกระดูก	5
มือ แขน ขา	75
ผิวหนัง, ไทรอยด์	30
อวัยวะอื่น ๆ	15

ตารางที่ 2.4 เกณฑ์ระดับความแรงของรังสีที่ปลอดภัย

ระดับความแรงรังสี	ระดับรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงาน	ระดับรังสีสำหรับบุคคลทั่วไป
ความแรงรังสีรวม	20 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	1 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี
เลนส์ตา	150 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	15 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี
ผิวหนัง	500 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	50 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี
มือเท้า	500 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี	50 มิลลิซีเวิร์ทต่อปี

2.9 การป้องกันอันตรายจากรังสี

มีดังนี้

1. จำกัดเวลาที่ต้องถูกรังสีให้สั้นที่สุด
2. ระยะห่าง ถ้าใช้ระยะห่างจากแหล่งกำเนิดรังสีมากที่สุดจะได้รับรังสีน้อยที่สุด
3. เครื่องป้องกัน ใช้วัตถุต่างๆที่สามารถดูดซับรังสีได้ มากั้นไว้ตรงกลางระหว่างร่างกายกับแหล่งกำเนิดของรังสี เช่น การใส่เสื้อตะกั่วกันรังสี หรือใช้ฉากป้องกันรังสี

4. สำหรับรังสีแพทย์และผู้มีอาชีพทางรังสีวิทยา จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดรังสี เช่น ฟิล์มวัดรังสี (Film badge) ติดตัวไว้ตลอดเวลาทำงานเพื่อวัดจำนวนรังสีที่ร่างกายได้รับโดยไม่รู้ตัว

ฟิล์มวัดรังสี : ที่ใช้โดยทั่วไปมีหลายชนิดแต่ลักษณะการใช้ จะคล้ายกัน โดยจะมีฟิล์มเล็กๆ ใส่เอาไว้ในที่เก็บ ซึ่งเรียกว่า Badge และจะถูกแสงไปพร้อมกับผู้แขวน ด้านหน้าของBadgeจะประกอบด้วยตัวกรองแสง (filter) หลายชนิด รวมทั้งช่องว่างเพื่อใช้ในการจำแนกชนิดของแสงที่ได้รับ และการวัดว่าผู้ที่ใส่ฟิล์มวัดรังสีได้รับแสงหรือไม่ และได้รับเท่าไร จะทำโดยการนำ ฟิล์มไปทำการล้าง แล้ววัดค่าความหนาแน่นของฟิล์ม แล้วหาค่าจาก calibration curve ก็จะทราบว่า ได้รับรังสีปริมาณเท่าไร

5. ผู้ที่มีอาชีพทางรังสีวิทยา จำเป็นต้องเป็นผู้มีความรู้เรื่องการป้องกันอันตรายจากการแผ่รังสีด้วย จึงจะปลอดภัย

6. สำหรับผู้ที่มีการตรวจทางรังสี ควรจะปฏิบัติตัวดังนี้

- ปฏิบัติตามคำแนะนำของรังสีแพทย์และเจ้าหน้าที่รังสีอย่างเคร่งครัด เช่น การถ่ายภาพปอด (Chest X-ray) ต้องเปลี่ยนเสื้อ ถอดสร้อยหรือโลหะทุกชนิดที่อยู่ในบริเวณหน้าอกออกให้หมดเพื่อจะได้ไม่ต้องถ่ายซ้ำใหม่ หรือการตรวจพิเศษ เช่น การฉีดตรวจไต ถ้าไม่รับประทานยาระบาย อาจมีอุจจาระบังส่วนของไต ทำให้ต้องถ่ายภาพในท่าพิเศษเพิ่มขึ้น ก็จะได้รับรังสีมากขึ้น รวมถึงการจัดท่าทางและกลั้นหายใจขณะถ่ายภาพเอ็กซเรย์ด้วย

- สตรีวัยเจริญพันธุ์ ถ้าต้องการตรวจทางเอ็กซเรย์ของท้องน้อย ควรทำภายใน 10 วัน หลังจากที่มีประจำเดือน (นับจากวันที่ 1 ของรอบเดือน) ถือเป็นช่วงที่ไม่มีไข่ตก

- ผู้ป่วยที่ตั้งครรภ์หรือสงสัยว่าจะมีการตั้งครรภ์ ควรหลีกเลี่ยงการเอ็กซเรย์ช่วงท้อง ถ้าจำเป็นควรใช้อัลตราซาวด์ แทนการเอ็กซเรย์ส่วนอื่น ๆ ของร่างกายถ้าจำเป็น ต้องใช้เสื้อตะกั่วปิดบริเวณท้องเสมอ

- กรณีที่ผู้ป่วยเป็นเด็ก หรือผู้ป่วยที่ไม่สามารถปฏิบัติตามคำสั่งได้เอง ต้องมีผู้ช่วยเป็นญาติหรือนุเคราะห์ทางการแพทย์ฝ่ายอื่นควรปฏิบัติ ดังนี้

- สวมเสื้อตะกั่ว ถุงมือตะกั่วทุกครั้งที่ใช้ช่วย

- ถ้าเป็นไปได้ให้อยู่ห่างจากแนวรังสีอย่างน้อย 2 เมตร กรณีนี้รวมถึงการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ตามหอผู้ป่วย (Portable X-ray) ด้วย

- ผู้ป่วยเด็กที่ต้องเอ็กซเรย์บ่อยๆ ควรจะใช้ตะกั่วปิดบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์

- ผู้ที่ไม่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการตรวจเอ็กซเรย์ไม่ควรเข้ามาในแผนกโดยไม่จำเป็น