

ปริมาณรังสีและการกระจายรังสีจากการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปี: การศึกษาในเนื้อเยื่อจำลอง

ปณัสดา อวิคุณประเสริฐ^{1,2*}, ธนาทิพย์ จันทร์แดง², เขมิกา เกื้อพิทักษ์³, วิฑิต ผึ้งกัน⁴, จิตติพร เขียนประสิทธิ์⁵

¹ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช

²สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³สาขาวิชารังสีวิทยา ศูนย์การแพทย์ปัญญานันทภิกขุชลประทาน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

⁴กลุ่มมาตรฐานการวัดทางนิวเคลียร์และรังสี สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ

⁵ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Radiation Dose and Dose Distribution from Fluoroscopy: Phantom Study

Panatsada Awikunprasert^{1,2*}, Thanatip Chandaeng², Kemiga Kuepitak³, Vithit Pungkun⁴, Jittiporn Kianprasit⁵

¹Department of Radiology, Faculty of Medicine Vajira Hospital, Navamindradhiraj University

²Department of Physics, Faculty of Science, Khon Kaen University

³Department of Radiology, Panyanantaphikkhu Chonprathan Medical Center, Srinakharinwirot University

⁴Ionising Radiation Metrology Group, Office of Atoms for Peace

⁵Department of Radiology, Faculty of Medicine, Khon Kaen University

หลักการและวัตถุประสงค์: การทราบค่าปริมาณรังสีจะเป็นแนวทางป้องกันอันตรายให้กับผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานได้ วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อหาค่าปรับแก้การตอบสนองต่อรังสีของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดโอเอสแอล (OSL) เพื่อวัดค่าปริมาณรังสีที่ผิวหนังจากการตรวจฟลูออโรสโคปี 4 เทคนิค คือ หลอดอาหาร (BS) ทางเดินอาหารส่วนบน (UGI) ลำไส้ใหญ่ (BE) และการตรวจปัสสาวะไหลย้อนกลับ (VCUG) และเพื่อสร้างแผนภูมิการกระจายปริมาณรังสีรอบเครื่อง

วิธีการศึกษา: ติด OSL บนเนื้อเยื่อจำลองและฉายรังสีที่พลังงานต่างๆ เพื่อหาค่าปรับแก้การตอบสนองต่อรังสี จากนั้น ติด OSL บนตำแหน่งของอวัยวะต่างๆ ของหุ่นเนื้อเยื่อจำลอง เพื่อวัดค่าปริมาณรังสีสมมูล และติด OSL บนเสาที่วางอยู่รอบเครื่องเพื่อวัดปริมาณรังสีกระเจิง

ผลการศึกษา: พลังงานและค่านับวัดมีความสัมพันธ์ตามสมการ $y = 126531e^{-0.0151x}$ ที่ช่องท้องพบปริมาณรังสีสูงสุด (18 mSv) จากเทคนิค BE และเต้านมได้รับปริมาณรังสี 8 mSv จากเทคนิค BS และ 17 mSv จากเทคนิค UGI สำหรับเทคนิค VCUG ทำให้มดลูกได้รับปริมาณรังสี 12 mSv และพบว่าการกระเจิงของรังสีมีค่าสูงที่บริเวณกลางเตี๋ยง

สรุป: การทราบค่าปริมาณรังสีที่ตำแหน่งอวัยวะที่ไวต่อรังสี เช่น เลนส์ตา ต่อมไทรอยด์ ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานตระหนักถึงอันตรายของรังสี เมื่อต้องปฏิบัติงานในบริเวณรังสี สามารถหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีรังสีสูงๆ และใช้อุปกรณ์ป้องกันเพื่อลดปริมาณรังสี

Background and Objective: Knowing the level of radiation dose will be a radiation protection guideline for patients and staffs. The purposes of this study were to define a conversion factor for optically stimulated luminescence (OSL) dosimeters and to measure the skin equivalent dose from four fluoroscopic techniques; barium swallow (BS), upper GI (UGI), barium enema (BE) and voiding cystourethrography (VCUG). The charts of radiation dose distribution from fluoroscope were plotted.

Methods: OSL dosimeters were attached on the phantom and irradiated with different x-ray energies. The conversion factors were calculated. Then, OSL dosimeters were placed on the organs of Rando phantom to measure the radiation equivalent dose. Finally, OSL dosimeters were placed on the column surrounding the fluoroscope to measure the scattered radiation.

Results: The relationship between energy and count was follow the equation $y = 126531e^{-0.0151x}$. The highest skin equivalent doses were at abdomen (18 mSv) from barium enema technique, breast received the radiation dose at 8 mSv from barium swallow

*Corresponding author : Panatsada Awikunprasert, Department of Radiology, Faculty of Medicine Vajira Hospital, Navamindradhiraj University, Email: panatsada@nm.ac.th

คำสำคัญ: การกระจายรังสี ฟลูออโรสโคปี อุปกรณ์วัดปริมาณรังสี ไอเอสแอล

examination and the radiation dose of 17 mSv from upper gastrointestinal study. The voiding cystourethrography produced the highest radiation dose to uterus at 12 mSv. Moreover, the highest scattered radiations were from the middle of couch.

Conclusions: Knowing the radiation dose at radiosensitive organs, such as eye lens and thyroids, help the staffs to aware of the danger of exposing to radiation. Radiation staffs can avoid the high radiation area and the use of radiation protection can reduce the radiation.

Keywords: dose distribution, fluoroscopy, radiation dosimeter, OSL

ศรีนครินทร์เวชสาร 2562; 34(6): 565-573. • Srinagarind Med J 2019; 34(6): 565-573.

บทนำ

การตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์ด้วยภาพรังสีเป็นส่วนสำคัญในประเมินอาการของโรคเพื่อนำไปสู่การรักษาที่ถูกวิธี หนึ่งใน การถ่ายภาพรังสีแบบพิเศษ คือการใช้เทคนิคเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy) เพื่อตรวจวินิจฉัยความผิดปกติของอวัยวะภายในร่างกายโดยใช้สารทึบรังสี (contrast media) ร่วมกับการถ่ายภาพ เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีสามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวของอวัยวะในขณะที่ทำการตรวจ (real time image) เช่น ระบบทางเดินอาหาร ระบบประสาทและไขสันหลัง และระบบขับถ่าย

การถ่ายภาพโดยใช้รังสีเอกซ์ซึ่งเป็นรังสีชนิดก่อกัมมันตรังสีในตัวกลาง ก่อให้เกิดอันตรายต่อบุคคลได้ เช่น ต้อกระจก¹ หรือเกิดอาการบาดเจ็บของผิวหนัง² การตรวจพิเศษทางรังสีด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปี รวมถึงการใช้รังสีร่วมรักษา เป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ใช้ปริมาณที่สูง ปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับขึ้นกับเทคนิคที่ตรวจ อวัยวะที่ตรวจ ขนาดและความหนาของผู้ป่วย อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ การศึกษาของ Danadille และคณะ ประเมินการได้รับรังสีโดยใช้อุปกรณ์วัดรังสีชนิดทึบแอลดี (thermoluminescence dosimeter; TLD) ติดที่ตา แขน ขา นิ้วและข้อมือของผู้ปฏิบัติงานในห้องตรวจรังสีร่วมรักษา พบว่า ปริมาณรังสีที่ดวงตาของผู้ปฏิบัติงานมีค่าสูง เมื่อเปรียบเทียบกับค่าขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสีสมมูลต่อปีของเลนส์ตาของผู้ปฏิบัติงาน เช่นเดียวกับปริมาณรังสีที่แขนและขาที่มีค่าสูง³ Khoury และคณะ ใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดฟิล์ม (radiochromatic film) ติดที่เตียงผู้ป่วยในขณะที่ทำการตรวจเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ และใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสี TLD ติดใกล้ดวงตา ไทรอยด์ ทรวงอก ข้อมือและเท้าของผู้ปฏิบัติงานเพื่อวัดปริมาณรังสีที่ได้รับจากการใช้รังสีร่วมรักษาโดยการฉีดสารเคมีผ่านสายสวนเข้าไปที่ตับเพื่อรักษามะเร็ง พบปริมาณสูงที่เท้า มือ ดวงตาตามลำดับ เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ป้องกันรังสีและผู้ปฏิบัติงานไม่สวมแว่นตาตะกั่ว⁴

การประเมินความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งหรืออันตรายต่อสุขภาพจากการได้รับรังสีปริมาณต่ำๆ (low-dose radiation)

ทำได้ยาก เนื่องจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นน้อยจึงยากที่จะศึกษาจากระบาดวิทยาโดยตรง และไม่สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างอันตรายจากรังสีและการได้รับรังสีปริมาณต่ำได้ การตรวจด้วยเทคนิคเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีบางการตรวจใช้เวลา นาน ปริมาณรังสีและพลังงานของรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจะมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้ในการตรวจ การได้รับรังสีปริมาณต่ำในระยะเวลานานจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (leukemia) ถึงแม้ว่าโอกาสที่จะเกิดขึ้นมีเพียงเล็กน้อยก็ตาม แต่ยังคงเป็นประเด็นที่สาธารณสุขมีความกังวล การได้รับรังสีเพิ่มขึ้นจะเพิ่มโอกาสทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในดีเอ็นเอจนเซลล์พัฒนาไปสู่การเป็นมะเร็งโดยไม่มีการกำหนดค่าปริมาณรังสีต่ำสุด (no threshold)⁶ ความเสี่ยงจะแปรตามปริมาณรังสีที่ได้รับหรือผลจากได้รับรังสีเป็นจำนวนมากทำให้เซลล์หรืออวัยวะนั้นทำงานได้ไม่ดีหรือมีความผิดปกติไป รวมถึงการแสดงอาการอื่น ๆ เช่น อาเจียน ซึ่งผลที่แสดงจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นและมีขีดเริ่มเปลี่ยนของความรุนแรงเมื่อได้รับรังสี

ดังนั้น จำเป็นที่จะต้องศึกษาและตรวจวัดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานได้รับจากการถ่ายภาพทางรังสีด้วยเทคนิคต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงจากการได้รับรังสีและสร้างแนวทางในการป้องกันอันตรายจากการได้รับรังสีทางการแพทย์ จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของการวัดปริมาณรังสีโดยการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดรังสี 3 ชนิด ได้แก่ หัววัดรังสีชนิดไอออนไนเซชันแชมเบอร์ (ionization chamber) อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่แอลดี และอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอท (nanoDot™ OSL Dosimeter, LAN-DAUER®, Illinois, USA) โดยศึกษาในหุ่นจำลองและนำไปฉายด้วยเครื่องเอกซเรย์ทั่วไป พบว่า อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทมีประสิทธิภาพที่สูงที่สุดและเหมาะสำหรับการวัดปริมาณรังสีในทางคลินิก⁷ อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอท ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์เพื่อวัดปริมาณรังสีที่ได้จากการถ่ายภาพทางรังสี เช่น การถ่ายภาพเอกซเรย์ทั่วไป⁸ การตรวจเต้านมแมมโมกราฟี (mammography)⁹

ปริมาณรังสีจากเครื่องเอกซเรย์ทางพันธุกรรม^{10, 11} และการตรวจวัดปริมาณรังสีจากเครื่องเร่งอนุภาค (linear accelerator)^{12, 13} นอกจากนี้ มีการนำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทไปใช้ร่วมกับการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปี เช่น การศึกษามุมและพลังงานของแผ่นเมื่อใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี⁸ การวัดปริมาณรังสีในด้านรังสีร่วมรักษา¹⁴⁻¹⁶ เนื่องจากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอทได้รับการปรับเทียบที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของหลอดเอกซเรย์เท่ากับ 80 kV จากบริษัทผู้ผลิต¹⁷ แต่ในการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีใช้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่แปรตามความหนาของผู้ป่วยและเทคนิคการตรวจ ทำให้ค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ไม่คงที่ จำเป็นต้องศึกษาและหาค่าปรับแก้ (conversion factor) ที่พลังงานต่างๆ เพื่อนำไปคำนวณปริมาณรังสีได้ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

วัตถุประสงค์ของศึกษานี้ เพื่อหาค่าปรับแก้การตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่างๆ ของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอท จากนั้น ติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอท ที่ตำแหน่งดวงตา ไทรอยด์ เต้านม ช่องท้องของหุ่นจำลอง และอวัยวะสืบพันธุ์ เพื่อตรวจวัดปริมาณรังสีสมมูลที่ได้จากการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องฟลูออโรสโคปี รวมถึงการตรวจวัดปริมาณรังสีกระเจิงรอบเครื่องฟลูออโรสโคปีที่ระยะห่าง 0.15 เมตรและ 0.50 เมตร ที่ระดับความสูงของไทรอยด์และอวัยวะสืบพันธุ์ โดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลอินไลท์ (InLight™ OSL Dosimeter, LANDAUER®, Illinois, USA)

วิธีการศึกษา

การหาค่าปรับแก้การตอบสนองต่อรังสีที่พลังงานต่างๆ

ติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอท จำนวน 6 แผ่น บนเนื้อเยื่อจำลองทรวงอกบาศก์บรรจุน้ำ (slab phantom) วางห่างจากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์มาตรฐาน (ณ ห้องปฏิบัติการวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ) เป็นระยะทาง 1 เมตร ให้ตรงกับกึ่งกลางของลำรังสี (รูปที่ 1) ปรับตั้งค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ไฟฟ้าและเวลาของเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์

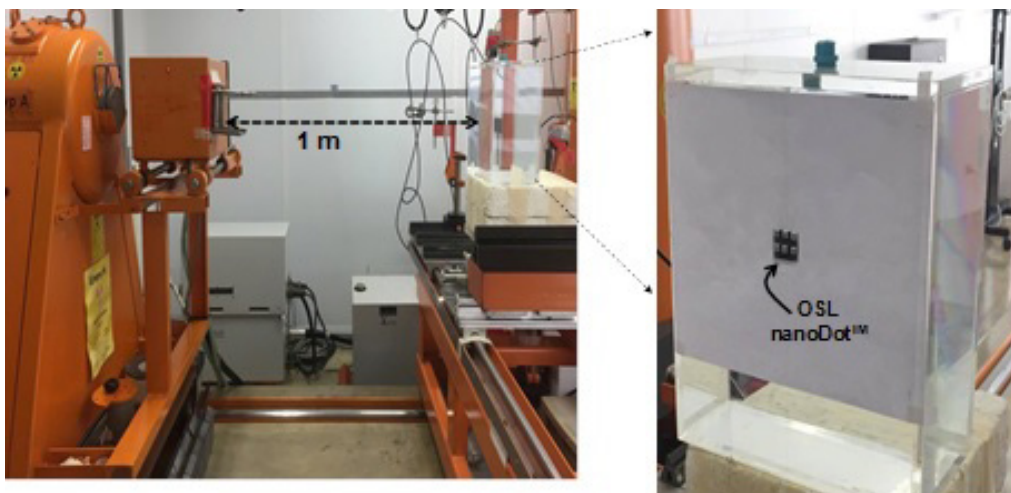
เพื่อให้ได้พลังงาน 33 keV และปริมาณรังสี 10 mSv และฉายรังสีลงบน phantom จากนั้น นำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทไปอ่านค่า ทำการทดลองซ้ำ เปลี่ยนการตั้งค่าเพื่อให้ได้รังสีเอกซ์ที่พลังงาน 48, 65, 83, 100 keV

การวัดปริมาณรังสีจากการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องฟลูออโรสโคปี

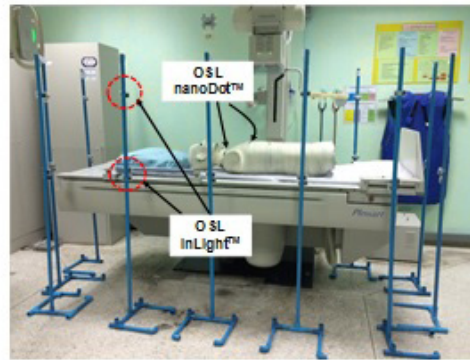
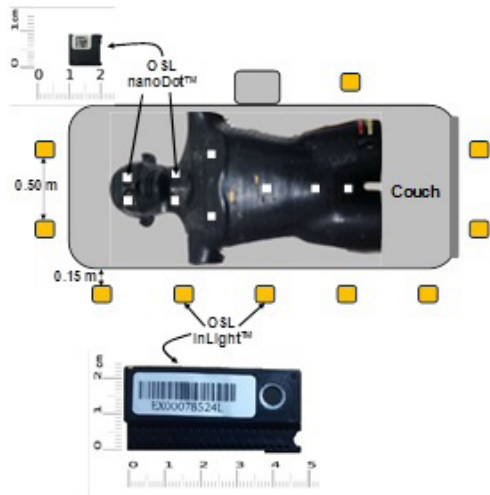
นำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอท ติดที่ตำแหน่งอวัยวะต่างๆ ตำแหน่งละ 1 แผ่น บนหุ่นเนื้อเยื่อจำลอง (The Alderson radiation therapy phantom; ART) ได้แก่ ดวงตาซ้ายและขวา ไทรอยด์ซ้ายและขวา เต้านมซ้ายและขวา บริเวณช่องท้อง บริเวณท้องน้อย และอวัยวะสืบพันธุ์ วางหุ่นจำลองในเครื่องฟลูออโรสโคปี เพื่อวัดปริมาณรังสีที่ได้จากการตรวจด้วยเทคนิคการตรวจหลอดอาหาร (barium swallow; BS) จากนั้น นำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทไปอ่านค่า ทำการวัดปริมาณรังสีซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยปริมาณรังสีสมมูลที่ตำแหน่งอวัยวะต่างๆ ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเป็นเทคนิคการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน (upper GI; UGI) การตรวจลำไส้ใหญ่ (barium enema; BE) และการตรวจปัสสาวะไหลย้อนกลับ (voiding cystourethrography; VCUG) (รูปที่ 2)

การวัดปริมาณรังสีกระเจิงรอบเครื่องฟลูออโรสโคปี

วัดปริมาณรังสีกระเจิงรอบเครื่องฟลูออโรสโคปีจากการถ่ายภาพด้วยเทคนิคต่างกัน 4 เทคนิค ได้แก่ การตรวจหลอดอาหาร (BS) การตรวจทางเดินอาหารส่วนบน (UGI) การตรวจลำไส้ใหญ่ (BE) และการตรวจปัสสาวะไหลย้อนกลับ (VCUG) โดยการติดตั้งเสาทำจากท่อพลาสติกครอบเตียงเอกซเรย์จำนวน 10 ต้น โดยให้เสาห่างจากเตียงเอกซเรย์เป็นระยะ 0.15 เมตร เสาแต่ละต้นห่างกัน 0.50 เมตร จากนั้น นำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลอินไลท์ จำนวน 20 แผ่น ติดบนเสาพลาสติกที่ระดับความสูงจากพื้นห้องสองระดับคือ 1.40 เมตร (กำหนดเป็นระดับความสูงของไทรอยด์) และ 0.90 เมตร (กำหนดเป็นระดับความสูงของอวัยวะสืบพันธุ์) วางหุ่นเนื้อเยื่อ



รูปที่ 1 การฉายรังสีเอกซ์จากเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์มาตรฐาน (ณ สำนักงานปรมาณูเพื่อสันติ) ลงบนเนื้อเยื่อจำลองที่ติดอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลนาโนดอท



รูปที่ 2 ตำแหน่งที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี OSL nanoDot™ บนหุ่นเนื้อเยื่อจำลอง เพื่อวัดปริมาณรังสีสมมูลที่อวัยวะต่างๆ และการติดตั้งอุปกรณ์วัดปริมาณรังสี OSL InLight™ เพื่อวัดปริมาณรังสีกระเจิงรอบเครื่องฟลูออโรสโคปี

จำลองมนุษย์บนเตียงเอกซเรย์และถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคดังกล่าว (รูปที่ 2) เนื่องจากรังสีกระเจิงมีปริมาณต่ำมาก ทำให้อุปกรณ์วัดรังสีไม่สามารถบันทึกค่าได้ จะใช้วิธีการถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิคเดิมซ้ำ 3 ครั้ง นำโอเอสแอลไปอ่านค่าและคำนวณค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีกระเจิงในตำแหน่งต่างๆ จากนั้น เปลี่ยนระยะห่างระหว่างเสาและเตียงเอกซเรย์เป็นระยะ 0.50 เมตร และทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง

ผลการศึกษา

ค่าปรับแก้ (conversion factor)

ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์และค่านับวัดที่ได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอท ดังสมการ $y = 126531e^{-0.0151x}$ (รูปที่ 3) ซึ่งจะใช้สมการนี้ในการคำนวณค่า conversion factor ของพลังงานอื่นๆ ตัวอย่างเช่น ในการตรวจฟลูออโรสโคปีด้วยเทคนิค BE บันทึกค่าพลังงานเฉลี่ยได้เท่ากับ 75 keV เมื่อนำไปแทนค่า x ในสมการ จะได้ $y = 40689$ counts ซึ่งมาจากปริมาณเท่ากับ 10 mSv เมื่อคำนวณค่า conversion factor จะได้ 2.46×10^{-4} mSv/count สำหรับเทคนิคอื่นๆ จะใช้การคำนวณเช่นเดียวกัน (ตารางที่ 1)

ในการคำนวณปริมาณรังสี (dose) ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอท จะนำค่านับวัดที่อ่านได้จากหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (photomultiplier tube; PMT) ค่าความไว (sensitivity) ของแผ่นนาโนดอทแต่ละแผ่น และค่า conversion factor ของแต่ละการตรวจ แทนในสมการที่ 1

$$\text{dose} = \frac{\text{PMT counts} \times \text{conversion factor}}{\text{sensitivity}} \dots (1)$$

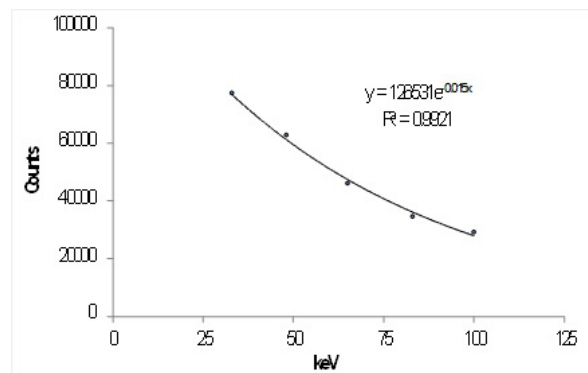
ปริมาณรังสีจากการตรวจด้วยเครื่องฟลูออโรสโคปี

ปริมาณรังสีสมมูลที่ผิวหนังที่ตำแหน่งอวัยวะต่างๆ จากการตรวจฟลูออโรสโคปี จากทั้ง 4 เทคนิค พบว่า บริเวณช่องท้องได้รับปริมาณเท่ากับ 17.22 mSv และ 18.13 mSv จากการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน (UGI) และการตรวจลำไส้ใหญ่ (BE)

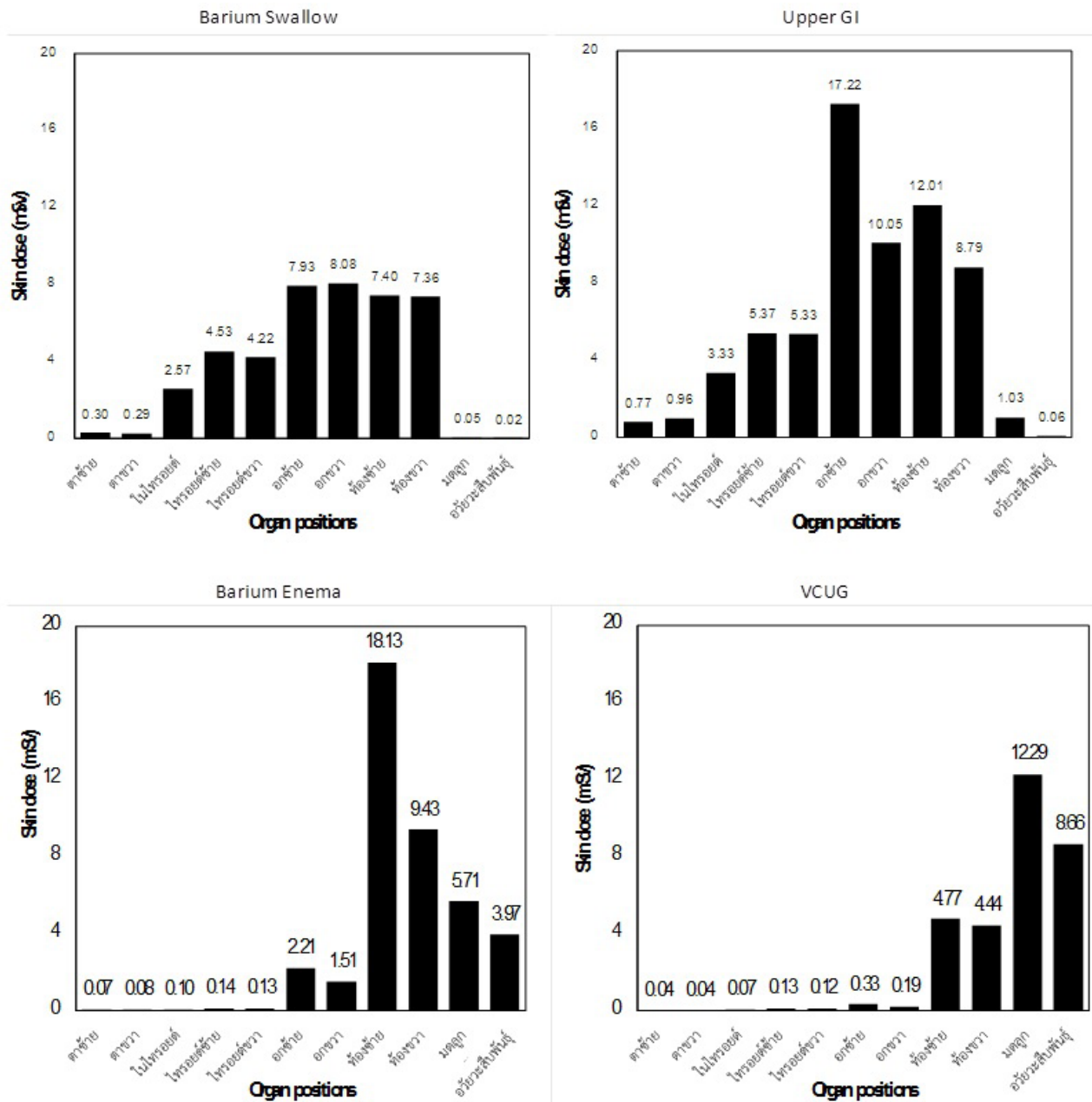
ตารางที่ 1 ค่าปรับแก้ (conversion factor) ของเทคนิคต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ

Exam	energy (keV)	PMT counts	conversion factor (mSv/count)
BS	66	46752	2.14×10^{-4}
UGI	72	42594	2.35×10^{-4}
BE	75	40689	2.46×10^{-4}
VCUG	82	36908	2.70×10^{-4}

ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ในลำรังสีหลัก สำหรับบริเวณคอในตำแหน่งของไทรอยด์ได้รับรังสีกระเจิงประมาณ 4 – 5 mSv จากการตรวจหลอดอาหาร (BS) และการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน (UGI) อยู่ใกล้กับบริเวณลำรังสีหลัก สำหรับการตรวจการตรวจลำไส้ใหญ่ (BE) และ การตรวจปัสสาวะไหลย้อนกลับ (VCUG) ตำแหน่งมดลูกและอวัยวะสืบพันธุ์อยู่ในบริเวณลำรังสีหลักได้รับปริมาณรังสีในช่วง 3.97 – 12.29 mSv สำหรับปริมาณรังสีสมมูลที่ตำแหน่งเลนส์ตาได้รับ จากการตรวจทั้ง 4 เทคนิค อยู่ในช่วง 0.04 – 0.96 mSv (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของรังสีเอกซ์และค่านับวัดที่ได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอท



รูปที่ 4 ปริมาณรังสีสะสมที่อวัยวะต่างๆ ได้รับจากการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปีทั้ง 4 เทคนิค ได้แก่ BS, UGI, BE และ VCUG

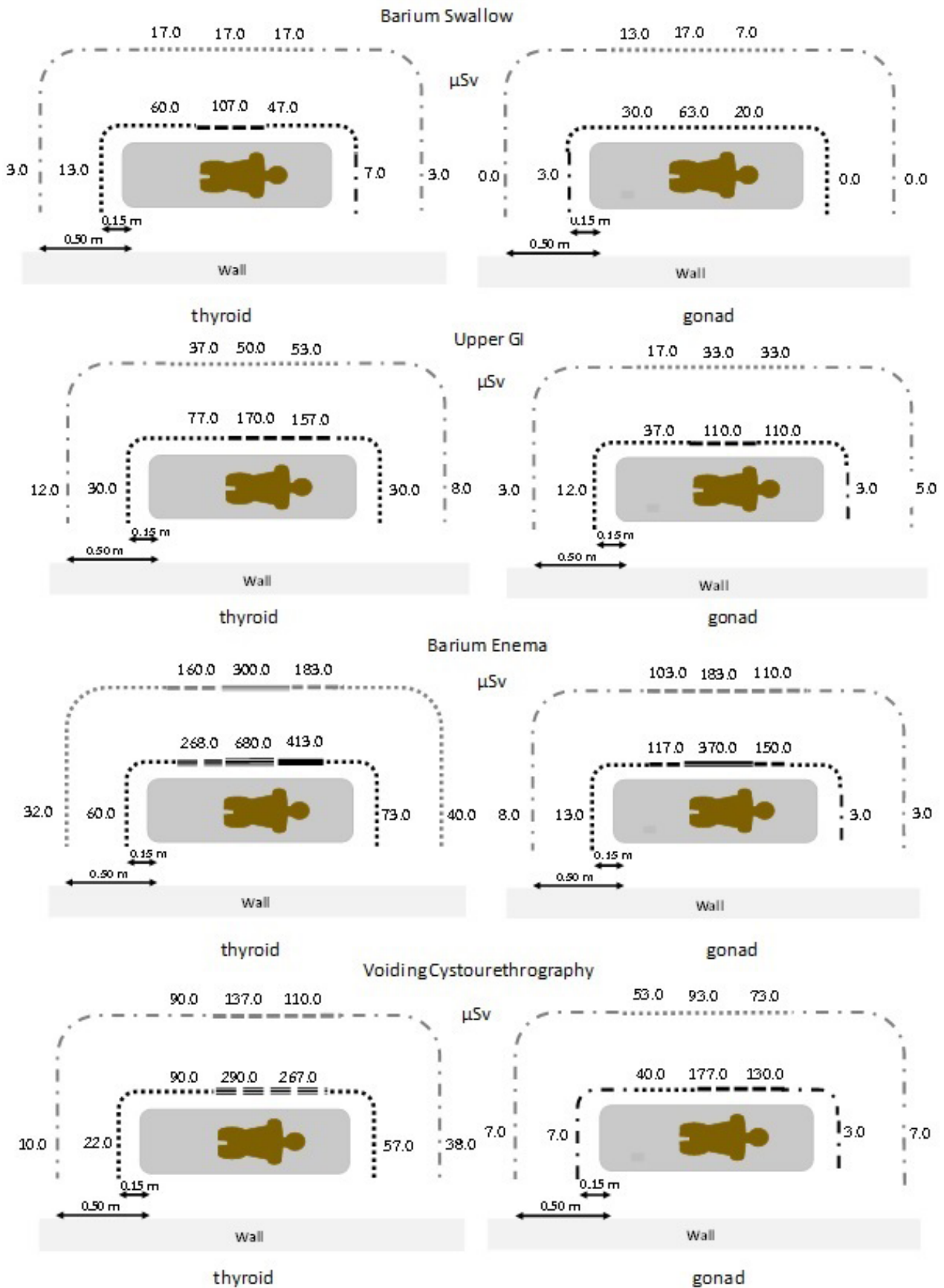
ปริมาณรังสีกระเจิงจากเครื่องฟลูออโรสโคปี

แนวโน้มของปริมาณรังสีกระเจิงจากการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี ทั้ง 4 เทคนิค ได้แก่ เทคนิค BS, UGI, BE, และ VCUG พบว่า การกระจายของปริมาณรังสีสูงสุดที่บริเวณกลางเตียงซึ่งอยู่ใกล้กับหลอดเอกซเรย์ ในขณะที่บริเวณหัวเตียงและปลายเตียงมีปริมาณรังสีกระเจิงต่ำ ที่ระดับความสูง 1.40 เมตรจากพื้น (แทนระดับความสูงของไทรอยด์) มีปริมาณรังสีกระเจิงสูงกว่าที่ระดับความสูง 0.90 เมตร (แทนระดับความสูงของอวัยวะสืบพันธุ์) และที่ระยะห่างจากเตียงเอกซเรย์ 0.15 เมตร มีปริมาณรังสีกระเจิงสูงกว่าที่ระยะห่าง 0.50 เมตร การตรวจฟลูออโรสโคปีด้วยเทคนิค BE มีปริมาณรังสีกระเจิงบริเวณกลางเตียงมากกว่าเทคนิค VCUG, UGI และ BS ตามลำดับ (รูปที่ 5) แนวโน้มของการกระจายรังสี พบว่า

ปริมาณรังสีกระเจิงบริเวณกลางเตียงมีค่าสูงกว่าด้านหัวเตียงและปลายเตียง และที่ความสูงระดับไทรอยด์มีปริมาณรังสีสูงกว่าที่ระดับอวัยวะสืบพันธุ์ (ตารางที่ 2)

วิจารณ์

อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอตสามารถนำมาใช้เพื่อวัดปริมาณรังสีที่มีปริมาณน้อยๆ ได้ตั้งแต่ 10 ไมโครเกรย์ (μGy) ถึงปริมาณรังสีสูงๆ 100 เกรย์ (Gy) ตอบสนองต่อพลังงานในช่วง 5 keV ถึง 20 MeV สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้¹⁷ มีขนาดเล็กและไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการรักษาหรือขั้นตอนการวินิจฉัย สามารถนำมาใช้วัดปริมาณรังสีกระเจิงจากการตรวจวินิจฉัยทางรังสีด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปีได้ อย่างไรก็ตาม เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีปล่อยรังสีเอกซ์พลังงานที่ไม่คงที่



รูปที่ 5 ปริมาณรังสีกระจาย (หน่วย μSv) ที่ระยะห่างจากเตียงเอกซเรย์ 0.15 เมตรและ 0.50 เมตร จากการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปีทั้ง 4 เทคนิค BS, UGI, BE และ VCUG ที่ระดับความสูงของไทรอยด์ (ซ้าย) และที่ระดับความสูงของอวัยวะสืบพันธุ์ (ขวา)

ตารางที่ 2 ปริมาณรังสีเอกซ์ที่กระเจิงรอบเตียงเอกซเรย์จากการตรวจวินิจฉัยด้วยเครื่องฟลูออโรสโคปี

Techniques	Organs	The scattered radiation dose from fluoroscopy (µSv)					
		Distance of 0.15 m			Distance of 0.50 m		
		head	middle	foot	head	middle	foot
BS	Thyroid	7.0	107.0	13.0	3.0	17.0	3.0
	Gonad	0.0	63.0	3.0	0.0	17.0	0.0
UGI	Thyroid	35.0	170.0	30.0	8.0	50.0	12.0
	Gonad	3.0	110.0	12.0	5.0	33.0	3.0
BE	Thyroid	73.0	680.0	60.0	40.0	300.0	32.0
	Gonad	3.0	370.0	13.0	3.0	183.0	8.0
VCUG	Thyroid	57.0	290.0	22.0	38.0	137.0	10.0
	Gonad	3.0	177.0	7.0	7.0	93.0	7.0

ตลอดการตรวจ และอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลได้รับการปรับเทียบด้วยรังสีเอกซ์ที่พลังงานเดียวกับจากบริษัทผู้ผลิต จำเป็นต้องหาค่าปรับแก้ที่ค่าพลังงานต่างๆ เพื่อคำนวณหาปริมาณรังสีที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้ ความจำเป็นในการใช้ค่าปรับแก้การตอบสนองต่อรังสีของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีอาจขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น ในการประเมินการได้รับรังสีของผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานจากการใช้รังสีร่วมรังสีรักษาหลอดเลือด ได้นำอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีนาโนดอทเพื่อบันทึกปริมาณรังสีโดยไม่ใช้การปรับแก้ค่าการตอบสนองต่อรังสี¹⁵ แต่ในการประเมินค่าปริมาณรังสีที่เลนส์ตาในผู้ป่วยเด็กที่เข้าการตรวจด้วยรังสีร่วมรังสีรักษาระบบหัวใจ จำเป็นต้องทดสอบการตอบสนองของอุปกรณ์ไอเอสแอลเพื่อหาค่าปรับแก้ ก่อนที่จะนำไปคำนวณปริมาณรังสีเพื่อให้ความแม่นยำมากขึ้น¹⁸ สำหรับการศึกษานี้ แม้ว่าค่าปรับแก้ที่คำนวณได้มีค่าน้อยมากถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 เนื่องจากมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อรังสีของอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลที่พลังงานต่างๆ จึงจำเป็นที่จะนำค่าปรับแก้ไปใช้ในการคำนวณปริมาณรังสีจากการตรวจด้วยเครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีเพื่อให้ความถูกต้องมากขึ้น

การวัดปริมาณรังสีสมมูลที่ผิวหนังที่ได้รับจากการตรวจด้วยเทคนิคฟลูออโรสโคปีโดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีไอเอสแอลชนิดนาโนดอทติดบนเนื้อเยื่อจำลองที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับอวัยวะที่สำคัญและไวต่อรังสี ได้แก่ ดวงตา ไทรอยด์ อวัยวะสืบพันธุ์ เพื่อวัดปริมาณรังสีที่อวัยวะดังกล่าวได้รับรังสีโดยตรง (primary beam) และปริมาณรังสีของอวัยวะที่อยู่นอกลำรังสีหรือรังสีกระเจิง (scattered beam) ที่มีปริมาณน้อยมาก ซึ่งอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีชนิดนาโนดอทสามารถตรวจวัดปริมาณรังสีต่ำๆ ได้ถึง 0.02 mSv ในการศึกษานี้ ปริมาณรังสีกระเจิงที่อวัยวะต่างๆ มีค่าไม่เกิน 1 mSv ต่อหนึ่งการตรวจ จากผลทางชีววิทยาของรังสีในลักษณะ deterministic effect หรือมีค่าปริมาณรังสีขีดเริ่ม (threshold level) ในช่วง 1-5 Sv ได้แก่ อาเจียน (threshold = 0.5 Sv) การเกิดผื่นแดง (threshold = 3 Sv) ไชกระดูกไม่สร้างเซลล์เม็ดเลือด (threshold = 1 Sv) การได้รับอาการบาดเจ็บของเลนส์ตา (threshold = 0.5 - 2

Sv) สำหรับผลของรังสีในลักษณะ stochastic effect หรือผลการได้รับรังสีและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับ DNA และไม่มีค่าปริมาณรังสีขีดเริ่ม ค่อนข้างทำได้ยาก เนื่องจากไม่ได้มีการติดตามผลการรักษาของผู้ป่วยว่ามีการเข้ารับการฉายรังสีทั้งหมดกี่ครั้งและต้องใช้เวลานานจึงไม่สามารถประเมินผลได้

ในการตรวจวินิจฉัยด้วยฟลูออโรสโคปีเทคนิคการตรวจความผิดปกติของลำไส้ใหญ่ (Barium enema; BE) การตรวจดูกระเพาะปัสสาวะและท่อทางเดินปัสสาวะ (Voiding cystourethrography; VCUG) การตรวจทางเดินอาหารตอนบน (Upper GI tract; UGI) และการตรวจหลอดอาหาร (Barium swallow; BS) ให้ค่าปริมาณรังสีกระเจิงสูงสุดที่บริเวณกลางเตียงเอกซเรย์เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ใกล้หลอดเอกซเรย์ ส่วนบริเวณหัวเตียงและปลายเตียงมีปริมาณรังสีต่ำเนื่องจากอยู่ห่างจากหลอดเอกซเรย์ เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Chiang และคณะ ในปี พ.ศ. 2558 ได้ทำการวัดปริมาณรังสีกระเจิงรอบหลอดเอกซเรย์ด้วยมุมต่างๆ ของเครื่องเอกซเรย์เคลื่อนที่และเครื่องเอกซเรย์แบบซีอาร์เอ็ม พบว่า บริเวณปลายเตียงเอกซเรย์เป็นตำแหน่งที่มีปริมาณรังสีต่ำสุด และที่บริเวณกลางเตียงมีปริมาณรังสีกระเจิงสูงสุด¹⁹ จากการศึกษาในยังพบว่า ที่ระดับความสูงของไทรอยด์มีปริมาณรังสีกระเจิงมากกว่าที่ระดับความสูงของอวัยวะสืบพันธุ์ และปริมาณรังสีกระเจิงมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างจากเตียงเอกซเรย์มากขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Lesyuk และคณะ ในปี พ.ศ. 2559 ที่ได้วัดปริมาณรังสีกระเจิงจากการใช้เครื่องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปีแบบซีอาร์เอ็มร่วมกับการผ่าตัด โดยวัดปริมาณรังสีกระเจิงที่ระดับความสูงต่างๆ เพื่อประเมินการได้รับรังสีของแพทย์ขณะปฏิบัติงาน และวัดปริมาณรังสีกระเจิงที่ระยะห่างต่างๆ จากหลอดเอกซเรย์ ผลที่ได้คืออวัยวะที่มีความสูงในระดับใกล้เคียงกับหลอดเอกซเรย์มีค่าปริมาณรังสีกระเจิงมากกว่าอวัยวะที่ห่างจากหลอดเอกซเรย์ บริเวณทรวงอกและไทรอยด์มีค่าปริมาณรังสีกระเจิงสูงกว่าอวัยวะอื่น²⁰ นอกจากนี้ ความคลาดเคลื่อนอาจเกิดจากรังสีเกิดการกระเจิงหรือสะท้อน เลี้ยวเบนตกกระทบกับวัตถุต่างๆ ภายในห้องตรวจซึ่งมีทั้ง โต๊ะ เสาน้ำเกลือ และอุปกรณ์ต่างๆ เข้าสู่อุปกรณ์วัดรังสี²¹

จากค่าปริมาณรังสีกระเจิงที่ระดับไทรอยด์ บริเวณหัวเตียง เอชเรย์ของเทคนิค BE ซึ่งมีค่า 73.0 μSv ต่อการตรวจ คิดเป็น ร้อยละ 0.1 ของขีดจำกัดการได้รับปริมาณรังสี (dose limit) ถ้ากำหนดให้ใน 1 ปี ทำงาน 50 สัปดาห์ๆ ละ 5 วัน และทำการ ฉายรังสีในห้องฟลูออโรสโคปีวันละ 5 ครั้ง ดังนั้นปริมาณรังสี กระเจิงบริเวณปลายเตียงเอกซเรย์ตลอด 1 ปี มีค่า 91.0 mSv เช่นเดียวกับเทคนิค VUCG มีปริมาณกระเจิง 71.0 mSv/y ซึ่งเป็นค่าที่เกินกว่าที่กฎหมายกำหนดไว้ สำหรับเทคนิค UGI และ BS มีปริมาณกระเจิง 44.0 mSv/y และ 9.0 mSv/y ซึ่งไม่เกิน ขีดจำกัดที่กฎหมายกำหนด ในกรณีที่ญาติผู้ป่วยหรือเจ้าหน้าที่ ทางการแพทย์จำเป็นต้องเข้าไปช่วยเหลือผู้ป่วยในขณะที่ตรวจ วินิจฉัยทางรังสีในห้องเอกซเรย์ฟลูออโรสโคปี ควรยืนใน ตำแหน่งที่มีปริมาณรังสีกระเจิงต่ำ ได้แก่ บริเวณหัวเตียงและ ปลายเตียงเอกซเรย์ การใช้หลักการป้องกันอันตรายจากรังสี โดย ใช้ระยะเวลาที่สั้น ยืนให้ห่างจากเตียงเอกซเรย์ในตำแหน่ง ปริมาณรังสีต่ำ และสวมอุปกรณ์ป้องกัน เช่น เสื้อตะกั่ว อุปกรณ์ กำบังไทรอยด์ จะช่วยลดปริมาณการได้รับรังสีและป้องกัน อันตรายจากรังสีได้

สรุป

การตรวจวัดปริมาณรังสีสมมูลที่ผิวหนังที่ตำแหน่งอวัยวะ ที่ไวต่อรังสี เช่น เลนส์ตาและไทรอยด์ โดยใช้อุปกรณ์วัดปริมาณ รังสีไอเอสแอลชนิดนาโนคอปช่วยให้อุปกรณ์วัดปริมาณ รังสีและป้องกันการได้รับรังสีของทั้งผู้ป่วยและผู้ปฏิบัติงานได้ แม้ว่าปริมาณรังสีที่ได้จากการตรวจมีปริมาณเล็กน้อย แต่หาก มีการตรวจทางรังสีซ้ำหลายๆ ครั้ง อาจส่งผลอันตรายจากรังสี ในระยะยาวจำเป็นต้องเฝ้าระวังโดยการวัดค่าปริมาณรังสี รวม ถึงการใช้อุปกรณ์ป้องกันการได้รับรังสี เช่น ในบริเวณอวัยวะ สืบพันธุ์ควรมีการใช้อุปกรณ์ป้องกันรังสี (gonad shield) เพื่อ ลดระดับปริมาณรังสี การสวมอุปกรณ์ป้องกันรังสีบริเวณ ไทรอยด์ (thyroid shield) ทั้งผู้ปฏิบัติและในผู้ป่วยที่ไม่ได้ตรวจ บริเวณไทรอยด์เพื่อลดปริมาณรังสีสะสม

เอกสารอ้างอิง

1. Rehani MM. Radiation-induced cataracts in staff engaged in interventional procedures. *Physica Medica* 2016; 32: 190.
2. Mahesh M. Fluoroscopy: patient radiation exposure issues. *Radiographics* 2001; 21: 1033-45.
3. Donadille L, Carinou E, Brodecki M, Domienik J, Jankowski J, Koukorava C, et al. Staff eye lens and extremity exposure in interventional cardiology: Results of the ORAMED project. *Radiat Meas* 2011; 46: 1203-09.
4. Khoury HJ, Garzon WJ, Andrade G, Lunelli N, Kramer R, de Barros VSM, et al. Radiation exposure to patients and medical staff in hepatic chemoembolisation interventional procedures in Recife, Brazil. *Radiat Prot Dosimetry* 2015; 165: 263-7.

5. Abbott A. Researchers pin down risks of low-dose radiation. *Nature* 2015; 523: 17-8.
6. Shamoun DY. Linear No-Threshold model and standards for protection against radiation. *Regul Toxicol Pharm* 2016; 77: 49-53.
7. Takegami K, Hayashi H, Nakagawa K, Okino H, Okazaki T, Kobayashi I, et al. Measurement method of an exposed dose using the nano Dot dosimeter. *European Congress of Radiology*; 4-8 March 2015; Austria Center Vienna, Vienna, Austria 2015.
8. Okazaki T, Hayashi H, Takegami K, Okino H, Nakagawa K. Evaluation of the angular dependence of the nanoDot OSL dosimeter toward direct measurement of the entrance skin dose. *European Congress of Radiology*; 4-8 March 2015; Austria Center Vienna, Vienna, Austria; 2015.
9. Kawaguchi A, Matsunaga Y, Suzuki S, Chida K. Energy dependence and angular dependence of an optically stimulated luminescence dosimeter in the mammography energy range. *J Appl Clin Med Phys* 2017; 18: 191-6.
10. Al Najjar A, Colosi D, Dauer LT, Prins R, Patchell G, Branets I, et al. Comparison of adult and child radiation equivalent doses from 2 dental cone-beam computed tomography units. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2013; 143: 784-92.
11. Akyalcin S, English JD, Abramovitch KM, Rong XJ. Measurement of skin dose from cone-beam computed tomography imaging. *Head Face Med* 2013; 9: 9-28.
12. Yusof FH, Ung NM, Wong JHD, Jong WL, Ath V, Phua VCE, et al. On the Use of Optically Stimulated Luminescent Dosimeter for Surface Dose Measurement during Radiotherapy. *PLoS One* 2015; 10: e0128544.
13. Ding GX, Malcolm AW. An optically stimulated luminescence dosimeter for measuring patient exposure from imaging guidance procedures. *Phys Med Biol* 2013; 58: 5885-97.
14. Chaudhry R, Fox PJ, Dangle P, Abdalla W, Bradley H, Duranko M, et al. MP61-10 use of single point dosimeter to evaluate radiation dose with fluoroscopic voiding cystourethrogram in pediatric patients: A prospective pilot study. *J Urol* 2017; 197: e802-3.
15. Elona IA, Morales AA. Assessment of patient dose in selected non-cardiac interventional fluoroscopy procedures using osl dosimeters. In: Jaffray DA, editor. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*; 7-12 June 2015; Toronto, Canada: Springer International Publishing; 2015: 783-6.
16. Gonzales CAB, Morales AA. Assessment of patient and staff doses in interventional cerebral angiography using OSL. In: Jaffray DA, editor. *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*; 7-12 June 2015; Toronto, Canada: Springer International Publishing; 2015: 778-82.

17. LANDAUER. nanoDot™ Dosimeter: Patient monitoring solutions 2017 [cited 2018 February 9]. Available from: https://www.landauer.com/sites/default/files/product-specification-file/nanoDot_0.pdf.
18. Alejo L, Koren C, Ferrer C, Corredoira E, Serrada A. Estimation of eye lens doses received by pediatric interventional cardiologists. *Appl Radiat Isot* 2015; 103: 43-7.
19. Chiang HW, Liu YL, Chen TR, Chen CL, Chiang HJ, Chao SY. Scattered radiation doses absorbed by technicians at different distances from X-ray exposure: Experiments on prosthesis. *Biomed Mater Eng* 2015; 26 (Suppl 1): S1641-50.
20. Lesyuk O, Sousa PE, Rodrigues SI, Abrantes AF, de Almeida RP, Pinheiro JP, et al. Study of scattered radiation during fluoroscopy in hip surgery. *Radiol Bras* 2016; 49: 234-40.
21. Singer G. Occupational radiation exposure to the surgeon. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 2005; 13: 69-76.

SMJ