

การออกแบบ การผลิต และ ประเมินหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ ส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วนสำหรับวัดปริมาณรังสี

วรนนท์ ศิริสัตยกุล¹ ขวัญชัย รัตนเสถียร¹ อุทุมมา มั่นะเนมี^{1*}

บทคัดย่อ

อวัยวะสืบพันธุ์เป็นอวัยวะที่สำคัญ มีความไวต่อรังสีสูง การถ่ายภาพรังสีในส่วนท้องและช่องเชิงกรานทำให้อวัยวะดังกล่าวได้รับปริมาณรังสีสูง จึงจำเป็นต้องทราบปริมาณรังสีที่อวัยวะสืบพันธุ์ได้รับจากการถ่ายภาพรังสีแต่ละครั้ง เพื่อประโยชน์ของตัวผู้ป่วยและรังสีแพทย์ในการประเมินผลดีผลเสีย ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วนขึ้นมา เพื่อใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีที่อวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิงได้รับโดยตรงจากการถ่ายภาพรังสีส่วนช่องเชิงกรานด้วยเครื่องเอกซเรย์ประจำภาควิชารังสีเทคนิค เริ่มต้นจากการเลือกวัสดุ โดยเลือกจากความเป็นสมมูลเนื้อเยื่อและอันตรกิริยาทางฟิสิกส์เหมือนเนื้อเยื่อมนุษย์ พบว่าพอลิสไตรีนมีความเหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นเนื้อเยื่อ เมื่อพิจารณาความเป็นสมมูลกระดูกพบว่า พอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 เปอร์เซ็นต์ให้ความเป็นสมมูลและค่าความดำใกล้เคียงกับกระดูก จากนั้นหาขนาดและตำแหน่งของอวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิงจากข้อมูลกายวิภาคศาสตร์ และ ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ได้ค่าขนาดมดลูกประมาณ 5x2.8x3 เซนติเมตร และขนาดรังไข่ประมาณ 2x1x1 เซนติเมตร นำข้อมูลข้างต้นมาผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อแบบแบ่งส่วน และเจาะรูสำหรับใส่อุปกรณ์วัดรังสีในตำแหน่งมดลูกและรังไข่ ทดสอบวัดปริมาณรังสีขาเข้าและปริมาณรังสีขาออกโดยใช้เครื่องวัดรังสีแบบแตกตัวไอออน (Ionization chamber) และใช้เครื่องวัดรังสีผ่านพื้นที่ (Dose area product meter) วัดปริมาณรังสีตามพื้นที่ เปรียบเทียบกับหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐาน ปริมาณรังสีขาเข้าที่เทคนิค 72 kVp ถึง 84 kVp 16 mAs 20 mAs และ 24 mAs พบว่ามีค่าระหว่าง 895 ไมโครเกรย์ ถึง 1820 ไมโครเกรย์ สำหรับปริมาณรังสีขาออกมีค่าระหว่าง 13 ไมโครเกรย์ ถึง 31 ไมโครเกรย์ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้นและหุ่นจำลองมาตรฐาน แสดงว่าสามารถนำไปใช้วัดปริมาณรังสีแทนหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศได้ วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2549; 39: 99-106.

คำสำคัญ : หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐาน หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วน พอลิสไตรีน หัววัดรังสี ปริมาณรังสีขาเข้า ปริมาณรังสีขาออก

¹ ภาควิชารังสีเทคนิค คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้รับผิดชอบบทความ

บทนำ

ปัจจุบันการใช้รังสีช่วยในการวินิจฉัยโรคเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว แต่ในการถ่ายภาพรังสีแต่ละครั้งผู้ป่วยจะได้รับปริมาณรังสีที่แตกต่างกัน จึงต้องทราบปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับจากการถ่ายภาพรังสี เพื่อไม่ให้เกินปริมาณที่คณะกรรมการป้องกันอันตรายจากรังสี ระหว่างประเทศกำหนดไว้ 1 มิลลิซีเวิร์ตต่อปี⁽¹⁾ ทั้งนี้เพื่อ เป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ความจำเป็นประโยชน์ และโทษจากการนำรังสีไปใช้นอกจากนี้ผู้ป่วยสามารถสอบถามข้อมูลได้ตามสิทธิผู้ป่วย⁽²⁾ การวัดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ จึงมีความสำคัญทั้งต่อผู้ป่วยและปฏิบัติงานเอง แต่การวัดปริมาณรังสี โดยเฉพาะที่อวัยวะสำคัญ เช่น มดลูก รังไข่ เป็นต้น ไม่สามารถวัดได้ในผู้ป่วยโดยตรง จำเป็นต้องวัดในหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อแบบแบ่งส่วน^(3,4,5) หรือ ใช้โปรแกรมคำนวณปริมาณรังสี⁽⁶⁾ ซึ่งต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศในราคาสูง ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วนขึ้นมา โดยเจาะรูสำหรับใส่อุปกรณ์วัดรังสีเพื่อใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีที่อวัยวะสืบพันธุ์ได้รับการถ่ายภาพรังสี

วัสดุอุปกรณ์

วัสดุต่างๆ สำหรับผลิตงานพอลิโอสไตรีนเรซิน เครื่องเอกซเรย์ TOSHIBA KX0-15R ขนาด 150 kVp 320 mAs เครื่องวัดรังสีแบบแตกตัวอออน เครื่องวัดรังสีผ่านพื้นที่ DOSE GUARD 100 KAP METER หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐาน (RANDO Phantom)

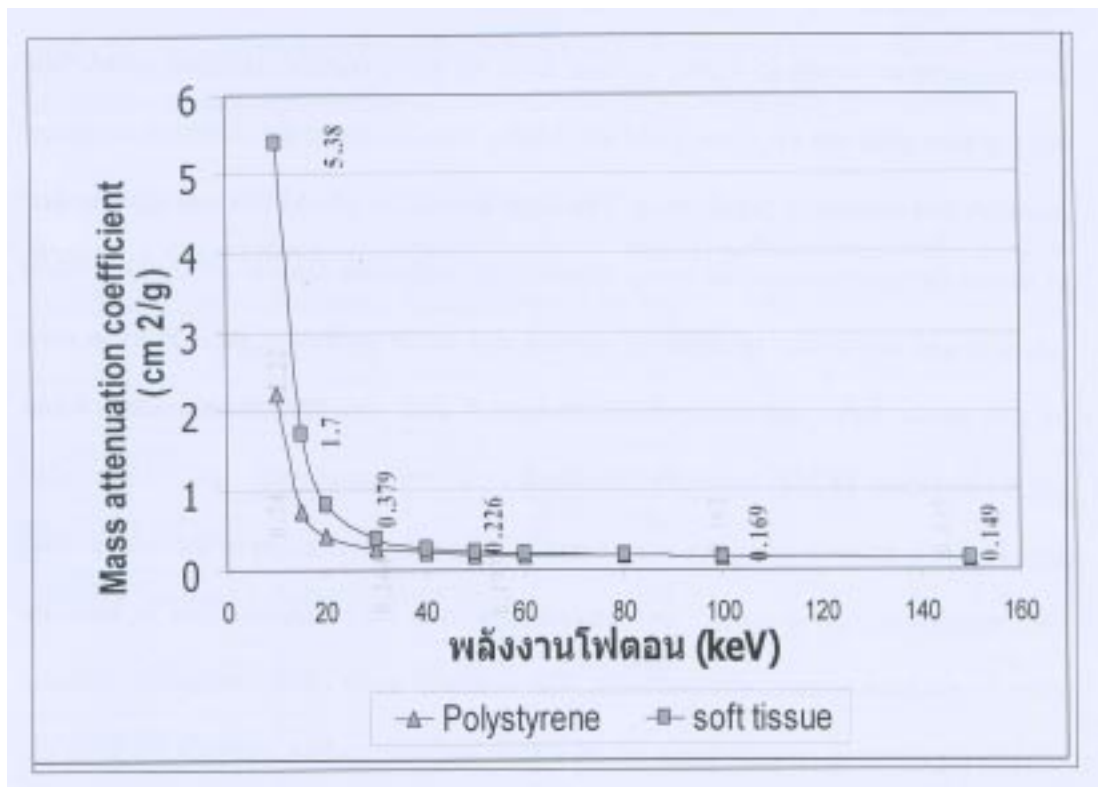
วิธีการทดลอง

ในการศึกษานี้เลือกใช้พอลิโอสไตรีนเป็นวัสดุสมมูลเนื้อเยื่อ^(6,7) โดยพิจารณาจากความเหมือนของวัสดุตัวกลางกับเนื้อเยื่อมนุษย์ ได้แก่ ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ มีคาร์บอน และ ไฮโดรเจน เช่นเดียวกัน มีความหนาแน่น 1.06 กิโลกรัมกับเนื้อเยื่อ ซึ่งมีค่า

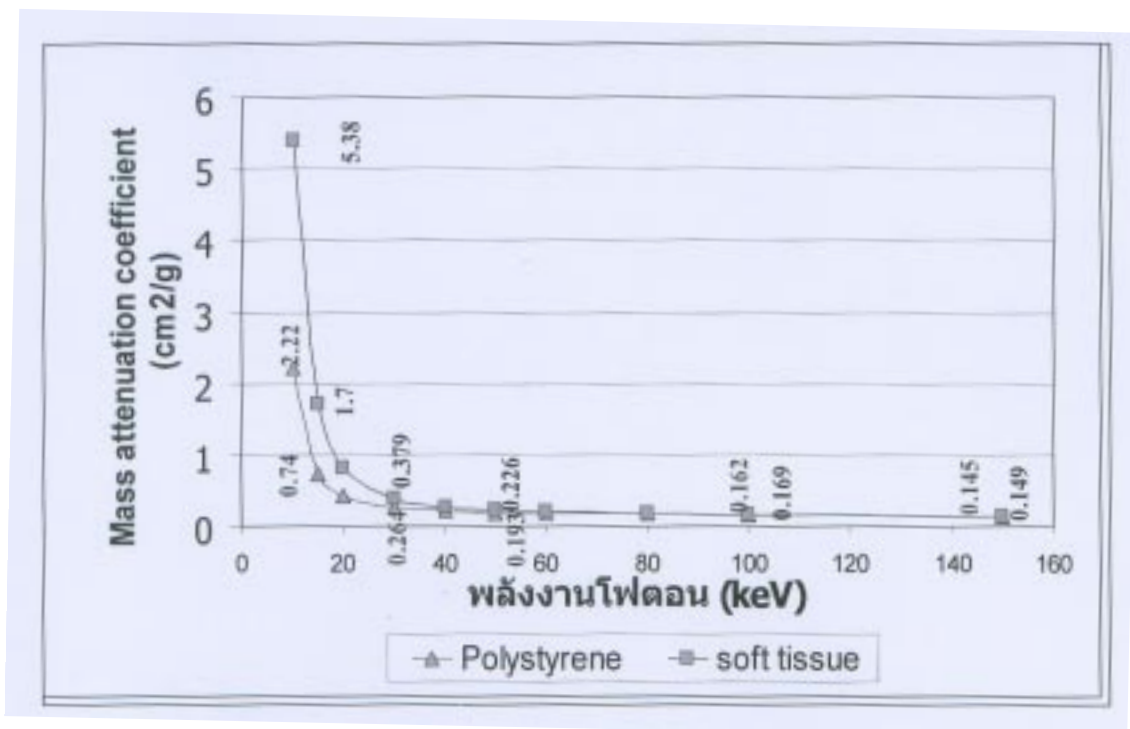
เท่ากับ 1.02 มีความคงตัวเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถขึ้นรูปต่างๆ ได้และผสมกับสารอื่นที่นำมาเติมเพื่อเพิ่มหรือลดการดูดกลืนรังสีได้ พิจารณาคุณสมบัติทางฟิสิกส์ จากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวล(Mass energy absorption coefficient)⁽⁶⁾ ในการหาตำแหน่งมดลูกและรังไข่เพื่อจะเจาะรูในหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้น ใช้ข้อมูลทางกายวิภาค^(8,9) ร่วมกับภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ส่วนการผลิตกระดูกทดลองใช้พอลิโอสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต⁽¹⁰⁾ ในอัตราส่วน 25,30 และ 35 เปอร์เซ็นต์นำมาเปรียบเทียบกับค่าความดำภาพรังสีกระดูกหุ่นจำลองมาตรฐาน เมื่อได้วัสดุที่ต้องการแล้ว นำไปสร้างหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกราน โดยทำแม่พิมพ์หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกราน ภายในมีโครงกระดูกที่หล่อด้วยวัสดุที่คัดเลือกแล้วหล่อหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ โดยใช้โฟมน้ำพอลิยูรีเทนเพื่อให้ตัดแบ่งส่วนใช้เป็นแม่แบบหล่อด้วยพอลิโอสไตรีนต่อไป นำหุ่นจำลองที่ได้ไปทดสอบ เปรียบเทียบกับหุ่นจำลองมาตรฐาน โดยวัดปริมาณรังสีตามพื้นที่ในการทดลองทุกครั้ง วัดปริมาณรังสีขาเข้า และขาออก

ผลการทดลอง

ผลจากการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวลของพอลิโอสไตรีนกับเนื้อเยื่อในช่วงพลังงาน 40 – 150 kVp แสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ผลการทดสอบความสมมูลของกระดูกแสดงในตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตหุ่นแสดงในรูปที่ 3 ในการหาตำแหน่งมดลูกและรังไข่เพื่อจะเจาะรูในหุ่นจำลองที่ผลิตขึ้น ใช้ข้อมูลทางกายวิภาคร่วมกับภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 4 ได้ขนาดของมดลูกประมาณ 5x2.8x3 เซนติเมตร และรังไข่ประมาณ 2x1x1 เซนติเมตร การประเมินหุ่นจำลองได้ค่าปริมาณรังสีที่ออกจากหลอดเอกซเรย์⁽⁹⁾ ในการทดลองดังตารางที่ 2 ผลจากการวัดปริมาณรังสีขาเข้าและขาออก ดังรูปที่ 5 ได้ค่าดังตารางที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล (Mass attenuation coefficient) กับพลังงาน โฟตอน ของเนื้อเยื่อ (soft tissue) และพอลิสไตรีน (polystyrene)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวล (Mass energy absorption coefficient) และพลังงานโฟตอนของเนื้อเยื่อ และพอลิสไตรีน (polystyrene)

ตารางที่ 1 ค่าความดำของกระดูกหุ่นจำลองมาตรฐานและกระดูก ที่หล่อขึ้นจากพอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ปริมาณต่าง ๆ และถ่ายภาพที่ 84 kVp 14 mAs

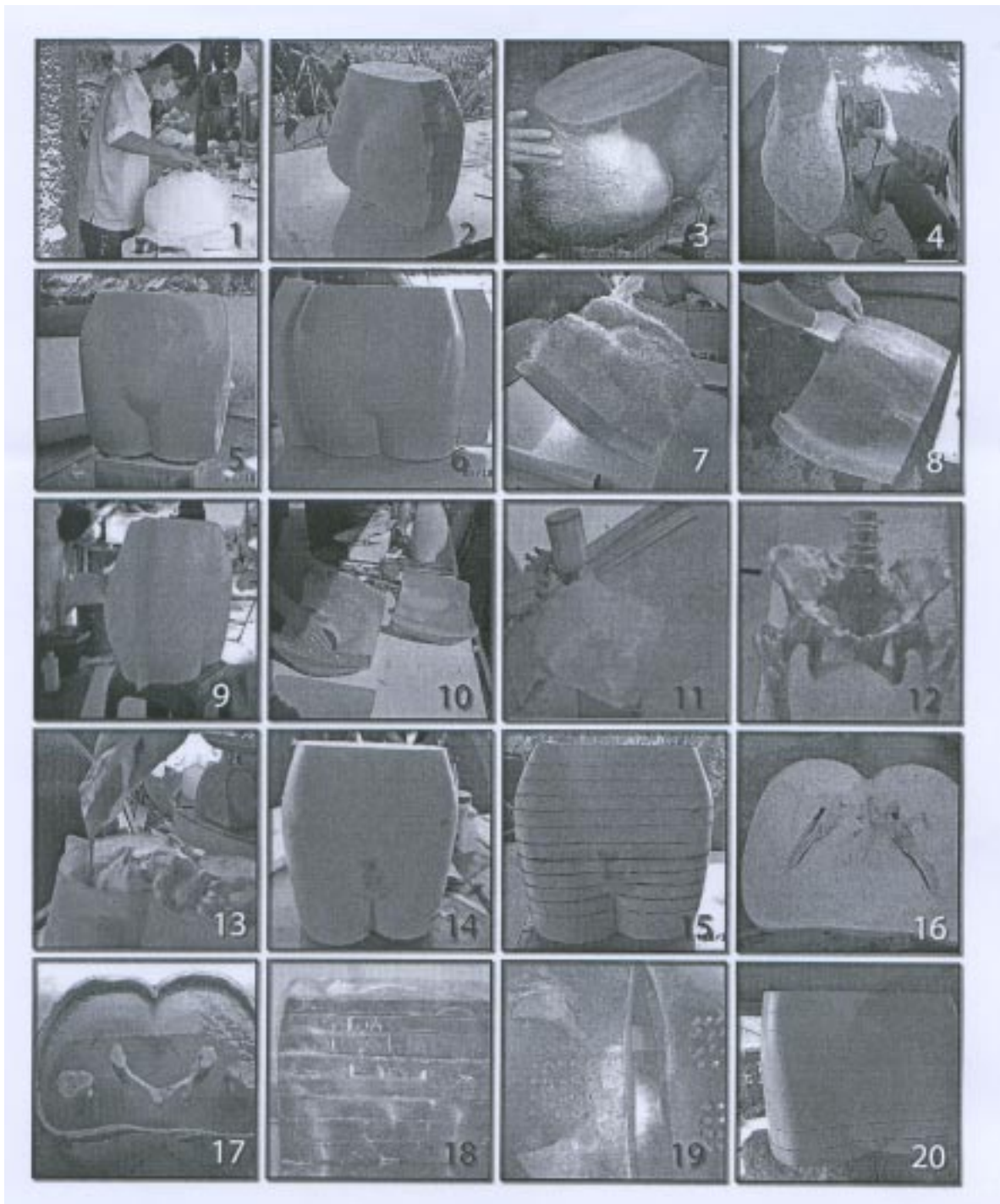
ส่วนกระดูก ชนิดกระดูก	ค่าความดำ		
	Ileum	Sacrum	Femur
หุ่นจำลองมาตรฐาน	0.89	0.80	0.81
พอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 25 %	1.04	1.03	0.92
พอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 %	0.89	0.84	0.76
พอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 35 %	0.73	0.79	0.73

ตารางที่ 2 ค่าปริมาณรังสีตามพื้นที่(DAP) ขณะวัดปริมาณรังสีขาเข้าและขาออกที่ kVp และ mAs ต่าง ๆ

mAs kV	16 mAs		20 mAs		24 mAs	
	หุ่นจำลองที่ ผลิตขึ้น (μGym^2)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGym^2)	หุ่นจำลองที่ ผลิตขึ้น (μGym^2)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGym^2)	หุ่นจำลองที่ ผลิตขึ้น (μGym^2)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGym^2)
72	64.20 $\pm$ 0.50	62.85 $\pm$ 2.50	80.21 $\pm$ 3.90	80.95 $\pm$ 0.65	97.68 $\pm$ 0.23	97.00 $\pm$ 0.10
76	70.64 $\pm$ 0.30	67.91 $\pm$ 1.58	87.42 $\pm$ 0.70	86.97 $\pm$ 0.02	106.60 $\pm$ 0.14	104.05 $\pm$ 0.07
80	75.29 $\pm$ 1.40	74.40 $\pm$ 0.80	93.20 $\pm$ 0.20	95.90 $\pm$ 0.90	112.30 $\pm$ 1.10	113.15 $\pm$ 1.06
84	85.31 $\pm$ 0.04	85.32 $\pm$ 0.60	106.25 $\pm$ 20	107.10 $\pm$ 0.20	126.75 $\pm$ 4.50	122.60 $\pm$ 0.28
t	NS		NS		NS	

ตารางที่ 3 ปริมาณรังสีขาเข้าเปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นและหุ่นจำลองมาตรฐาน

mAs kV	16 mAs		20 mAs		24 mAs	
	หุ่นจำลอง ที่ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGy)	หุ่นจำลองที่ ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGy)	หุ่นจำลองที่ ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลอง มาตรฐาน (μGy)
72	895 $\pm$ 6	871 $\pm$ 3	1152 $\pm$ 29	1126 $\pm$ 53	1379 $\pm$ 70	1305 $\pm$ 114
76	999 $\pm$ 57	935 $\pm$ 28	1226 $\pm$ 62	1192 $\pm$ 76	1474 $\pm$ 33	1407 $\pm$ 115
80	1120 $\pm$ 112	1018 $\pm$ 7.56	1390 $\pm$ 160	1307 $\pm$ 81	1612 $\pm$ 129	1544 $\pm$ 91
84	1229 $\pm$ 87	1172 $\pm$ 84	1470 $\pm$ 98	1470 $\pm$ 98	1820 $\pm$ 167	1755 $\pm$ 102
t	NS		NS		NS	



รูปที่ 3 ขั้นตอนการผลิตหุ่นจำลองสมมุติเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วน เริ่มจากบนซ้ายสุด 1. ขึ้นรูปต้นแบบด้วยโฟม 2. ปิดทับด้วยเทปกาว 3. เคลือบใยแก้ว 4.-5. ขัดให้ได้รูปร่างตามต้องการ 6.-11. นำไปสร้างแม่พิมพ์ 12. นำโครงกระดูกที่หล่อจากวัสดุที่คัดเลือกแล้วมาวางให้ตรงตำแหน่งทางกายวิภาคศาสตร์ 13. หล่อพอลิยูรีเทน 14. ได้หุ่นที่มีกระดูกแต่เนื้อเป็นพอลิยูรีเทน 15. เพื่อให้สามารถตัดเป็นแผ่นหนา 1 นิ้วได้ง่าย 16. นำแผ่นที่ตัดได้ไปแกะเอาพอลิยูรีเทนออก 17. หล่อพอลิซิลิโคนเรซินที่คัดเลือกแล้วที่ละชิ้น 18. โดยกันด้วยวัสดุป้องกันการเชื่อมกันของเรซินจนครบทุกส่วน 19. นำส่วนที่ต้องการวัดปริมาณรังสีของอวัยวะมาเจาะรูสำหรับใส่ตัววัดปริมาณรังสี 20. แล้วนำชิ้นส่วนหุ่นจำลองไปเคลือบสีให้เรียบร้อย

ตารางที่ 4 ปริมาณรังสีขาออกเปรียบเทียบระหว่างหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นและหุ่นจำลองมาตรฐาน

mAs	16 mAs		20 mAs		24 mAs	
	หุ่นจำลองที่ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลองมาตรฐาน (μGy)	หุ่นจำลองที่ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลองมาตรฐาน (μGy)	หุ่นจำลองที่ผลิตขึ้น (μGy)	หุ่นจำลองมาตรฐาน (μGy)
72	13±1	11±3	16±2	14.5±2.1	19±3	17±3
76	14±3	12±3	17±3	15.5±2.1	21±7	19±1
80	17±3	15±0.7	20±3	21±0.0	24±4	22.5±4
84	21±4	19±4	25±3	23±4	31±4	28.5±4
t-test	NS		NS		NS	

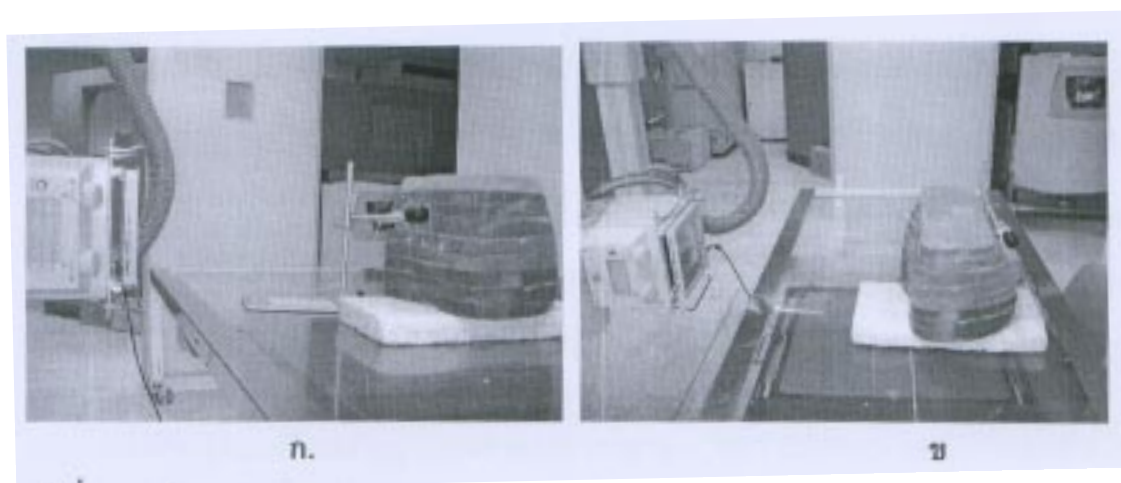


ก



ข

รูปที่ 4 ภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับกำหนดขนาดอวัยวะภายใน ก. มดลูก และ ข. รังไข่



ก.

ข

รูปที่ 5 การจัดวางอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดปริมาณรังสีขาเข้า (ก) รังสีขาออก (ข)

วิจารณ์ผลการทดลอง

การผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วน มีวิธีการหลายขั้นตอน เริ่มจากการคัดเลือกวัสดุตัวกลางที่มีความเหมาะสมมาใช้ในการผลิต โดยขั้นตอนนี้ผู้วิจัยได้อาศัยข้อมูลจากงานวิจัยที่ทำมาก่อนหน้านี้⁽¹⁰⁻¹⁴⁾ มาประกอบการคิดว่า การผลิตแต่ละส่วนมีเทคนิค วิธีการที่ซับซ้อนหลายขั้นตอนและต้องใช้เวลาค่อนข้างมากในการผลิต จึงต้องมีการวางแผนที่ดีก่อนตัดสินใจลงมือทำ เพื่อให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วนที่ผลิตขึ้นนั้นมีความสมมูลเนื้อเยื่อโดยประเมินข้อมูลจากค่า Mass attenuation coefficient, Mass energy absorption coefficient และค่าความหนาแน่น หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นมีลักษณะรูปร่างภายนอกใกล้เคียงกับมนุษย์ ภายในมีโครงกระดูกที่หล่อจากพอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มีการกระเจิงของรังสีเหมือนร่างกายมนุษย์และหุ่นจำลองมาตรฐาน จากการประเมินหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นโดยการวัดปริมาณรังสีขาเข้า และ ปริมาณรังสีขาออกเปรียบเทียบกับหุ่นจำลองมาตรฐาน (RANDO phantom) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วนนี้มีความยุ่งยากในการผลิต เนื่องจากข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยีการผลิต ไม่มีอุปกรณ์สำหรับตัดหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นให้เป็นส่วน ๆ จึงต้องทำหลายขั้นตอน และในด้านวัสดุที่ใช้ในการผลิต พอลิสไตรีนเมื่อแข็งตัวจะมีความแข็งมากเกินไปและมีการหดตัว จึงทำให้มีปัญหาในการทำหุ่นจำลองขึ้นถัดไป และทำให้รูปร่างของหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ได้มีรูปร่างผิดไปจากเดิมเล็กน้อย

การเจาะรูสำหรับวัดปริมาณรังสีในหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้น เจาะเฉพาะในตำแหน่งของมดลูกและรังไข่เพื่อใช้วัดปริมาณรังสีที่อวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิงได้รับ ดังนั้นหากต้องการวัดปริมาณรังสีในส่วนอื่นสามารถเจาะรูเพิ่มในตำแหน่งที่ต้องการวัดปริมาณรังสีได้ และสามารถพัฒนาการผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อแบบแบ่งส่วนนี้ โดยเลือกใช้วัสดุสมมูลเนื้อเยื่อชนิดอื่นที่มีน้ำหนักเบา สามารถตัดออกเป็นส่วนๆ ได้ง่ายและนำ

เทคโนโลยีที่เหมาะสมมาใช้

สรุป

จากการศึกษาครั้งนี้ ได้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อช่องเชิงกรานแบบแบ่งส่วน สำหรับวัดปริมาณรังสีที่มดลูกและรังไข่ได้รับ โดยใช้พอลิสไตรีนผลิตเป็นเนื้อเยื่อและพอลิสไตรีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 30 เปอร์เซ็นต์ผลิตเป็นกระดูก จากการทดสอบวัดปริมาณรังสีขาเข้า และ ปริมาณรังสีขาออกเปรียบเทียบกับหุ่นจำลองมาตรฐาน พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยในภาคนี้พินิจนี้ ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการ “โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2548”

เอกสารอ้างอิง

1. International Commission on Radiation Protection. Radiation Protection (ICRP Publication 60).Dose limits in public exposure. Pergamon Press:Oxford, 1990,p 25.
2. แพทยสภา : สิทธิผู้ป่วย. (ระบบออนไลน์). แหล่งที่มา http://www.tmc.or.th/html/law/private_patient.html (8 March 2005).
3. CIRS Tissue Simulation Technology. “Phantom Applications and Technology Overview”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.cirsinc.com/overview.html> (23 January 2006).
4. Supertech⁷ Radiographic Technique Products. “PIXY Full Body Phantoms”. [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <http://www.supertechx-ray.com/a245a> (23 January 2006).
5. Bradshaw A L, Twiss D H, Williams P C. Phantom Materials for Photons and Electrons. The Hospital Physicists Association. Reedprint Ltd.,

- Windsor ; 1997. p 3.
6. National Institute of Standards and Technology”
“X-ray Mass Attenuation Coefficient” [ระบบ
ออนไลน์].แหล่งที่มา:[http://physics.nist.gov/
PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html](http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/cover.html)
(30 January 2006)
 7. อัญชณา ทวีทวากร. การผลิตหุ่นจำลองสมมูล
เนื้อเยื่อส่วนท้องและช่องเชิงกราน. ภาคนิพนธ์-
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (รังสีเทคนิค) คณะเทคนิค
การแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 2546.
 8. มีชัย ศรีใส, สุทธิพร จิตต์มิตรภาพ, สมชัย
นิรุตติศาสน์, สมชัย หวังศุภชาติ, บุญเที่ยง ดีติสาร.
มหากยวิภาคศาสตร์ประยุกต์ เล่มที่ 3. ครั้งที่ 1.
สำนักพิมพ์ บริษัทเียร์บุคพับบลิชเชอร์ จำกัด
มหาชน, 2532:
 9. Gynecology, Pregnancy, and Childbirth Pictures
& Images (ระบบออนไลน์) แหล่งที่มา : [http://
www.healthopedia.com](http://www.healthopedia.com) (20 February 2006).
 10. International Commission on Radiation Units and
Measurements. ICRU Report Number 44.
Tissue Substitutes in Radiation dosimetry and
measurements. Maryland; 1988.p 3,37,176.