บทความพิเศษ • Special Article

บุคลากรวิสัญญีท่ามกลางภยันตรายจากรังสี

อารยา องค์เอี่ยม[1], วิไลพร สุพรรณ[1], รุจา ศรีเจริญ[2], พงศ์ธารา วิจิตเวชไพศาล[1]
[1]ภาควิชาวิสัญญีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล ประเทศไทย
[2]หน่วยงานรังสีรักษาและมะเร็งวิทยา โรงพยาบาลจุฬาภรณ์ ประเทศไทย

Anesthesia Personnel Stay Amidst Radiation Hazard

Araya Ongiem[1], Wilaiporn Supan[1], Ruja Sricharoen[2], Phongthara Vichitvejpaisal[1]
[1]Department of Anesthesiology, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok Thailand
[2]Division of Radiation Oncology, Chulabhorn Hospital, Bangkok, Thailand

สารกัมมันตรังสีเป็นธาตุที่ไม่เสถียร สามารถแผ่รังสีออกมาเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาค เช่น รังสีอัลฟ่า รังสีเบต้า และรังสีแกมม่า ส่วนรังสีเอ็กซ์เกิดจากการยิงอนุภาคอิเลคตรอนไปยังเป้าแผ่นโลหะทังสเตนที่อยู่ในภาวะเสถียร

ในแต่ละวัน มนุษย์ต้องสัมผัสกับรังสีอยู่ตลอดเวลา ทั้งการได้รับรังสีปริมาณสูงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ทำให้แสดงกลุ่มอาการแบบเฉียบพลัน และการได้รับรังสีปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นเวลานานๆ จนเกิดการสะสม และนำไปสู่ความผิดปกติทางพันธุกรรม

คณะกรรมาธิการด้านการป้องกันรังสีระหว่างประเทศได้กำหนดว่า การได้รับรังสีในธรรมชาติ ต้องอยู่ในระดับต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ และควรต่ำกว่าขีดจำกัดของปริมาณรังสีที่แต่ละคนจะรับได้ โดยมีหลักเกณฑ์การปฏิบัติ คือ ต้องศึกษาชนิด ประเภทของต้นกำเนิดรังสีอย่างละเอียด ย่นระยะเวลาการปฏิบัติงานให้สั้นที่สุด เพราะปริมาณรังสีแปรโดยตรงกับเวลา พร้อมติดเครื่องวัดปริมาณรังสีส่วนบุคคลเพื่อตรวจสอบปริมาณรังสีสะสม พยายามอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีให้ไกลที่สุด เนื่องจากความเข้มของรังสีจะแปรผกผันกับระยะทาง และใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสี พร้อมสวมเสื้อ อุปกรณ์ป้องกันต่อมไทรอยด์ แว่นตา และถุงมือเพื่อลดการปนเปื้อนเข้าสู่ร่างกาย นอกจากนี้ ต้องเก็บอุปกรณ์ป้องกันรังสี ไม่ให้เกิดการหักหรือพับงอ พร้อมทำความสะอาดให้ถูกวิธี หมั่นดูแลตรวจสอบไม่ให้เกิดการชำรุดและอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอย่างสม่ำเสมอ

Radioactive substance is an unstable element that can emit radiation in forms of electromagnetic wave or particles such as Alpha, Beta and Gamma rays, while X-ray is produced by bombarding a stable target of Tungsten with electrons.

Every day of life, man is constantly exposed under an irradiation. Acute Radiation Syndrome is caused by a high dose of penetrating emission in a very short period of time, whereas a genetic disorder is triggered by a low dose of cumulative radiation exposure for a long time.

The International Commission on Radiological Protection recommends that the natural radiation exposure should be as low as reasonably achievable and individual dose limits. The practice guidelines are knowing what kind of radiation the source is emitting in details, minimizing a time near a radioactive source where radiation levels are vary to time, having individual dorsimeter to track accumulated doses, maximizing a distance from a radioactive source as much as possible since distance and dose are inversely related, and shielding with protective equipment, wearing lead apron, thyroid collar, goggles and gloves to keep radiaoactive materials off of body. In addition, the X-ray protective clothing should not be folded and using no aggressive cleaning products. Constantly, it must be checked for visible damage to guarantee optimum protection against radiation.

Under the procedures that patients require anesthesia such as Endoscopic retrograde cholangiopancreatography,

Correspondence to: Phongthara Vichitvejpaisal, MD, Ph.D. Email: phongthara@gmail.com
Received 9 Jul 2020, Revised…-…..2020, Accepted 6 Aug 2020

ในปฏิบัติการทางรังสีที่ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการระงับความรู้สึก เช่น การส่องกล้องตรวจทางเดินน้ำดีและตับอ่อน บุคลากรวิสัญญีจะเป็นผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจถึงความต้องการของผู้ป่วยเป็นอย่างดี ที่อยากพ้นจากความปวดและการรับรู้ใดๆ พร้อมเฝ้าระวังและเตรียมรับมือกับปัญหาในระหว่างการทำหัตถการเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของรังสีแพทย์หรือศัลยแพทย์ เพราะทุกคนต่างมีโอกาสได้รับรังสีที่แผ่หรือกระจัดกระจายออกมา

คำสำคัญ: งานระงับความรู้สึก, ปริมาณรังสีที่ได้รับ, สารกัมมันตรังสี, อุปกรณ์ป้องกันรังสี

anesthesia personnel will have a clear understanding of patients' needs on pain and sensation relief. Additionally, they will have been alerted and will be well-prepared to handle problems during the procedure for cooperation among radiologists and surgeons, since everyone is exposed to direct and scattered radiation.

Keywords: anesthesia, radiation doses, radiation protective equipment, radioactive substance

วิสัญญีสาร 2564; 47(2): 166-73. • Thai J Anesthesiol 2021; 47(2): 166-73.

รังสีเอกซเรย์ (X-rays) เริ่มเป็นที่รู้จักของชาวโลกเมื่อ วิลเฮล์ม คอนราด เรินต์เกน (Wilhelm Conrad Röntgen พ.ศ. 2388-2466)[1] นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน ได้ค้นพบในปี พ.ศ.2438 หลังจากนั้น ความรู้ทางรังสี ก็ก้าวไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะการตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ที่พยาธิสภาพของโรคมีความยุ่งยากซับซ้อนมากขึ้นเป็นลำดับ ในปี พ.ศ.2439 อองตวน อองรี เบ็คเคอเรล (Antoine Henri Becquerel, พ.ศ.2395-2451)[2] นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้ค้นพบการแผ่รังสีของนิวเคลียสในกระบวนการสลายตัวของธาตุ ซึ่งต่อมาในปี พ.ศ. 2445 มารี กูว์รี (Maria Curie, พ.ศ.2410-2477)[3-4] นักวิทยาศาสตร์หญิงชาวโปแลนด์ ผู้ได้รับรางวัลโนเบลในสาขาฟิสิกส์ถึง 2 ครั้ง สามารถสกัดแร่พิตซ์เบลนด์ (Pitchblende) ได้เรเดียมคลอไรด์บริสุทธิ์ (Radium chloride) ซึ่งเป็นสารกัมมันตรังสี (Radioactive substance) ซึ่งแผ่รังสีที่มีความสามารถทะลุทะลวงสูง

ทั้ง 3 ท่านต่างเป็นผู้บุกเบิก ทำให้วงการแพทย์สามารถนำรังสีมาใช้เพื่อการรักษาโรค โดยเฉพาะโรคมะเร็ง ในขณะเดียวกัน เมื่อโลกได้ขับเคลื่อนเข้าสู่เทคโนโลยีแห่งข้อมูล (Data technology) จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ดิจิทัลทางการแพทย์ขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง เช่น เครื่องเอกซเรย์ฟลูโอโรสโคปี (X-ray Fluoroscopy) ในปี พ.ศ.2438[5] เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computerized tomography) ในปี พ.ศ.2514[6] หรือเครื่อง Image3D (เครื่องเอกซเรย์ภาพสามมิติ) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นปริมาตรเรียกว่า Spiral CT ทำให้ข้อมูลที่ได้สามารถนำมาสร้างภาพ 3 มิติหรือสร้างภาพในระนาบอื่นๆ ได้ และยังมีการพัฒนาในส่วนของหัววัด จากเดิมที่หลอดหมุน 1 รอบ ได้ 1 ภาพ เป็นหลอดที่หมุน 1 รอบ ได้หลายภาพ สูงสุดถึง 320 ภาพ เรียกว่า Multidetector CT (MDCT) หรือ Multislice CT (MSCT) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจพิเศษต่างๆ เช่น การตรวจหลอดเลือดหัวใจ (CT Angiography, CTA heart) การตรวจหาความผิดปกติของลำไส้ใหญ่ (CT Colonography) เป็นต้น[7]

แม้รังสีจะมีคุณประโยชน์อเนกอนันต์ต่อวงการแพทย์ แต่หากขาดความรู้ความเข้าใจ และการควบคุมดูแลอย่างถูกต้องเหมาะสม จะเป็นพลังงานที่มีอันตรายแก่คนรอบข้าง โดยเฉพาะแพทย์และพยาบาลผู้ใกล้ชิดกับผู้ป่วย ดังเช่นรังสีเรเดียมที่กัดกร่อนทำลายกระดูกของมารี กูว์รี จนทำให้เธอเสียชีวิต จากการที่เธอมักพกพาก้อนแร่ไว้ในกระเป๋าเสื้อกาวน์ตลอดเวลา[8]

ความรู้พื้นฐานทางรังสี

อะตอมเป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของธาตุ ประกอบด้วยแกนกลางเรียกว่านิวเคลียส (Nucleus) ถูกล้อมรอบด้วยวงแหวนเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นมีอนุภาคอิเล็กตรอน (Electron) ที่มีประจุไฟฟ้าลบ วิ่งวนโดยรอบอย่างเป็นระเบียบ (รูปแบบคล้ายๆ ระบบสุริยจักรวาล ที่ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์) ธาตุที่มีน้ำหนักเบาจะมีอิเล็กตรอนวิ่งวนอยู่เพียงไม่กี่ชั้น ส่วนธาตุหนักจะมีอิเล็กตรอนวิ่งวนอยู่หลายชั้น ที่นิวเคลียสมีอนุภาคเล็กๆ อีก 2 ชนิด คือ โปรตอน (Proton) มีประจุไฟฟ้าบวก และนิวตรอน (Neutron) ไม่มีประจุไฟฟ้า[9]

ในธรรมชาติ ธาตุที่เสถียรจะมีจำนวนนิวตรอนเท่ากับโปรตอน ส่วนธาตุที่ไม่เสถียรจำนวนอนุภาคทั้งสองชนิดจะแตกต่างกัน ซึ่งทำให้อะตอมต้องปรับตัวเพื่อให้เกิดสมดุล โดยการปล่อยหรือจับอิเล็กตรอน เริ่มจากวงแหวนชั้นนอกสุด อิเล็กตรอนที่หลุดออกจากวงโคจร จะถูกแทนที่ด้วยอิเล็กตรอนอื่นที่อยู่ในวงแหวนที่มีพลังงานสูงกว่า พร้อมแผ่รังสีออกมาเป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาค เรียกธาตุที่ไม่เสถียรนี้ว่า สารกัมมันตรังสี และเรียกพลังงานที่คายออกมาว่า กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) ซึ่งทำให้เกิดธาตุใหม่ที่มีความเสถียรมากขึ้น เช่น โคบอลต์-60

(Cobolt-60) สลายเป็นนิกเกิล-60 (Nickel-60) โดยโปรตอนของโคบอลต์-60 หายไป 1 อนุภาค กลายเป็นรังสีเบต้า (Beta rays) และรังสีแกมม่า (Gamma rays)[10]

ในห้องปฏิบัติการ เราสามารถทำให้ธาตุที่มีสถานะเสถียรปล่อยอิเล็กตรอนและคายพลังงานออกมาได้ในลักษณะเดียวกัน โดยใช้เครื่องเร่งอนุภาค (Radioisotope generator) เช่น รังสีเอกซ์ รังสีจากธาตุไอโอดีน-131 (Iodine-131) หรือรังสีจากเทคนีเชียม-99 (Technetium-99) เพื่อประโยชน์ทางด้านเวชศาสตร์นิวเคลียร์และรังสีรักษา[11]

นั่นคือ รังสีเป็นพลังงานที่อาจจะอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรืออนุภาคที่เคลื่อนที่ก็ได้ โดยจะถูกปล่อยออกมาจากต้นกำเนิดทุกทิศทุกทาง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันที่พลังงานและความยาวคลื่น ถ้ามีความยาวคลื่นสั้นมาก ก็สามารถแสดงพฤติกรรมเหมือนกับอนุภาค ทำให้เราแบ่งรังสีออกได้เป็น 2 ประเภท คือ[12]

1. รังสีที่ไม่ก่อประจุ (non-ionizing radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีพลังงานต่ำ เช่น แสงสว่างและความร้อนจากดวงอาทิตย์ แสงอินฟราเรด (Infrared) คลื่นไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ เป็นต้น

2. รังสีที่ก่อประจุ (ionizing radiation) เป็นรังสีที่เกิดจากการสลายของสารกัมมันตรังสี มีพลังงานสูงเกินสัมผัสของมนุษย์ที่จะรับรู้ได้ ที่สำคัญคือ รังสีอัลฟ่า (Alpha rays) รังสีเบต้า รังสีแกมม่าและรังสีเอ็กซ์

หน่วยวัดปริมาณรังสี

มีการใช้หน่วยวัดที่แตกต่างกัน 2 ระบบคือ ระบบ Centimeter gram second (CGS) ได้แก่ คูรี (Curie, Ci), แรด (Roentgen absorbed dose, Rad), และเรม (Roentgen equivalent in man, Rem) และระบบ Standard international units (SI) ได้แก่ เบ็คเคอเรล (Becquerel, Bq), เกรย์ (Gray, Gy), และซีเวิร์ต (Sievert, Sv)[13]

โดยทั่วไป เราไม่สามารถวัดปริมาณรังสีได้โดยตรง จำเป็นต้องวัดจากพลังงานที่เข้าไปสะสมอยู่ในวัตถุต่อน้ำหนักของวัตถุนั้น และเพราะการดูดกลืนรังสีต่างชนิดส่งผลทางชีวภาพต่อวัตถุแตกต่างกัน จึงมีการปรับ เทียบปริมาณรังสีที่วัดได้ โดยหน่วยที่ใช้วัดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด เป็นหลักเช่น การวัดปริมาณรังสีที่แผ่ออกมา (exposure dose) นิยมใช้ Ci หรือ Bq การวัดปริมาณรังสีที่ดูดซับโดยเนื้อเยื่อของร่างกาย(absorbed dose) นิยมใช้ Rad หรือ Gy การวัดความเสี่ยงต่อสุขภาพจากรังสี หรือ'รังสีสมมูล' (equivalent dose) นิยมใช้ เรม (Rem: Roentgen equivalent in man) หรือ ซีเวิร์ต (Sv: Sievert) เป็นต้น[14]

เครื่องที่ใช้วัดปริมาณรังสีก็มีความแตกต่างกัน โดยรังสีที่ก่อให้เกิดประจุจะใช้เครื่องมือที่สามารถวัดผล รวมของประจุ เช่น เครื่องไกเกอร์เคาน์เตอร์ (Geiger counter) ส่วนรังสีที่ให้พลังงานความร้อน จะใช้วิธีวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เช่น เครื่องแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) เป็นต้น[15]

อันตรายจากรังสี

ในแต่ละวัน มนุษย์สัมผัสกับรังสีที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติตลอดเวลา จากภายนอก เช่น รังสีคอสมิก (Cosmic rays) หรือรังสีอัลตร้าไวโอเลต (Ultraviolet rays) ในชั้นบรรยากาศที่สามารถทะลุผ่านผิวหนัง หรือเลนซ์ตา โดยความรุนแรงขึ้นอยู่กับปริมาณและระยะเวลาที่รังสีตกกระทบ และจากภายใน เช่น การได้รับรังสีเข้าสู่ร่างกาย โดยการดื่ม กิน หรือการหายใจในบรรยากาศที่มีการปนเปื้อนด้วยกัมมันตภาพรังสี เมื่อความโหดร้ายของมนุษย์ได้แสดงออกมา ด้วยการทิ้งระเบิดนิวเคลียร์ที่เมืองฮิโรชิมาและเมืองนางาซากิ ประเทศญี่ปุ่น (Hiroshima and Nagasaki, Japan พ.ศ.2488) หรือการระเบิดของโรงไฟฟ้านิวเคลียร์ เมืองเชอร์โนบิล ประเทศรัสเซีย (Chernobyl, Russia พ.ศ.2529)[16] หรือจากการกิน/การฝังแร่เพื่อการรักษาโรคมะเร็ง[17] ซึ่งสารกัมมันตรังสีสามารถแผ่รังสีเป็นอันตรายต่อตนเองและคนที่อยู่ข้างเคียงได้ โดยส่งผลกระทบต่อร่างกายใน 2 ลักษณะ คือ[14]

Deterministic effects (acute effect) คือ การได้รับรังสีปริมาณสูงในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ทำให้เกิดอันตรายต่ออวัยวะโดยตรงและแสดงอาการอย่างเฉียบพลัน โดยรังสีส่งผลต่ออวัยวะที่มีการสร้างเซลล์ใหม่ๆอยู่ตลอดเวลา เรียงตามลำดับดังนี้ คือ ไขกระดูก อัณฑะ ตามด้วยช่องปาก หลอดอาหาร ลำไส้ ผิวหนัง ตับ ปอด และไต

Stochastic effect เป็นผลจากรังสีเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ DNA นำไปสู่การกลายเป็นมะเร็งและการผ่าเหล่า จัดเป็น low dose effect และไม่มี threshold level นั่นคือ ไม่ว่าจะได้รับรังสีมากน้อยเพียงใด จะมีโอกาสเสี่ยงในระดับที่แปรตามปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับ

คณะกรรมาธิการด้านการป้องกันรังสีระหว่างประเทศ (The International Commission on Radiological Protection, ICRP)[18] กำหนดว่า การได้รับรังสีในธรรมชาติต้องอยู่ในระดับต่ำสุดเท่าที่จะทำได้ (as low as reasonably achievable, ALARA) และควรต่ำกว่าขีดจำกัดของปริมาณรังสีที่แต่ละคนจะรับได้ (individual dose limits) ซึ่งสำหรับคนทั่วไปไม่เกิน 1 mSvต่อปี และสำหรับเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีไม่เกิน 20 mSv ต่อปี โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อการป้องกันรังสี

ในประเทศไทย คณะกรรมการพลังงานนิวเคลียร์เพื่อสันติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้ออกกฎกระทรวงในปี พ.ศ.2561 ระบุมิให้ผู้ปฏิบัติงานรับปริมาณรังสีเกินกำหนด ดังนี้ [19]

1) ปริมาณรังสียังผล 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยในช่วงห้าปีติดต่อกัน ทั้งนี้ ในแต่ละปี จะรับรังสี ได้ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ต และตลอดช่วงห้าปีติดต่อกันจะต้องได้รับรังสีไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ต

2) ปริมาณรังสีสมมูล สำหรับเลนส์ดวงตา 20 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี โดยเฉลี่ยในช่วงห้าปี ติดต่อกัน ทั้งนี้ ในแต่ละปีจะรับรังสีได้ไม่เกิน 50 มิลลิซีเวิร์ต และตลอดช่วงห้าปีติดต่อกันจะต้องได้รับรังสีไม่เกิน 100 มิลลิซีเวิร์ต

3) ปริมาณรังสีสมมูล สำหรับส่วนที่เป็นผิวหนัง มือ และเท้า 500 มิลลิซีเวิร์ตต่อปีโดยปริมาณรังสีสมมูลสำหรับส่วนที่เป็นผิวหนังนั้นให้วัดจากค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีต่อ 1 ตารางเซนติเมตรของบริเวณผิวหนัง ที่ได้รับรังสีมากที่สุด

หมายเหตุ

ปริมาณรังสียังผล หมายถึง ผลรวมของปริมาณรังสีสมมูลหลังจากปรับเทียบสภาพไวต่อรังสีของแต่ละเนื้อเยื่อหรืออวัยวะทั่วร่างกายของมนุษย์ มีหน่วยเป็นซีเวิร์ต

ปริมาณรังสีสมมูล หมายถึง ผลรวมของปริมาณรังสีดูดกลืนในเนื้อเยื่อหรืออวัยวะใดๆ ของมนุษย์ หลังจากปรับเทียบการก่ออันตรายของรังสีทุกชนิดที่อวัยวะนั้นได้รับ โดยเทียบกับการก่ออันตรายของรังสีแกมมา มีหน่วยเป็นซีเวิร์ต

อาการและอาการแสดง

การได้รับรังสีปริมาณสูงเพียงครั้งเดียว อาจทำให้เสียชีวิตหรือแสดงกลุ่มอาการแบบเฉียบพลัน (acute radiation syndrome) ซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะดังนี้

Initial stage (prodomal phase) มีอาการคลื่นไส้อาเจียน เบื่ออาหาร หลังจากได้รับรังสี 2-3 ชั่วโมง

Latent stage เป็นช่วงสงบไม่แสดงอาการ ประมาณ 2-3 สัปดาห์

Third stage (symptomatic phase) มีอาการผิดปกติของทางเดินอาหาร ร่วมกับภาวะเลือดออกง่าย โลหิตจาง การติดเชื้อและผมร่วง

Fourth stage ร่างกายเริ่มปรับตัวกลับเข้าสู่ภาวะปกติ

การได้รับรังสีปริมาณน้อยติดต่อกันเป็นเวลานานๆ ทำให้การถ่ายทอดทางพันธุกรรมผิดปกติ ส่งผลกระทบต่อทารกในครรภ์ และการเกิดโรคต่างๆ เช่น ต้อกระจก หรือโรคมะเร็งในเม็ดเลือด เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงอาการทางกายที่เกิดขึ้นภายหลังการสัมผัสรังสีปริมาณต่างๆ[14]

ปริมาณรังสี (mSv)	อาการและอาการแสดง
0-250	ไม่ปรากฏอาการใดๆ
250-500	จำนวนเม็ดเลือดขาวลดลงเล็กน้อย ในระยะยาว มีโอกาสน้อย
500-1,000	จำนวนเม็ดเลือดขาวลดลงชัดเจน แต่จะค่อยๆ กลับเป็นปกติ มีอาการคลื่นเหียนและอ่อนเพลีย ในระยะยาวอาจมีผลทำให้อายุสั้น
1,000-2,000	มีอาการคลื่นเหียน อ่อนเพลีย มีอาการอาเจียน ภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง เม็ดเลือดขาวลดลง ผลติดตามภายใน 1-2 สัปดาห์ คือ ตัวซีด ผมร่วง อ่อนเพลีย ส่วนใหญ่จะค่อยๆ กลับเป็นปกติร้อยละ 2-3 เสียชีวิตร้อยละ 1 หายเป็นปกติ แต่อายุสั้น
2,000-3,000	อ่อนเพลีย อาเจียน อาจมีอาการท้องเสียภายใน 2-3 ชั่วโมง จำนวนเม็ดเลือดลดลง ในระยะยาว ทำให้ผมร่วง เบื่ออาหาร ตัวซีด คอแห้ง มีไข้ในสัปดาห์แรก โดยทั่วไป กลับเป็นปกติใน 3 เดือน บางคนอาจจะเสียชีวิตภายใน 2-6 สัปดาห์ ร้อยละ 2-3 มีอายุสั้นลง หรือเป็นมะเร็ง
3,000-6,000	อ่อนเพลีย อาเจียน และท้องร่วงภายใน 1-2 ชั่วโมง เม็ดเลือดลดลงอย่าง รวดเร็ว ติดตามด้วยอาการผมร่วง มีไข้อ่อนเพลีย มีอาการอักเสบบริเวณปาก และในลำคออย่างรุนแรง มีเลือดออก ถ้าได้รับรังสี 4,500 mSv มีโอกาสเสียชีวิตร้อยละ 50 ถ้าได้รับรังสี 6,000 mSv จะเสียชีวิตใน 2 สัปดาห์ ส่วนคนที่รอดชีวิตก็จะเสียชีวิตจากมะเร็งในเวลาต่อมา
6,000-12,000	ผิวหนังมีสีแดง ผมร่วงภายใน 2-3 วัน เสียชีวิตภายใน 2-3 สัปดาห์
เกิน 12,000	ผิวหนังลอก เสียชีวิตภายใน 2-3 วัน
ประมาณ 100,000	เสียชีวิตภายในไม่กี่ชั่วโมง

การป้องกัน

ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีและผู้เกี่ยวข้องทุกคน ควรต้องตระหนักในการปฏิบัติตนเพื่อให้ได้รับรังสีในระดับต่ำสุดเท่าที่จะทำได้และต่ำกว่าขีดจำกัดของปริมาณรังสีที่จะรับได้ในระยะเวลาที่กำหนด หรือ ALARA ดังนี้ [20]

1. ศึกษาชนิด ประเภท ความแรงของสารกัมมันตรังสีอย่างละเอียด ระมัดระวังการปนเปื้อนของสารกัมมันตรังสีที่เข้าสู่ร่างกายจากการสัมผัสเครื่องมือเครื่องใช้ ตลอดจนสภาพอากาศที่หมุนเวียนในห้องผ่าตัด พร้อมตรวจสอบว่าเครื่องมือทางรังสีอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ไม่ชำรุดเสียหาย

รังสีอัลฟ่าจากเรเดียม หรือยูเรเนียม เป็นอนุภาคที่ไม่สามารถเจาะทะลุผิวหนังมนุษย์หรือเสื้อผ้าได้ ถูกกั้นได้ด้วยแผ่นกระดาษแข็ง[21]

รังสีเบต้าจากสตรอนเทียม-90 (Strontium-90) หรือคาร์บอน-14 (Carbon-14) เป็นอนุภาคที่สามารถทะลุผ่านความหนาของฝ่ามือได้ ถูกกั้นด้วยแผ่นอะลูมิเนียมชนิดบางหรือพลาสติกชนิดหนา[21]

รังสีแกมม่าจากไอโอดีน-131 โคบอลท์-60 หรือเรเดียม-226 เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุผ่านร่างกายได้ ถูกกั้นด้วยวัสดุที่มีความหนาแน่นสูง เช่น ตะกั่วหรือเหล็ก[21]

รังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการยิงอนุภาคอิเล็กตรอนใส่แผ่นโลหะที่เป็นเป้า เช่น ทังสเตน (Tungsten) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถทะลุผ่านร่างกายได้ และยังสามารถปล่อยประจุไฟฟ้าแรงสูงในสูญญากาศ ถูกกั้นได้ด้วยวัสดุชนิดเดียวกันกับรังสีแกมม่า[21]

2. ใช้วิธีสลับเวลาการปฏิบัติงาน เพื่อย่นระยะเวลาการได้รับรังสีให้สั้นที่สุด เพราะปริมาณรังสีแปรโดยตรงกับเวลา และในกรณีที่ต้องปฏิบัติงานติดต่อเป็นเวลานานๆ ควรติดเครื่องวัดปริมาณรังสีส่วนบุคคล[22]เพื่อติดตามตรวจสอบปริมาณรังสีอย่างสม่ำเสมอ ได้แก่

Pocket dosimeter เมื่อต้องรับรังสีปริมาณสูงเป็นระยะเวลาสั้นๆ

Film badge ประกอบด้วยฟิล์มและตลับฟิล์ม มีแผ่นกรองที่สามารถแยกชนิด พลังงานรังสี และปริมาณรังสีสะสม แม้ความแม่นยำจะน้อยกว่าวิธีอื่น แต่อ่านผลง่ายและราคาไม่แพง

Thermoluminescent dosimeter (TLD) ใช้ Lithium fluoride ในการตรวจจับรังสีและเก็บสะสมไว้ในรูปผลึก ซึ่งเมื่อกระตุ้นด้วยความร้อนจะคายพลังงานออกมาเป็นแสงสว่างตามปริมาณรังสีที่ได้รับ มีความแม่นยำสูงและค่าใช้จ่ายสูงกว่าชนิดฟิล์ม สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

Optically stimulated luminescence (OSL) ใช้ Carbon doped Aluminium oxide (Al_2O_3:C) ในการตรวจจับรังสีและเก็บสะสมไว้ในโครงสร้างผลึก ซึ่งเมื่อถูกกระตุ้นโดยแสงสีเขียวและคายพลังงานในรูปของแสงสีน้ำเงินออกมาตามปริมาณรังสีที่ได้รับ สามารถวัดรังสีได้ต่ำสุดคือ 1mRem หรือ 0.01 mSv

3. ศึกษาขอบเขตของลำแสงที่ตรงไปยังผู้ป่วยที่เข้ารับการตรวจ โดยพยายามอยู่ห่างจากต้นกำเนิดรังสีให้ไกลที่สุด เนื่องจากความเข้มของรังสีจะแปรผกผันกับระยะทาง สำหรับต้นกำเนิดรังสีที่เป็นจุดเล็กๆ ความเข้มจะลดลงเป็นสัดส่วนกลับกับระยะทางยกกำลังสอง คือ ถ้าอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดรังสี 2 เท่า จะได้รับรังสีเพียง 1 ใน 4 แต่หากอยู่ใกล้แหล่งกำเนิดรังสีมาก จะทำให้เกิดมุมโค้งของการได้รับรังสีที่กระจัดกระจาย (scatter radiation) ทุกทิศทุกทางมากขึ้น[23]

โดยสรุป การได้รับรังสีมักมีสาเหตุมาจาก การกระจัดกระจายของรังสี เนื่องจากรังสีตกกระทบกับแผ่นกั้นรังสี (collimator) หรือวัสดุที่สามารถสะท้อนรังสีได้ และจากการรั่วไหลของรังสี เนื่องจากอุปกรณ์ มีการชำรุดแตกหัก

อย่างไรก็ตาม มีการศึกษาพบว่า บุคลากรวิสัญญีที่ปฏิบัติงานในห้องตรวจ มีโอกาสได้รับรังสีในระดับต่ำ อาจไม่มีความจำเป็นต้องสวมอุปกรณ์ตะกั่วเพื่อป้องกันรังสี แต่เพราะความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบของรังสีที่อาจเกิดขึ้นในระยะยาวและยากที่จะตรวจสอบได้[24-27]

4. ใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสีทุกครั้งขณะปฏิบัติงาน เพื่อลดความเข้มของรังสีจากต้นกำเนิดและใช้ฉากกั้นเพื่อป้องกันการกระจัดกระจายของรังสีภายหลังตกกระทบกับวัตถุ (Scatter armor shielding) ซึ่งจะสามารถลดปริมาณรังสีลงได้ 5-12 เท่า[28] ในกรณีที่อาจสัมผัสกับรังสีอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องสวมชุดป้องกันรังสี (radiation protection equipment) อย่างรัดกุม ด้วยเสื้อตะกั่ว (Lead apron) ซึ่งความหนาของตะกั่วสามารถลดปริมาณรังสีลงได้ โดยการเทียบเท่าตะกั่ว 0.25 มม. น้ำหนัก 1-5 กก. ลดความเข้มของรังสีเอกซ์ ได้ร้อยละ 75 ที่ 50 kVp ลดปริมาณรังสีเอกซ์ได้ร้อยละ 51 ที่ 100 kVp การเทียบเท่าตะกั่ว 0.5 มม. น้ำหนัก 3-7 กิโลกรัม ลดอัตรารังสีเอกซ์ได้ร้อยละ 99.9 ที่ 50 kVp ลดความเข้มของรังสีเอกซ์ ได้ร้อยละ 75 ที่ 100 kVp[29]

การสวมอุปกรณ์ป้องกันต่อมไทรอยด์ (Thyriod shield) ด้วยความหนา 0.5 มม. จะสามารถลดปริมาณรังสีลงได้ 7-9 เท่า[30] พร้อมแว่นตา (Lead glasses) ซึ่งควรมีความหนาอย่างน้อย 0.75 มม. เนื่องจากเลนส์ตามีขีดจำกัดของการรับปริมาณรังสีเท่ากับ 150 mSvต่อปี และมีค่าต่ำสุด (threshold) ของ Deterministic effect ในการเกิดต้อกระจกน้อยกว่า 0.5 Gy[31] และอาจสวมถุงมือ (Lead gloves) ที่มีความหนา 0.5 มม. ซึ่งสามารถลดปริมาณรังสีลงได้ร้อยละ 30 หรือ 1.4 เท่า[32]

นอกเหนือจากนี้ อุปกรณ์ป้องกันรังสีควรได้รับการดูแลอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน โดยทำการแขวนอุปกรณ์ตะกั่ว ไม่ให้เกิดการหักหรือพับงอ ทำความสะอาดโดยการเช็ดหรือซักอย่างน้อย เดือนละ 1 ครั้ง ตรวจ

สอบความสมบูรณ์ในการป้องกันรังสี ทุกๆ 6 เดือน โดยวิธีฟลูโอโรสโคปี[16]

ตารางที่ 2 แสดงร้อยละของรังสีที่สามารถทะลุผ่านเสื้อตะกั่วที่ความหนาต่างๆ กัน[33]

ความหนาของเสื้อตะกั่ว	ปริมาณรังสีเอกซ์ที่ตกกระทบ (กิโลโวลต์)	
	60	100
0.25 มม.	ร้อยละ 2-3	ร้อยละ 8-15
0.50 มม.	น้อยกว่าร้อยละ 1	ร้อยละ 3-7

ขอบเขตทางรังสีวิทยา

ปัจจุบัน รังสีวิทยามีขอบเขตต่างสาขาที่สำคัญ คือ

1. รังสีวินิจฉัย (Diagnosis radiology) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการใช้รังสี x-ray ถ่ายภาพอวัยวะภายในร่างกายของผู้ป่วย เพื่อการวินิจฉัยโรค ด้วยอุปกรณ์ เช่น เครื่องเอกซเรย์ทั่วไป (general x-ray) การเอกซเรย์แบบที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์เพื่อถ่ายภาพอวัยวะต่างๆ การใช้เครื่องฟลูโอโรสโคปี (fluoroscopy) เพื่อการตรวจอวัยวะต่างๆ ของร่างกายที่ต้องมีการใช้สารทึบรังสีร่วมกับการถ่ายภาพเอกซเรย์[34] เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computed Axial Tomography, CAT) เพื่อประเมินลักษณะทางกายวิภาคและการทำงานของอวัยวะต่างๆ ด้วยการฉีดสารทึบรังสี (สารประกอบไอโอดีน)[35] หรือเครื่องถ่ายภาพด้วยคลื่นสะท้อนในสนามแม่เหล็ก (Magnetic Resonance Imaging, MRI) เพื่อตรวจร่างกายโดยการสร้างภาพเหมือนจริง โดยใช้การสั่นพ้องของคลื่นสนามแม่เหล็กความเข้มสูง[36] เป็นต้น

2. รังสีรักษา (Radiation oncology) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วย การนำพลังงานรังสีมาใช้ในการรักษาแทนยา โดยเฉพาะโรคมะเร็ง มี 2 ชนิด ได้แก่ การส่งรังสีจากเครื่องมือที่อยู่ภายนอกร่างกายและการฝังสารกัมมันตรังสีไว้ภายในร่างกาย[37] เครื่องมือที่ใช้การตรวจรักษา เช่น เครื่องฉายเอกซเรย์ชนิดตื้นและชนิดลึก (Superficial and Orthovoltage or Deep X-ray Therapy Machine) เครื่องฉายรังสีโคบอลต์-60 (Cobalt-60 Teletherapy Machine) เครื่องเร่งอนุภาคที่ผลิตเฉพาะโฟตอนพลังงานไม่เกิน 6 MV (Low Energy Medical Linear Accelerator) หรือผลิตลำอิเล็กตรอนร่วมด้วย (High Energy Medical Linear Accelerator) เครื่องฉายรังสีแกมมาไนฟ์ (Gamma Knife Machine) หรือเครื่องฉายรังสีไซเบอร์ไนฟ์ (Cyber Knife Machine) เป็นต้น

3. เวชศาสตร์นิวเคลียร์ (Nuclear medicine) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการนำนิวเคลียร์เทคโนโลยีมาใช้ในการตรวจวินิจฉัยและรักษาโรคต่างๆ โดยการฉีดหรือรับประทานสารกัมมันตภาพรังสี โดยใช้อุปกรณ์ เช่น เครื่องตรวจความหนาแน่นของกระดูก (Bone densitometer) เพื่อวินิจฉัยภาวะกระดูกพรุน หรือเครื่องถ่ายภาพรังสีแกมมาหลายระนาบ (Single Photon Emission Computed Tomography-SPECT) เพื่อการตรวจสแกนอวัยวะต่างๆ เช่น กระดูก (bone scan), ไทรอยด์ (thyroid scan), ไต (renal scan), หัวใจ Myocardial perfusion scan และ Multigated blood pool scan (MUGA), พาราไทรอยด์ (parathyroid scan), ปอด (ventilation and perfusion lung scan) เป็นต้น[38]

รังสีวิทยากับงานระงับความรู้สึก

หลายหัตถการทางรังสีในหน่วยตรวจหรือห้องผ่าตัดต่างๆ ผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการระงับความรู้สึกและการดูแลอย่างใกล้ชิดจากบุคลากรวิสัญญีผู้มีความเชี่ยวชาญ ส่งผลให้บุคลากรเหล่านั้น มีโอกาสได้รับรังสีที่แผ่หรือกระจัดกระจายออกมาจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางรังสีเป็นครั้งคราวจนเกิดการสะสม หรือเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง

เครื่อง C-arm Fluoroscopy เพื่อการจัดกระดูกให้เข้าที่หรือตรวจสอบตำแหน่งที่สอดใส่อุปกรณ์ ทางศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์ เช่น wire, plate, screw และ nail[39] หรือตรวจสอบตำแหน่งของเครื่องมือ การใส่สายสวนหลอดเลือดดำส่วนกลาง (Central line insertion)[40] หรือการส่องกล้องตรวจทางเดินน้ำดีและตับอ่อน (Endoscopic retrograde cholangiopancreatography, ERCP)[41]

Intraoperative Radiotherapy (IORT) เป็นรังสีรักษาสำหรับมะเร็งที่อยู่ในตำแหน่งลึก และค่อนข้างดื้อต่อการรักษา จึงต้องใช้วิธีผ่าตัดเข้าถึงก้อนมะเร็ง โดยพยายามแยกอวัยวะข้างเคียงออกไปให้ห่างก่อนทำการฉายรังสีความเข้มสูงหรือเพื่อฝังแร่[42] เนื่องจากการผ่าตัดทำให้เกิดความเจ็บปวด และต้องการความนิ่ง ความแม่นยำในการเข้าถึงเซลล์มะเร็งเป้าหมาย

Stereotactic Neuroradiosurgery คือการฉายรังสีความเข้มสูงลำแสงเล็ก ยิงจากหลายทิศทางไปยังเป้าหมายเดียวกันที่มีขนาดไม่เกิน 3-4 ซม. เป็นหัตถการที่มีความยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาค่อนข้างมาก[43] ซึ่งผู้ป่วยจำเป็นต้องการให้การระงับความรู้สึกเนื่องจากการผ่าตัดทำให้เกิดความเจ็บปวด และต้องการความนิ่ง ความแม่นยำเช่นกัน

ในขณะทำหัตถการ ERCP โดยจัดให้ผู้ป่วยนอนในท่าตะแคงหรือคว่ำ ภายใต้การระงับความรู้สึกทางหลอดเลือดดำ (Total intravenous anesthesia, TIVA) ส่งผลให้ทางเดินหายใจของผู้ป่วยถูกอุดกั้นได้ง่าย ในขณะที่การส่องกล้อง

ทำให้ผู้ป่วยแน่นอึดอัด และศัลยแพทย์หรืออายุรแพทย์ต้องการความนิ่งเพื่อการถ่ายภาพ บุคลากรวิสัญญีจึงต้องเข้าไปดูแลหรือแก้ปัญหาผู้ป่วยในระหว่างการทำหัตถการและมีโอกาสได้รับรังสีบ่อยครั้ง จึงจำเป็นต้องปฏิบัติตาม ALARA อย่างเคร่งครัด พร้อมเฝ้าระวังปรับวิธีการระงับความรู้สึก ให้สอดคล้องกับการทำงานของแพทย์โดยให้เกิดปัญหากับทางเดินหายใจของผู้ป่วยน้อยที่สุด[41]

สรุป

การตรวจรักษาหรือหัตถการที่เกี่ยวข้องกับรังสีวิทยาในหลายหัตถการผู้ป่วยจำเป็นต้องได้รับการระงับความรู้สึก เนื่องจากการตรวจบางชนิดอาจเกิดความเจ็บปวด ต้องการความแม่นยำ ความนิ่งของผู้ป่วย บุคลากรวิสัญญีจะเข้าไปมีบทบาทในการดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด มีโอกาสได้รับรังสีที่แผ่หรือกระจัดกระจายออกมาตลอดเวลาทั้งกับตนเองและคนรอบข้างระหว่างการปฏิบัติงาน จึงต้องมีความรู้ความเข้าใจและการปฏิบัติตัวอย่างเหมาะสมในการป้องกันอันตรายจากรังสี

References

1. Augustyn A, Bauer P, Duignan B, et al. Wilhelm Conrad Röntgen [Internet]. 2020 [cited 2020 May 26]. Available from: URL:https://www.britannica.com/biography/Wilhelm-Rontgen
2. Sekiya M, Yamasaki M. Antoine Henri Becquerel (1852-1908): a scientist who endeavored to discover natural radioactivity. Radiol Phys Technol 2015;8:1-3.
3. Augustyn A, Bauer P, Duignan B, et al. Marie Curie [Internet]. 2020 [cited 2020 May 26]. Available from: URL:https://www.britannica.com/biography/Marie-Curie
4. Onion A, Sullivan M, Mullen M. Marie and Pierre Curie isolate radium [internet]. Updated 2020 April 16 [cited 2020 May 28]. Available from: https://www.history.com/this-day-in-history/curies-isolate-radium
5. จงวัฒน์ ชีวกุล. เครื่อง Fluoroscopy และ ส่วนประกอบ [อินเตอร์เน็ต]. หลักสูตรรังสีเทคนิค ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. [เข้าถึงเมื่อ 2 กค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://meded.psu.ac.th/binlaApp/radio2/365-211/Fluoroscopy/index.html
6. Bureev A Sh, Klestov SA, Kutsov MS, et.al. Digital X-ray Tomography [Internet]. Red Square Scientific 2018 [cited 2020 July 5]. Available from: https://books.google.co.th/books?id=MhdACwAAQBAJ&dq=Bocage++Tomography&hl=th&source=gbs_navlinks_s
7. ศูนย์รังสีวินิจฉัยก้าวหน้า (ไอแมค) AIMC.Mahidol.ac.th. [อินเตอร์เน็ต]. คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล. ความรู้ CT เบื้องต้น:การตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ความเร็วสูง (CT). [เข้าถึงเมื่อ 2 กค. 2563]. เข้าถึงได้จาก: https://med.mahidol.ac.th/aimc/th/content/ctth
8. Shipman JT, Wilson JD, Todd A. An introduction to physical science [Internet]. Cengage Learning 2013. [cited 2020 July 5]. Available from: https://books.google.co.th/books?id=tb8JAAAAQBAJ&pg=PR4&lpg=PR4&dq=ISBN+978-1-133-10409-4&source=bl&ots=wcEnaaeq0N&sig=ACfU3U292_l5mUk-XOL8HBXkM2o-YrboKQ&hl=th&sa=X&ved=2ahUKEwiV6InDu7_qAhVr8XMBHR2wDIUQ6AEwAXoECA4QAQ#v=onepage&q=ISBN%20978-1-133-10409-4&f=false
9. สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ. ความรู้เกี่ยวกับนิวเคลียร์ [อินเตอร์เน็ต]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 10 มิ.ย. 2563]. เข้าถึงจาก: https://www.oap.go.th/resources/105-articles/nuclear/129-nuclear-terms
10. Steinberg EP, Rasmussen JO. Radioactivity [Internet]. 2020[cited 2020June10]. Available from https://www.britannica.com/science/radioactivity
11. บทความสมาคมนิวเคลียร์แห่งประเทศไทย. ไอโอดีน-131 (Iodine-131) [อินเตอร์เน็ต]. [cited 2020 June 10]. Available from http://www.nst.or.th/article/article54/article54-005.html
12. มาริสา คุณธนวงศ์. รังสีคืออะไร มีกี่ชนิด วัดได้อย่างไร มีผลกระทบต่อสุขภาพมากน้อยแค่ไหน [อินเตอร์เน็ต]. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ 2561. [เข้าถึงเมื่อ14 มิย. 2563]. เข้าถึงจาก https://www.mtec.or.th/post-knowledges/3923/
13. อภิเดช ชีวะประเสริฐ, วิโรจน์ เจียมจรัสรังสี. ความรู้และการปฏิบัติตนด้านความปลอดภัยจากรังสี ในบุคลากรห้องปฏิบัติการ สวนหัวใจของโรงพยาบาลรัฐบาลในประเทศไทย. วารสารพยาบาลโรคหัวใจและทรวงอก 2562;30:32-45.
14. อัมพร ฝันเชียน. อันตรายจากรังสีและการควบคุม [อินเทอร์เนต]. สงขลา: ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. 2547 [เข้าถึงเมื่อ14 มิย. 2563]. เข้าถึงได้จาก http://kmcenter.rid.go.th/kcresearch/article_out/article_out_02.pdf
15. Grupen C, Rodgers M, Radioactivity and radiation. Appendix A: how can we detect radiation? Springer International Publishing Switzerland 2016:161-78. DOI 10.1007/978-3-319-42330-2
16. ศูนย์บริหารความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยมหิดล. แนวปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางรังสี. ปทุมธานี: ทองสุขพริ้นท์; 2555.
17. อลิสรา วงศ์สุทธิเลิศ, ช่อแก้ว โตวณะบุตร. การป้องกันรังสีสำหรับผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยสารกัมมันตรังสีไอโอดีน. บูรพาเวชสาร 2558;2:65-73.
18. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Annals of the ICRP. International Commission on Radiological Protection 1997-2001; 1997:27;3-4.
19. กระทรวงวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี. ความปลอดภัยทางรังสี [อินเตอร์เน็ต]. 2561 ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 135 ตอนที่ 79 ก:5 ตุลาคม 2561 หน้า 9-16. [เข้าถึงเมื่อ 16 พ.ค. 2563]. เข้าถึงจาก: http://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/A/079/T_0009.PDF

20. Centers for Disease Control and Prevention. ALARA - As low as reasonably achievable [Internet]. December 7, 2015. [cited 2020 July 5]. Available from: https://www.cdc.gov/nceh/radiation/alara.html
21. Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). Types and sources of radiation. In: Works and Government Services Canada editor. Introduction to radiation. Canada: Canadian Nuclear Safety Commission; 2012. p. 6-7.
22. Podgorsak EB. Individual monitoring. radiation oncology physics: A handbook for teachers and student. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2005.
23. Salleh H, Matori MK. Isa JM, Jamaluddin Z, A Rahman MF, M Zin MK. Distance factor on reducing scattered radiation risk during interventional fluoroscopy. Seminar R & D, Agensi Nuklear Malaysia, 26-28 September 2012. p.1-6. [Internet]. [cited 2020 June 15]. Available from: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/44/096/44096854.pdf
24. Ismail S, Khan FA, Sultan N, Naqvi M. Radiation exposure of trainee anaesthetists. Anaesthesia 2006;61:9-14.
25. Alonso JA, Shaw DL, Maxwell A, McGill GP, Hart GC. Scattered radiation during fixation of hip fractures; is distance alone enough protection? J Bone Joint Surg 2001; 83:815-8.
26. Imaizumi M, Usa T, Tominaga T, et al. Radiation dose response relationships for thyroid nodules and autoimmune thyroid diseases in Hiroshima and Nagasaki atomic bomb survivors 55-58 years after radiation exposure. JAMA 2006;295:1011-22.
27. Suton P, Vichitvejpaisal P, Boayam W, Thongprapan T. Radiation exposure affecting anesthesia personnel during endoscopic retrograde cholangiopancreatography; is a lead apron necessary for X-Ray protection? J Med Assoc Thai 2018;101:1325-9.
28. Thornton RH, Dauer LT, Altamirano JP, Alvarado KJ, St Germain J, Solomon SB. Comparing strategies for operator eye protection in the intervention radiology suite. J Vasc Intervent Radiol 2010;21:1703-7.
29. Murphy A, Knipe H. Lead equivalent personal protection equipment [Internet]. [cited June 4, 2020]. Available: https://radiopaedia.org/articles/lead-equivalent-personal-protection-equipment
30. Lee SY, Min E, Bae J, et al. Types and arrangement of thyroid shields to reduce exposure of surgeons to ionizing radiation during intraoperative use of C-arm fluoroscopy. Spine 2013;38:2108-12.
31. Internal Sources- National Institute of Standards and Technology (NIST). X-Ray mass attenuation coefficients [Internet]. [cited 2020 May 2]. Available: https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients
32. Kim AN, Chang YJ, Cheon BK, Kim JH. How effective are radiation reducing glove in C-arm fluoroscopy-guided pain interventions? Korean J Pain 2014;27:145-51.
33. United Nations Scientific Committee on the effects of atomic radiation. Sources and effects of ionizing radiation [Internet]. 2008 [cited 2020 May 15]. Available from: https://www.unscear.org/docs/publications/2008/UNSCEAR_2008_Report_Vol.I.pdf
34. รังสีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง. X-ray Fluoroscopy [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2563]. เข้าถึงจาก: http://www.rt.sci.ru.ac.th/index.php/2014-03-31-22-42-10/2016-03-23-16-04-38/x-ray-fluoroscopy
35. ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล. เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ [อินเตอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2563]. เข้าถึงจาก: https://sirirajradiology.com/diag-x-ray-com/
36. โรงพยาบาลวิภาวดี. MRI คืออะไร [อินเตอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2563]. เข้าถึงจาก: https://vibhavadi.com/health985
37. สุนันทา ภูงามนิล. การตรวจสอบ ประเมินความปลอดภัย การรักษาความมั่นคงปลอดภัยในสถานปฏิบัติการทางรังสีทางการแพทย์. กองตรวจสอบทางนิวเคลียร์และรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ [อินเตอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 23 มิย. 2563]. เข้าถึงจาก: https://www.oap.go.th/images/documents/services/rso/DocumentApplication/%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%89%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%B0%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87/L-2_2561/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%A7%E0%B8%88%E0%B8%AA%E0%B8%AD%E0%B8%9A%E0%B8%A7%E0%B8%AA%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%A1%E0%B8%A1%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%87%E0%B8%AA.pdf
38. ปภาวี สุขดี. ฟิสิกส์ของเวชศาสตร์นิวเคลียร์และผลของรังสีต่อสิ่งมีชีวิต [อินเตอร์เน็ต]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 23 มิ.ย. 2563]. เข้าถึงจาก http://www.elahs.ssru.ac.th/papawee_so/pluginfile.php/18/block_html/content/%E0%B8%9F%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B8%B4%E0%B8%81%E0%B8%AA%E0%B9%8C.pdf
39. ศรีชัย ครุสันธิ์. วิทยาการใหม่ของรังสีรักษา New technologies in radiotherapy. ศรีนครินทร์เวชสาร 2554;26 Suppl:35-42.
40. Keckler SJ, Spilde TL, Ho B, et al. Chest radiograph after central line placement under fluoroscopy: utility or futility? J Pediatr Surg 2008;43:854-6.
41. Buls N, Pages J, Mana F, Osteaux M. Patient and stuff exposure during endoscopic retrograde cholangiopancreatography. Br J Radiol 2002;75:435-43.
42. Glynn KM, Riker AI. Anesthetic considerations for intraoperative radiation therapy. Ochsner J 2015;15:438-40.
43. Schindler E. The neuroradiologist's contribution to stereotactic neuro-radio-surgery. Acta Neurochir 1995;63 Suppl:9-15.