

การศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนระหว่างแหล่งกำเนิดรังสีจากเครื่องเอกซเรย์
คอมพิวเตอร์กับเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนังของมนุษย์
THE INTERACTION STUDY BETWEEN RADIATIONS FROM
COMPUTERIZED TOMOGRAPHY WITH BRAIN,
CRANIUM AND SKIN OF HUMAN

กิตติศักดิ์ ศรีวงศ์ษา^{1,2,*} ธนบูรณ์ ริมดุสิต² ปารมี เลิศลิ้มปิยะรัตน์³ อภิขญา คิณชววัฒน์³
และพันธศักดิ์ กล้ากลุ่มจิตร³
Kittisak Sriwongsa^{1,2,*}, Tanaboon Rimdusit², Paramee Lertlompiyarat³,
Apichaya Kiinchohawat³ and Punsak Klumklomchit³

บทคัดย่อ

งานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอันตรกิริยาลดทอนสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนาแน่นครีงค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย โดยมุ่งไปที่การดูดกลืน และการกระเจิงของรังสีของระบบสมอง การศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนที่พลังงาน 1 ถึง 10,000 keV ทำโดยการใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ WinXCOM เพื่อศึกษาอันตรกิริยาลดทอน ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนาแน่นครีงค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนักรังสีเทคนิคนำไปวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องมือถ่ายภาพทางการแพทย์ (เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์) จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนาแน่นครีงค่าและค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ยของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV พบว่ารังสีสามารถผ่านเนื้อเยื่อสมอง ได้ดีกว่า ผิวหนัง และกะโหลก ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอวัยวะทั้ง 3 ส่วนนั้นมีผลต่อ

¹คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

¹Faculty of Education, Silpakorn University, Muang District, Nakhon Pathom Province 73000

²โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศิลปากร อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

²The demonstration school of Silpakorn University, Muang District, Nakhon Pathom Province 73000

³โรงเรียนหัวหินวิทยาลัย อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ 77110

³Huahin Vitthayalai School, Hua Hin District, Prachuap Khiri Khan Province 77110

*corresponding author e-mail: Sriwongsa_k@silpakorn.edu

Received: 11 October 2020; Revised: 28 January 2021; Accepted: 30 January 2021

การดูดกลืนรังสีจากการฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของระบบสมอง เมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ความสามารถในการดูดกลืนรังสีของอวัยวะทั้ง 3 ส่วนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพ และความแม่นยำในการนับวัดผลที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

คำสำคัญ: ระบบสมอง อันตรกิริยาลดลง สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล

Abstract

This work aims to study partial interaction, mass attenuation coefficient, effective atomic number, half value layer and mean free path by focus the absorption and scattering radiation of nervous system. The study of photon interaction at energies 1–10,000 keV by the WinXCOM software program for studying partial interaction, mass attenuation coefficient, effective atomic number, half value layer and mean free path. These data are important parameters for radiologists to analysis and apply for using with computerized tomography. The relationship of mass attenuation coefficient, effective atomic number, half value layer and mean free path of brain, cranium and skin in photon energies ranging 1–10,000 keV found that photon radiation passes through more than skin and cranium, respectively. The results indicated that all three of the organs effectively absorb radiation from nervous system computerized tomography. When analyzed with computed tomography, the absorption of all three of the organs will affect the efficiency and accuracy in measuring the results from computed tomography.

Keywords: Nervous system, Interaction, Mass attenuation coefficient

บทนำ

ปัจจุบันรังสีในช่วงพลังงานโฟตอนที่แตกต่างกันมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการแพทย์ เทคโนโลยีนิวเคลียร์ และอุตสาหกรรม ตรงกันข้ามการสัมผัสรังสีโดยตรง และรังสีที่ถูกกระเจิงออกมา อาจเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อ และอวัยวะต่าง ๆ ของมนุษย์ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญในการศึกษาคุณสมบัติการป้องกันรังสี และวัสดุใหม่เพื่อใช้ในการกำบังรังสี เราสามารถลดความเสี่ยงที่ทำให้เกิดอันตรายต่อรังสีได้ใน 3 วิธีการหลัก คือ ระยะเวลา ระยะทาง และการกำบังรังสี (Tekin & Manici, 2017) หลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวกับการดูดกลืนรังสี และการกระเจิงของรังสีถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านภาพถ่ายทางการแพทย์เพื่อใช้วินิจฉัยโรค โดยส่วนมากจะนิยมเลือกใช้รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ เมื่อรังสีจากแหล่งกำเนิดผ่านเข้าไปในร่างกายจะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างรังสีกับอวัยวะต่าง ๆ

ภายในร่างกายขึ้น โอกาสในการเกิดอันตรายกิริยาต่าง ๆ จะขึ้นกับพลังงานโฟตอนจากแหล่งกำเนิดรังสี จากนั้นจะถูกนับวัดโดยเครื่องนับวัดต่าง ๆ เมื่อมีการปลดปล่อยรังสีออกมา เครื่องมือที่ใช้ เช่น เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (Computerized Tomography: CT) โดยฉายลำแสงเอกซ์ผ่านอวัยวะที่ต้องการตรวจในแนวตัดขวาง และให้คอมพิวเตอร์สร้างภาพ เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์นำมาใช้ในการตรวจวินิจฉัยโรค ใน 4 ระบบของร่างกาย ได้แก่ 1) ระบบสมอง 2) ระบบช่องท้องและทรวงอก 3) ระบบกระดูก กล้ามเนื้อ ข้อต่อและกระดูกสันหลัง และ 4) ระบบหลอดเลือด (Paul et al., 2011) เครื่องมือนี้นำมาใช้ในโรงพยาบาล หลาย ๆ แห่งในประเทศไทย โดยนักรังสีเทคนิคเพื่อใช้ประกอบในการวินิจฉัยโรคต่าง ๆ ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อ ประสิทธิภาพของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ คือ สัมประสิทธิ์การลดทอนของโฟตอนของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย (Tekin & Manici, 2017) เนื่องจากจะส่งผลโดยตรงต่อรังสีที่ปลดปล่อยออกมาเมื่อผ่านร่างกาย Yoriyaz & Stabin (2001) ได้พัฒนาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ศึกษาการใช้รังสีรักษา โดยคำนวณ ปริมาณของแหล่งกำเนิดรังสีที่ได้สในรูป 3 มิติ Salvado et al. (2005) ได้พัฒนาและเปรียบเทียบความ แม่นยำในการนับวัดวิธีการคำนวณปริมาณรังสีระหว่าง เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) กับการตรวจสอบ โดยใช้แบบจำลองด้วยการวิเคราะห์โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Monte Carlo simulation method) Peixoto et al., (2008) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองโทโมกราฟีของหนูเพศเมียโดยใช้ภาพเครื่องเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์ (CT) เพื่อใช้ในการศึกษาการส่งผ่านรังสี Morato et al. (2020) ได้พัฒนาโปรแกรม คอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการแบบอัตโนมัติเพื่อคำนวณปริมาณรังสีที่ได้รับจากผู้ป่วยที่สัมผัสกับรังสีในระหว่าง การสแกน จากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ Tekin et al., (2017) ได้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิง มวลของอวัยวะร่างกายมนุษย์โดยใช้ MCNPX รหัส Monte Carlo และเปรียบเทียบผลลัพธ์กับข้อมูลของ XCom, FLUKA, GEANT4 และ NIST โดยโปรแกรมต่าง ๆ เหล่านี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานทางการแพทย์ ดังรายงานการวิจัยอื่น ๆ เช่น (Günay et al., 2019, Yahsi & Orhan, 2019, Ozan et al., 2018)

ดังนั้นในการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนโฟตอนจากอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกายจึงมี ความสำคัญอย่างยิ่ง เพื่อนำมาประกอบกับการใช้เครื่องมือให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยสัมประสิทธิ์การ ลดทอนโฟตอนจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับโอกาสในการเกิดอันตรายระหว่างรังสีที่ผ่านเข้าไปใน ร่างกายกับอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย อันตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดรังสีที่ใช้ในภาพถ่าย ทางการแพทย์ คือ อันตรกิริยาการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก อันตรกิริยาโคฮีเรนซ์ และอันตรกิริยาอินโคฮีเรนซ์ เรียกรวมกันว่าอันตรกิริยาอ้อย เลขอะตอมยังผล ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังผล ค่าความหนาครั้งค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ซึ่งเป็นปริมาณพื้นฐานที่สัมพันธ์กับโอกาสในการเกิดอันตรายกิริยาต่าง ๆ ปริมาณต่าง ๆ เหล่านี้อธิบายไว้ในงานวิจัยอื่น ๆ (Limkitjaroenporn et al., 2012, Önder et al., 2012, Bonnin et al., 2014, Akman et al., 2015, Lama et al., 2015, Kumar, 2016, Issa, 2016, Chaiphaksa et al., 2016)

ในการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล อันตรกิริยาย่อยเลอะต่อมยังผล ค่าความหนาแน่นค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ของระบบสมอง ซึ่งเมื่อฉายรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสี รังสีจะต้องผ่านผิวหนัง กะโหลก และเนื้อเยื่อสมอง ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมุ่งศึกษาการดูดกลืน และการกระเจิงรังสีของอวัยวะและเนื้อเยื่อที่กล่าวมาข้างต้น ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV โดยใช้โปรแกรม WinXCom เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับนักรังสีเทคนิคนำไปวิเคราะห์เพื่อประยุกต์ใช้กับเครื่องมือภาพถ่ายทางการแพทย์ (เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์) เพื่อให้แพทย์วินิจฉัยโรคด้านระบบสมอง ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาอันตรกิริยาโฟตอนของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง โดยการจำลองอันตรกิริยาระหว่างพลังงานโฟตอนกับเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ที่ระดับพลังงานแตกต่างกันของพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล อันตรกิริยาย่อยเลอะต่อมยังผล ค่าความหนาแน่นค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย จากโปรแกรม WinXCom องค์ประกอบของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง แสดงดังตารางที่ 1 (Table 1)

Table 1 Chemical composition and density of brain (adult), cranium and skin (adult) in %mol (Duck, 2013).

Chemical composition	Brain (adult)	Cranium	Skin (adult)
H	10.7	5.0	10.0
C	14.5	21.2	20.4
N	2.2	4.0	4.2
O	71.2	43.5	64.5
Na	0.2	0.1	0.2
Mg	-	0.2	-
P	0.4	8.1	0.1
S	0.2	0.3	0.2
Cl	0.3	-	0.3
K	0.3	-	0.1
Ca	-	17.6	-
Density (g/cm ³)	1.04	1.61	1.09

การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ด้านรังสีได้แก่ การหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient; μ_m) สามารถคำนวณได้โดยการใช้โปรแกรม WinXCom ซึ่งจะบอกถึงอัตราการเกิดอันตรกิริยาของโฟตอนต่อสารประกอบทั้งแบบอันตรกิริยารวมและอันตรกิริยาย่อยของ

แต่ละธาตุและสามารถคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลได้ตาม “กฎการผสม (Mixture rule)” จากสมการที่ (1) (Singh et al., 2002)

$$\mu_m = \sum_i w_i (\mu_m)_i \quad (1)$$

เมื่อ w_i แทนสัดส่วนโดยน้ำหนักของแต่ละธาตุ

$(\mu_m)_i$ แทนสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของแต่ละธาตุ

ตัวอย่างโปรแกรม WinXCom แสดงดังภาพที่ 1 (Figure 1) ค่า $(\mu_m)_i$ สามารถนำไปหาภาคตัดขวางเชิงอะตอม (atom cross – section; σ_a) และภาคตัดขวางเชิงอิเล็กตรอน (electron cross – section; σ_e) ได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$\sigma_a = \frac{1}{N_A} \sum f_i A_i (\mu_m)_i \quad (2)$$

$$\sigma_e = \frac{1}{N_A} \sum \frac{f_i A_i}{Z_i} (\mu_m)_i \quad (3)$$

เมื่อ N_A แทนเลขอาโวกาโดร

f_i แทนสัดส่วนจำนวนอะตอม

A_i แทนมวลอะตอมของแต่ละธาตุ

Z_i แทนเลขอะตอมของแต่ละธาตุ

การหาค่าเลขอะตอมยังผล (Effective atomic number; Z_{eff}) สามารถหาได้จากสมการ (4)

$$Z_{eff} = \frac{\sigma_a}{\sigma_e} \quad (4)$$

ค่าความหนาครึ่งค่า (Half value layer; HVL) คือ ความหนาของวัสดุที่ลดพลังงานโฟตอนลง 50% และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย (Mean free path; MFP) จะเปลี่ยนตามระยะทางเชิงเส้นและเป็นระยะทางเฉลี่ยที่อนุภาคหนึ่งผ่านตัวอย่างวัสดุก่อนที่จะเกิดอันตรกิริยากับวัสดุซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (5) และ (6)

$$HVL = \frac{0.693}{\mu} \quad (5)$$

$$MFP = \frac{1}{\mu} \quad (6)$$



Figure 1 WinXCom software program (Gerward, 2004)

ผลการวิจัย

สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลแบบแอนตรกิริยารวมและแอนตรกิริยาย่อยของ เนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ WinXCom ดังแสดงในภาพที่ 2 (Figure 2) พบว่า แอนตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นเมื่อฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ เข้าไปภายในระบบสมอง แหล่งกำเนิดรังสีนั้นจะทำแอนตรกิริยากับเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และ ผิวหนัง โดยแอนตรกิริยาหลักที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับพลังงาน โดยการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก มีโอกาสจะเกิดขึ้นในช่วงพลังงานโฟตอนต่ำกว่า 10 keV การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ (การกระเจิงคอมบัตัน) มีโอกาสที่จะเกิดในช่วงพลังงานโฟตอน 10 ถึง 1,000 keV และการผลิตคู่ มีโอกาสที่จะเกิดที่พลังงานโฟตอน 1,000 keV เป็นต้นไป ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล สำหรับการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ การกระเจิงแบบอินโคฮีเรนต์ และการดูดกลืนโฟโตอิเล็กทริก จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อระดับพลังงานโฟตอนเพิ่มมากขึ้น แต่กรณีของค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับการผลิตคู่แบบนิวเคลียร์ และแบบอิเล็กตรอน พบว่า ทั้งสองแบบมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลเพิ่มขึ้นเมื่อพลังงานโฟตอนเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 2 (Figure 2)

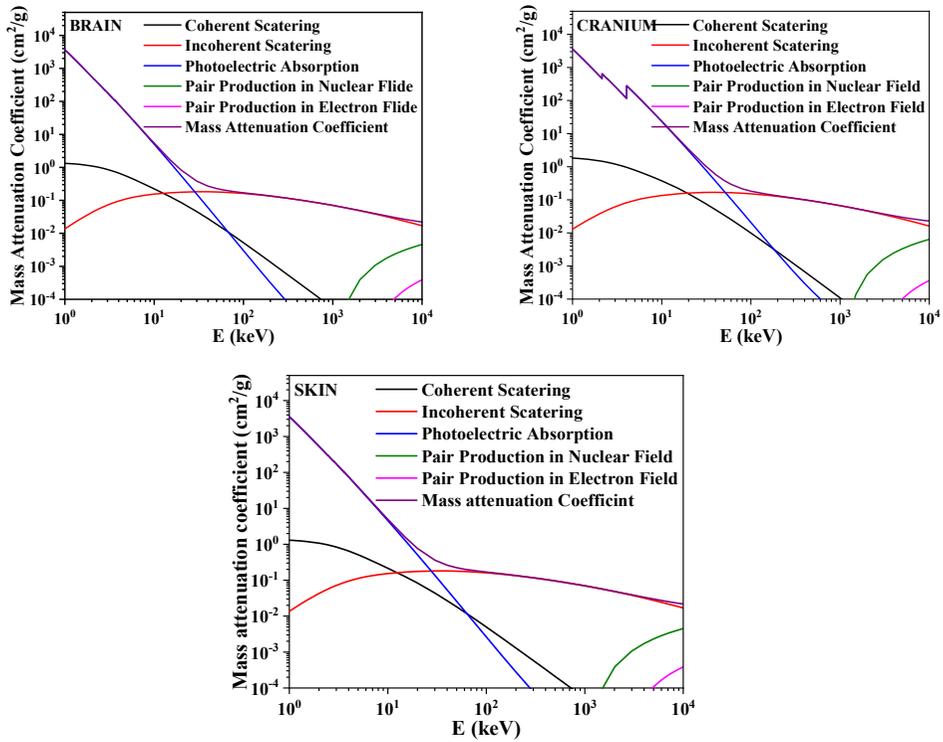


Figure 2 Mass attenuation coefficients for combined and partial interactions of brain, cranial and skin in the photon energy range of 1 to 10,000 keV.

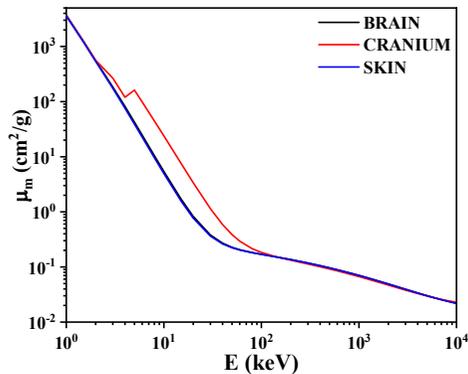


Figure 3 Mass attenuation coefficients for combined interactions of brain, cranial and skin in the photon energy range of 1 to 10,000 keV.

ภาพที่ 3 (Figure 3) แสดงค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลสำหรับอันตรกิริยารวมของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV เมื่อฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ พบว่า ลักษณะของกราฟจะมีแนวโน้มลดลงตามพลังงานโฟตอนที่เพิ่มมากขึ้น โดยในช่วง

พลังงานโฟตอน 1 ถึง 100 keV กะโหลกมีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลมากกว่า เนื้อเยื่อสมอง และผิวหนัง แต่ในช่วงพลังงานตั้งแต่ 100 ถึง 10,000 keV ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของ อวัยวะและเนื้อเยื่อทั้ง 3 มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่ารังสีที่ปล่อยออกมาจากเครื่อง ฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของระบบสมอง จะถูกดูดกลืนรังสีได้ดีในช่วงพลังงาน 1 ถึง 100 keV และจะลดลงเมื่อพลังงานเพิ่มมากขึ้น ผลที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากอิทธิพลหลักในช่วงการดูดกลืนของ โฟโตอิเล็กทริก แสดงให้เห็นว่าที่ช่วงพลังงานต่ำกว่า 100 keV จะมีการดูดกลืนรังสีของระบบสมองดี มาก ซึ่งจะส่งผลให้การนับวัดจากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) มีประสิทธิภาพลดลง และในส่วน ของกราฟเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง นั้นไม่ต่อเนื่องซึ่งเกิดอยู่ในช่วงค่าขอบเขตการดูดกลืนรังสี ชั้นที่ K (K Absorption edge) ของธาตุ Na, Mg, P, S, Cl, K และ Ca ที่พลังงาน 1.072×10^{-3} , 1.305×10^{-3} , 2.145×10^{-3} , 2.472×10^{-3} , 2.822×10^{-3} , K 3.607×10^{-3} และ 4.038×10^{-3} MeV ตามลำดับ และรังสีผ่านเนื้อเยื่อสมองได้ดีกว่าผิวหนังและกะโหลก เนื่องจากเนื้อเยื่อสมองมีความหนาแน่นที่ต่ำที่สุด

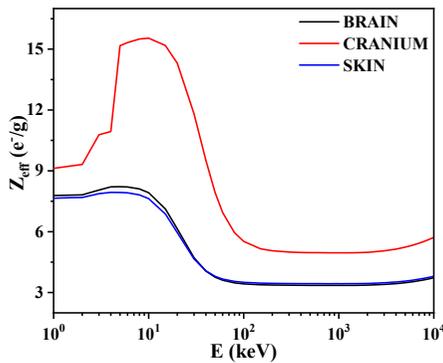


Figure 4 Effective atomic number of brain, cranial and skin in the photon energy range of 1 to 10,000 keV.

ภาพที่ 4 (Figure 4) แสดงเลขอะตอมยังผลของ เนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วง พลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV เมื่อฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ พบว่า เนื้อเยื่อสมอง และผิวหนัง มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเลขอะตอมยังผลกับพลังงานโฟตอนที่ใกล้เคียงกัน แต่ทั้งสองมีค่าเลข อะตอมยังผลน้อยกว่ากะโหลก โดยค่าเลขอะตอมยังผลเพิ่มขึ้นในช่วงการดูดกลืนของโฟโตอิเล็กทริก เนื่องจากเลขอะตอมยังผลส่งผลต่อโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาโฟโตอิเล็กทริก ทำให้ที่ช่วงพลังงาน โฟตอน 1 ถึง 100 keV อวัยวะและเนื้อเยื่อทั้ง 3 มีค่าเลขอะตอมยังผลสูง และพบจุดสูงสุดของค่าเลข อะตอมยังผลที่พลังงานโฟตอน 10 keV และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว จนถึง 70 keV ซึ่งเป็นช่วง อันตรกิริยาการกระเจิงแบบอินโคฮีเรนท์ (การกระเจิงคอมบัตัน) หลังจากนั้นค่าเลขอะตอมยังผล เริ่มคงที่ จากช่วงระดับพลังงานโฟตอนมากกว่า 70 keV เป็นต้นไป ผลที่ได้สอดคล้องกับภาพที่ 2-3 (Figure 2-3)

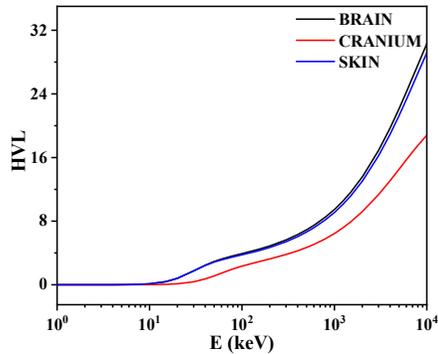


Figure 5 Half value layer of brain, cranial and skin in the photon energy range of 1 to 10,000 keV.

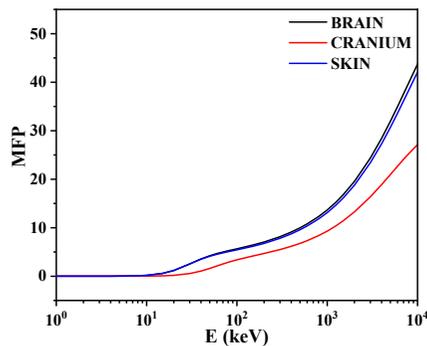


Figure 6 Mean free path of brain, cranial and skin in the photon energy range of 1 to 10,000 keV.

ภาพที่ 5-6 (Figure 5-6) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาครึ่งค่าและค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV พบว่ารังสีสามารถผ่านเนื้อเยื่อสมอง ได้ดีกว่า ผิวหนัง และกะโหลก ตามลำดับ โดยภาพที่ 4 (Figure 4) ยังแสดงให้เห็นว่าความหนาของอวัยวะทั้ง 3 ส่งผลต่อการดูดกลืนรังสีจากการฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของระบบสมอง เพราะถ้าความหนาเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อพลังงานจากแหล่งกำเนิดรังสี ดังนั้นผลที่ได้จากภาพที่ 4 (Figure 4) สามารถนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการนับวัดจากเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนับวัดให้แม่นยำมากยิ่งขึ้น

อภิปรายผล

จากการศึกษาอันตรกิริยาลดลง ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนาครึ่งค่า และค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงาน โฟตอน 1 ถึง 10,000 keV พบว่า รังสีสามารถผ่านเนื้อเยื่อสมองได้ดีกว่า ผิวหนัง และกะโหลก ตามลำดับ

นั้นแสดงให้เห็นว่า การวัดปริมาณรังสีที่ผ่านเนื้อเยื่อสมองเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ จะให้ความแม่นยำมากที่สุดที่พลังงานโฟตอนเดียวกัน

สรุปผลการวิจัย

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล เลขอะตอมยังผล ค่าความหนา ครึ่งค่าและค่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย ของเนื้อเยื่อสมอง กะโหลก และผิวหนัง ในช่วงพลังงานโฟตอน 1 ถึง 10,000 keV พบว่ารังสีสามารถผ่านเนื้อเยื่อสมอง ได้ดีกว่า ผิวหนัง และกะโหลก ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอวัยวะทั้ง 3 ส่วนนั้นมีผลต่อการดูดกลืนรังสีจากการฉายเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของระบบ สมอง และเมื่อนำไปวิเคราะห์ร่วมกับเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ความสามารถในการดูดกลืนรังสีของ อวัยวะทั้ง 3 ส่วนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพความแม่นยำในการนับวัดผลที่ได้จากเครื่องเอกซเรย์ คอมพิวเตอร์

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม ที่อำนวยความสะดวก เกี่ยวกับโปรแกรมซอฟต์แวร์ WinXCom ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์แบบจำลอง และวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- Akman F, Durak R, Turhan MF. et al. Studies on effective atomic numbers, electron densities from mass attenuation coefficients near the K edge in some samarium compounds. *Applied Radiation and Isotopes* 2015;101:107-113.
- Bonnin A, Duvauchelle P, Kaftandjian V. et al. Concept of effective atomic number and effective mass density in dual-energy X-ray computed tomography. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2014;318:223-231.
- Chaiphaksa W, Limkitjaroenporn P, Kim HJ. et al. The mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron densities for GAGG:Ce and CaMoO₄ scintillators. *Progress in Nuclear Energy* 2016;92:48-53.
- Duck FA. *Physical Properties of Tissues: A Comprehensive Reference Book*. United Kingdom: Academic Pres; 2013.
- Gerward L, Guilbert N, Jensen KB, Levring H. WinXCom-a Program for Calculating X-Ray Attenuation Coefficients. *Radiation Physics and Chemistry* 2004;71:653-654.
- Günay O, Gündođdu Ö, Demir M. et al. Determination of the Radiation Dose Level in Different Slice Computerized Tomography, *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 2019;5(3):119-123.

- Günay O, Sarihan M, Abamor E. et al. Environmental Radiation Doses from Patients Undergoing Tc-99m DMSA Cortical Renal Scintigraphy. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 2019;5(3):86-93.
- Issa SAM. Effective atomic number and mass attenuation coefficient of PbO-BaO-B₂O₃ glass system. *Radiation Physics and Chemistry* 2016;120:33-37.
- Kumar A. Studies on effective atomic numbers and electron densities of nucleobases in DNA. *Radiation Physics and Chemistry* 2016;127:48-55.
- Lama LSD, Soares LDH, Antoniassi M. et al. Effective atomic numbers for materials of medical interest at low photon energy using the Rayleigh to Compton scattering ratio. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A* 2015;784:597-601.
- Limkitjaroenporn P, Kaewkhaoa J, Chewpraditkul W. et al. Mass Attenuation Coefficient and Effective Atomic Number of Ag/Cu/Zn Alloy at Different Photon Energy by Compton Scattering Technique. *Procedia Engineering* 2012;32:847-854.
- Morato S, Garcia C, Juste B. et al. MCNPX Simulation for Radiation Dose Absorption of Anatomical Regions and Some Organs, *Acta Physica Polonica A*. 2020; 137: 561-565.
- Önder P, Tursucu A, Demir D. et al. Studies on mass attenuation coefficient, effective atomic number and electron density of some thermo luminescent dosimetric compounds. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2012;92:1-10.
- Ozan TH, Cavli B, Ebru AE. et al. An Investigation on Radiation Protection and Shielding Properties of 16 Slice Computed Tomography (CT) Facilities. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 2018;4(2):37-40.
- Paul EC, Kristen M, Waterstram R. *Nuclear Medicine and PET/CT Technology and Techniques*. 7th. St Louis, United States: MOSBY; 2011.
- Peixoto PHR, Vieira JW, Yoriyaz H. et al. Photon and electron absorbed fractions calculated from a new tomographic rat model, *Physics in Medicine & Biology* 2008;53(19):5343-5355.
- Salvado M, Lopez M, Morant JJ. et al. Monte Carlo calculation of radiation dose in CT examinations using phantom and patient tomographic models, *Radiation Protection Dosimetry* 2005;114:364-368.
- Singh K, Singh H, Sharma V. et al. Gamma-ray attenuation coefficient in bismuth borate glass, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 2002;194(1):1-6.
- Tekin HO, Manici T. Simulations of mass attenuation coefficients for shielding materials using the MCNP-X code. *Nuclear Science and Techniques* 2017;28(95):1-4.
- Tekin HO, Singh VP, Altunsoy EE. et al. Mass Attenuation Coefficients of Human Body Organs using MCNPX Monte Carlo Code, *Iranian Journal of Medical Physics* 2017;14(4):229-240.
- Yahsi ÇY, Orhan KH. Investigation from Different Calculation Solutions In Vertebra Plans And The Reliability Of Different Dose Rate Dose. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 2019;5(3):135-138.

Yahsi ÇY, Orhan KH. Investigation of the Effect of Intermediate Dose Calculation Module on Dose Distribution in Lung Cancer Radiotherapy Patients. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering* 2019;5(3):142-146.

Yoriyaz H, Stabin MG, Dos Santos A. Monte Carlo MCNP-4B-Based Absorbed Dose Distribution Estimates for Patient-Specific Dosimetry. *Journal of Nuclear Medicine* 2001;42:662-669.