

## นิพนธ์ฉบับ

# การออกแบบ การผลิต และ การใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพงานรังสีวินิจฉัย

อุทุมมา มั่นะนมิ\* และ ขวัญชัย รัตนเสถียร\*\*

## บทคัดย่อ

หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อสำหรับการถ่ายภาพรังสีและวัดปริมาณรังสี เป็นอุปกรณ์สำคัญสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพงานบริการด้านรังสีวินิจฉัย แต่เนื่องจากมีราคาแพงและต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ จึงไม่มีใช้กว้างขวางนักในโรงพยาบาลทั่วไป คณะผู้วิจัยเล็งเห็นความสำคัญของอุปกรณ์ซึ่งจะช่วยให้ผู้ป่วยได้รับรังสีน้อยที่สุดในงานบริการทางรังสีวินิจฉัย จึงได้คัดเลือกวัสดุสมมูลเนื้อเยื่อ ด้วยเกณฑ์สากลโดยเลือกธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก ความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวล คุณสมบัติทางกายภาพ และความสะดวกในการนำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ ผลการศึกษาวัสดุที่ใช้ในการผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อพบว่าพอลิสไตรีน มีค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวลจากการใช้โปรแกรม XCOM และความหนาแน่นใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อ เมื่อนำไปผลิตเป็นหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อแบบแผ่นโดยใช้ฟิรม์ซิลิโคน แล้วนำไปทดสอบหลังการผลิตเพื่อพิจารณาการลดทอนและการดูดกลืนรังสีในตัวกลางโดยเปรียบเทียบกับหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานที่ความหนาและเทคนิคเดียวกัน พบว่าได้ค่าความดำเฉลี่ยของภาพรังสีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หุ่นจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ในการสร้างตารางเทคนิคสำหรับถ่ายภาพรังสีส่วนท่อน้ำนมและช่องเชิงกรานได้ โดยใช้หลักการคำนวณค่า kVp จากความหนาของส่วนที่ถ่ายภาพ คือ kVp เท่ากับค่าคงที่บวก 2 kVp ต่อความหนา 1 เซนติเมตร เมื่อทดลองถ่ายภาพรังสีหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้นโดยปรับ ค่า mAs ตั้งแต่ 20-32 แล้ววัดค่าปริมาณรังสีที่ได้รับโดยใช้อุปกรณ์วัดรังสีติดที่หน้าหลอดเอกซเรย์ร่วมกับการถ่ายภาพรังสี พบว่า ภาพรังสีที่ 20, 24 และ 32 mAs ให้ภาพที่มีความดำอยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 1.2-1.5 และผลจากการใช้เทคนิคเดียวกันนี้ถ่ายภาพรังสีของหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานพบว่าในแต่ละเทคนิคให้ภาพที่สามารถใช้ในการวินิจฉัยได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อช่วยในการทดสอบเพื่อหาปริมาณรังสีที่น้อยที่สุดที่ให้ภาพเหมาะสม และช่วยลดปริมาณรังสีให้กับผู้ป่วยได้โดยทั่วไปประมาณ 10-30 เปอร์เซ็นต์และอาจสูงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ได้ วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2549; 39: 54-63.

**คำรหัส :** หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ, พอลิสไตรีน, พอลิอะคริลิก, หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อรูปคน, ตารางเทคนิคในการถ่ายภาพรังสี, การลดปริมาณรังสี, ปริมาณรังสีที่ไม่จำเป็นจะต้องได้รับ

\* ภาควิชารังสีเทคนิค, \*\*ภาควิชาเทคนิคการแพทย์คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

## Abstract : Design Production and Application of Tissue Equivalent Phantoms for Increasing Efficiency in Diagnostic Radiography Department.

Utumma Maghanemi\* and Kwanchai Ratanasthien\*\*

Tissue equivalent phantoms for diagnostic radiography and radiation detection are important tools for increasing the efficiency of diagnostic radiography department. Most of tissue equivalent phantoms are normally very expensive and must be imported from foreign countries. Thus, they were not widely used in diagnostic radiology department for maintaining and improving the quality of services. According to these problems our research project are aimed to design and produce the suitable patient equivalent phantoms for supporting of dose reduction to as low as reasonably achievable for the diagnostic radiography. We selected the suitable materials for production of tissue equivalent phantoms by using criteria suggested by ICRU including chemical compositions, density, mass attenuation coefficient, mass energy absorption coefficient and general physical properties. The XCOM indicated that polystyrene is a tissue equivalent material and suitable for the production of phantom. The thin plate and other types of tissue equivalent phantoms were produced in silicone mold. The produced phantoms were evaluated and are well correlated in comparison with commercial ANSI tissue equivalent phantom. The phantom can be used for establishment of exposure technique chart for various types of radiation technique. The principle of 2 kVp for every 1 centimeter change was applied and works very well for our phantoms. The radiation exposures of phantom with varying mAs from 20-32 produced similar film densities ranged from 1.2 to 1.5 OD suggested that the technique for diagnostic radiation can be improved by reducing dose from 10 to 30 percent and in some cases DAP showed that the reduction of dose are up to 50 percent. Bull Chiang Mai Assoc Med Sci 2006; 39: 54-63.

**Key words:** Tissue equivalent phantom, Polystyrene, American National Standard Institute Tissue Equivalent Phantom, Technique Chart, Radiation Dose Reduction, Unnecessary Dose.

---

\* Department of Radiologic Technology, \*\*Department of Medical Technology, Faculty of Associated Medical Sciences, Chiang Mai University.

### บทนำ

หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อหมายถึงหุ่นจำลองที่ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อมนุษย์ตั้งแต่หนึ่งอย่างหรือมากกว่า และสามารถใช้ในการทดสอบ

อันตรกิริยาทางรังสีได้แทนเนื้อเยื่อมนุษย์โดยได้เริ่มพัฒนา มาตั้งแต่พ.ศ. 2463 จากการใช้น้ำและซีฟิ่ง มาเป็นวัสดุ ต่างๆที่ใช้ในปัจจุบัน เช่น แผ่นอะคริลิก พอลิเมอร์แบบ ต่างๆ เป็นต้น หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อเป็นอุปกรณ์ หนึ่งที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและมาตรฐานของเครื่องเอกซเรย์

และคุณภาพของภาพรังสี โดยใช้ในการทดสอบ พารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่อง ใช้ในการวัดปริมาณรังสี ที่ได้รับการถ่ายภาพ สร้างตารางเทคนิคหรือทดสอบ ระบบถ่ายภาพอัตโนมัติ ใช้ฝึกปฏิบัติการการจัดท่าและ ตั้งเทคนิคในการถ่ายภาพ ใช้ในงานวิจัยและงานการ ป้องกันอันตรายจากรังสี จากการสำรวจคุณภาพของ เครื่องเอกซเรย์ในเขตสาธารณสุขเขต 10 พบว่า เครื่องมือส่วนใหญ่ไม่ผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานสากล<sup>2</sup> การใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อรูปแบบต่างๆ เพื่อ ปรับแต่งหรือทดสอบเครื่องเอกซเรย์ จะทำให้สามารถ กำหนดค่าเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพรังสีให้ได้ค่า้อย ที่สุดที่ให้ภาพรังสีที่สามารถนำไปวินิจฉัยได้โดยมีต้อ งลดผลของถูกกับผู้ป่วย ซึ่งจะทำให้ผู้ป่วยได้รับรังสีโดย ไม่จำเป็น<sup>4</sup> การป้องกันอันตรายจากรังสีนั้นเป็นหัวข้อ ที่มีการเน้นย้ำโดยหลายองค์กร<sup>3,5-8</sup> และจะเน้นการใช้ เทคนิคและวัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสม<sup>9-12</sup> สามารถช่วยเพิ่ม คุณภาพงานทางรังสีวินิจฉัยได้ ในการศึกษาครั้งนี้จึง รวบรวมการศึกษาและเสนอแนวทางการออกแบบ การผลิต และ ใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อสำหรับการ ทดสอบอันตรกิริยาทางรังสีให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม และ ความพร้อมของแต่ละสถานที่ ก่อนนำไปใช้จริงกับ ผู้ป่วย และทำให้ผู้ป่วยได้รับอันตรายจากรังสีน้อยที่สุด แต่เกิดประโยชน์สูงสุดในการวินิจฉัยและการรักษา

#### วัสดุและวิธีการทดลอง

เลือกวัสดุที่มีองค์ประกอบของธาตุหลักใกล้เคียงกับ มนุษย์และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับ 1 กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร มีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสี การกระเจิงของโฟตอนและอิเล็กตรอนใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อ ของมนุษย์ โดยดูจากค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวล โดยใช้การ

คำนวณด้วยโปรแกรม XCOM<sup>13</sup> และ เลือกคุณสมบัติทาง กายภาพที่สามารถปรับแต่งรูปร่างได้ง่ายมีความสะดวกใน การนำมาใช้งาน ออกแบบ และผลิต หุ่นจำลองสมมูล เนื้อเยื่อทั้งในรูปเป็นแผ่นเรียบขนาดความหนาต่าง ๆ หรือ ทำต้นแบบเป็นส่วนต่างๆ โดยเลียนแบบร่างกายของ มนุษย์ แล้วนำมาสร้างแม่พิมพ์ซิลิโคนก่อนผลิตโดย หล่อหุ่นด้วยวัสดุที่ทดสอบแล้ว การประเมินหลังการผลิต พิจารณาจากค่าการลดทอนและดูดกลืนรังสีในตัวกลางที่รังสี ผ่านเท่ากันหรือใกล้เคียงกัน โดยการถ่ายภาพรังสีที่ เทคนิคเท่ากันแล้วเปรียบเทียบความดำ กับภาพรังสีของ หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานที่มีขนาดเท่ากัน โดยใช้ สถิติเพื่อหาความสำคัญของข้อมูล จากนั้นนำไปทดลอง สร้างตารางเทคนิค<sup>14-16</sup> และทดลองถ่ายภาพหุ่นจำลอง สมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตและหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐาน โดยวัดค่าปริมาณรังสีที่ให้อยู่อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่ติด ไว้หน้าหลอดเอกซเรย์ (dose area product meter) เมื่อ เปลี่ยนแปลงค่า mAs ตั้งแต่ 12-32 และเลือกภาพรังสีที่ยัง คงให้ความดำเฉลี่ยอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและรังสีแพทย์ ประเมินว่าเห็นส่วนต่างๆ ได้ดีสามารถวินิจฉัยได้ เพื่อ แสดงความสามารถในการลดปริมาณรังสีจากการทดสอบ โดยใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อต่อไป

#### ผลการทดลอง

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักของเนื้อเยื่อที่มีมากกว่า ธาตุอื่นคือ คาร์บอน ไฮโดรเจนและออกซิเจน จึงเลือก ศึกษาสารที่มีองค์ประกอบของธาตุหลักใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อนี้ โดยเลือกวัสดุที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงเป็นหลักในการ ทดลองและมีค่าความหนาแน่นของสารประกอบที่น้ำจะ ใช้งานได้และเลือกมาศึกษาโดยมีข้อมูลพื้นฐานดังแสดงใน ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของธาตุและความหนาแน่นของสารที่จะเลือกใช้ผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ

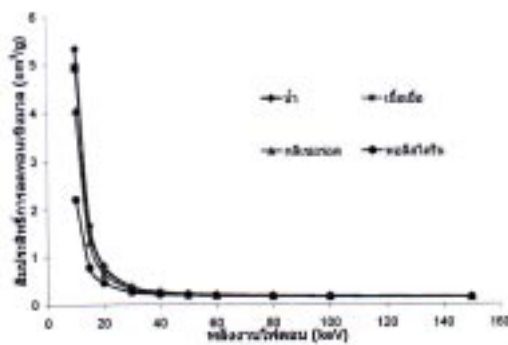
| ชื่อสาร    | สัดส่วนโดยน้ำหนัก      | ความหนาแน่น(กรัม/ซม <sup>3</sup> ) |
|------------|------------------------|------------------------------------|
| เนื้อเยื่อ | H10.45, C23.22, O63.02 | 1.00                               |
| น้ำ        | H11.2, O88.81          | 1.00                               |
| พอลิสไตรีน | H7.70, C92.3           | 1.06                               |
| กลีเซอรอล  | H8.76, C39.13, O52.12  | 1.26                               |

จากการศึกษาได้ค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวลของสารที่เลือกมามีค่าใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ซึ่งจะเห็นว่าสารที่เลือกมาสามารถใช้ผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อได้ แต่สารที่เหมาะสมและสามารถใช้ผลิตเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ดีที่สุดคือ พอลิสไตรีน ดังนั้นจึงผลิตแผ่นพอลิสไตรีนเพื่อใช้ทดสอบความเป็นสมมูลเนื้อเยื่อดังรูปที่ 3 ผลจากการนำแผ่นพอลิสไตรีนหนา 18 ซม. ไปถ่ายภาพรังสีด้วยเทคนิค 76 kVp 200 mA 0.10 sec ได้ค่าความดำเฉลี่ยเท่ากับ  $1.40 \pm 0.13$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความดำเฉลี่ยของหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานที่ความหนาและเทคนิคเดียวกัน คือ 1.41

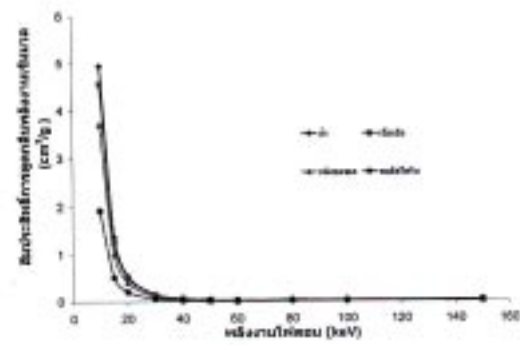
เมื่อนำหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อแบบแผ่นที่ทำจากพอลิสไตรีนไปถ่ายภาพ ด้วยการใช้ความหนาขนาดต่างๆ และเลือกใช้เทคนิคโดยอาศัยหลักการ เปลี่ยนแปลงค่า kVp ตามความหนาที่เพิ่มขึ้น หรือ ลดลง 2 kVp ต่อเซนติเมตร เพื่อสร้างตารางเทคนิคสำหรับถ่ายภาพรังสีส่วนทรวง และช่องเชิงกราน แบบเปลี่ยนแปลงค่า kVp โดยใช้หลักการคำนวณค่า kVp จากความหนาของส่วนที่ถ่ายภาพคือ kVp เท่ากับค่าคงที่เท่ากับ 40 เมื่อเป็นวัสดุที่ไม่กั้นรังสีสูงมากนัก บวกกับ 2 kVp ต่อ เซนติเมตร และเมื่อใช้การกำหนดความดำที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 1.2-1.5<sup>17</sup> ได้ตารางเทคนิค ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิตขึ้น ในการสร้างตารางเทคนิคแบบเปลี่ยน แปลงค่า kVp สำหรับส่วนทรวงและช่องเชิงกราน

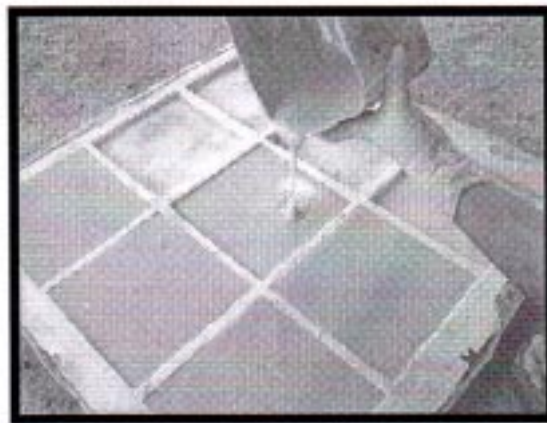
| ความหนา(ซม) | kVp | mAs |
|-------------|-----|-----|
| 14          | 68  | 20  |
| 15          | 70  | 20  |
| 16          | 72  | 20  |
| 17          | 74  | 20  |
| 18          | 76  | 20  |
| 19          | 78  | 20  |
| 20          | 80  | 20  |
| 21          | 82  | 20  |
| 22          | 84  | 20  |



รูปที่ 1 สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวลของน้ำ, เนื้อเยื่อ  
กลีเซอรอลและพอลิสไตรีน



รูปที่ 2 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวลของน้ำ  
เนื้อเยื่อ, กลีเซอรอลและพอลิสไตรีน



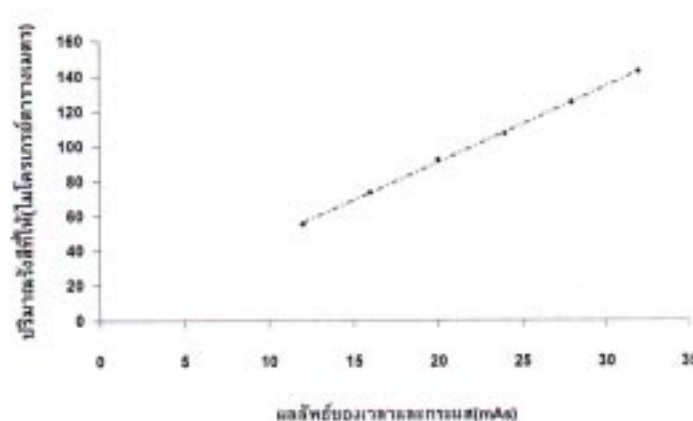
รูปที่ 3 การผลิตแผ่นพอลิสไตรีนสมมูลเนื้อเยื่อโดยใช้พิมพ์ซิลิโคน

เมื่อนำหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อ ที่ผลิตได้และ  
หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐาน ไปถ่ายภาพรังสี  
ด้วยเทคนิคสำหรับถ่ายภาพส่วนท้อง และ ช่องเชิงกราน  
และ วัดค่าปริมาณรังสีที่ได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่า mAs  
ได้ความสัมพันธ์ของปริมาณรังสีที่ให้กับค่า mAs ดังรูปที่  
4 โดยภาพรังสีที่ให้ค่าความดำ และ คุณภาพที่เหมาะสม  
สามารถวินิจฉัยได้ คือรูปที่ ใช้ mAs เท่ากับ 20 ถึง 32  
ดังแสดงในรูปที่ 5

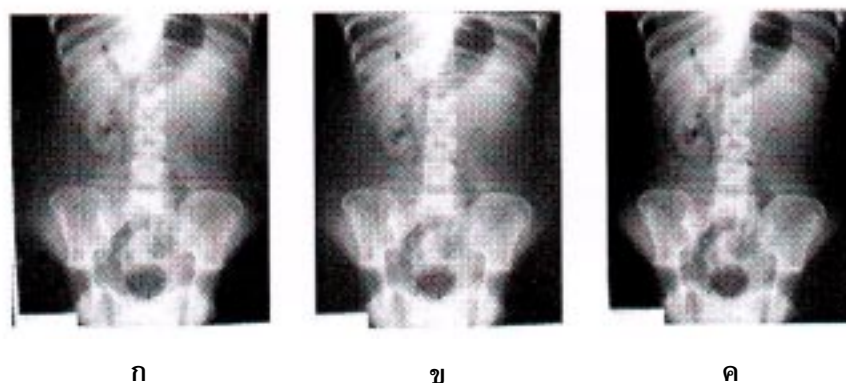
#### วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้จัดเป็นนวัตกรรม เพื่อผลิตหุ่นจำลอง  
สมมูลเนื้อเยื่อขึ้นใช้ในท้องในประเทศ เพื่อ ให้มีหุ่นจำลอง  
สมมูลเนื้อเยื่อสำหรับใช้ในการงานด้านการประกันคุณภาพทางรังสี

และ การป้องกันอันตรายจากรังสี ในการผลิตแผ่นสมมูล  
เนื้อเยื่อได้มีความพยายาม ในการเลือกสารหลายชนิด  
มาก่อน เช่น ซีฟิ่ง พาราฟิน<sup>15</sup> แผ่นพอลิอะคริลิก<sup>16</sup> เป็นต้น  
ซึ่งพบว่าการใช้ซีฟิ่งมีช่วงแข็งตัวเร็ว และ ไม่สามารถผสม  
สารอื่นเพิ่มเติมได้ หากต้องการปรับค่าการดูดกลืนรังสี  
การใช้พอลิอะคริลิกมีข้อจำกัดในการจัดรูปร่าง เนื่องจาก  
เป็นแผ่นแข็งสำเร็จรูป ในการศึกษาชิ้นสารแต่ละชนิดจะมี  
ค่าความหนาแน่น สัมประสิทธิ์การลดทอนเชิงมวล และ  
สัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานเชิงมวลใกล้เคียงกันมาก  
ดังตารางที่ 1 รูปที่ 1 และรูปที่ 2 แต่เราเลือกใช้พอลิสไตรีน  
ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะใช้ในการผลิต หุ่นจำลอง  
สมมูลเนื้อเยื่อ ได้แก่ คงตัวเป็นเนื้อเดียวกัน ขึ้นรูปได้ง่าย  
มีช่วงระยะเวลาแข็งตัวพอเหมาะ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า mAs กับปริมาณรังสีที่ให้หรือค่า DAP



รูปที่ 5 ภาพรังสีหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานเมื่อใช้ mAs เท่ากับ ก.20 ข.24 และ ค.32

ค่าความดำเฉลี่ยของภาพรังสีในการเปรียบเทียบอยู่ในช่วง 1.2-1.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการดูกระดูกและเนื้อเยื่อบริเวณท้องและช่องเชิงกราน พบว่า เมื่อถ่ายภาพรังสีที่เทคนิคเดียวกันคือ 72 kVp 200 mAs 0.1sec ความดำของภาพรังสีหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อที่ผลิต และหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากผลการศึกษาสามารถสร้างตารางเทคนิคแบบเปลี่ยนแปลงค่า kVp สำหรับส่วนท้องและช่องเชิงกรานซึ่งมักมีปัญหาในการปรับเทคนิคในการถ่ายภาพ เนื่องจากมีขนาดและความหนาต่างกันไปในแต่ละคนดังตารางที่ 2 ซึ่งจากหลักการเดียวกันนี้ได้นำไปสร้างตารางเทคนิคในห้องถ่ายภาพรังสี ของโรงพยาบาล ซึ่งโดยปกติใช้ค่า mAs สูงทำให้ภาพมีความดำมาก การใช้หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อในการสร้าง

ตารางเทคนิคใหม่ช่วยยืนยันได้ว่าจะได้ภาพรังสีที่คงคุณภาพ และให้ความดำเหมาะสม โดยสามารถลด mAs ลงได้ดังรูปที่ 4 และ 5 ซึ่งแสดงว่าผู้ป่วยจะได้รับรังสีลดลงด้วย จากรูปที่ 5 จะเห็นว่าเมื่อใช้ mAs เท่ากับ 20, 24 และ 32 ดังรูป ก ข และ ค ตามลำดับให้ภาพที่มีความดำอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและใช้วินิจฉัยได้เช่นเดียวกัน แต่ค่าปริมาณรังสีที่ให้ในการถ่ายภาพจากรูปที่ 4 เพิ่มขึ้นจากที่ 20 mAs เป็น 16.18 และ 54.44 เปรอร์เซ็นต์ที่ 24 และ 32 mAs ตามลำดับ จากข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการผลิตหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อนี้สามารถใช้ในการผลิตหุ่นจำลองรูปร่างต่างๆ ดังตัวอย่างการผลิต<sup>19,20</sup> ดังรูปที่ 6 ซึ่งสามารถจัดทำเป็นแบบเฉพาะส่วน<sup>19</sup> ดังรูปที่ 7 หรือแบบทั้งร่าง<sup>20</sup> ดังรูปที่ 8 หุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อดังกล่าวแล้วทั้งหมดเมื่อนำไปทดสอบโดยการถ่ายภาพ

รังสีพบว่าสามารถใช้งานได้ดีเช่นเดียวกับหุ่นจำลอง  
สมมูลเนื้อเยื่อมาตรฐานจากต่างประเทศ<sup>14-20</sup> ซึ่งมีราคา  
แพงมาก จึงนับว่าเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ

ในการให้บริการ และการป้องกันอันตรายจากรังสีได้  
เป็นอย่างดี



ก. ต้นแบบหุ่นส่วนแขน  
และขา



ข. ต้นแบบหุ่นส่วนลำตัว



ค. แม่พิมพ์ส่วนขา



ง. แม่พิมพ์ส่วนลำตัว



จ. การวางกระดูกใน  
พิมพ์ส่วนอก



ฉ. การวางกระดูกใน  
แม่พิมพ์ ส่วนท้องและ  
ช่องเชิงกราน



ช. ชิ้นงานก่อนแต่งสี



ซ. ชิ้นงานพ่นสีแล้ว



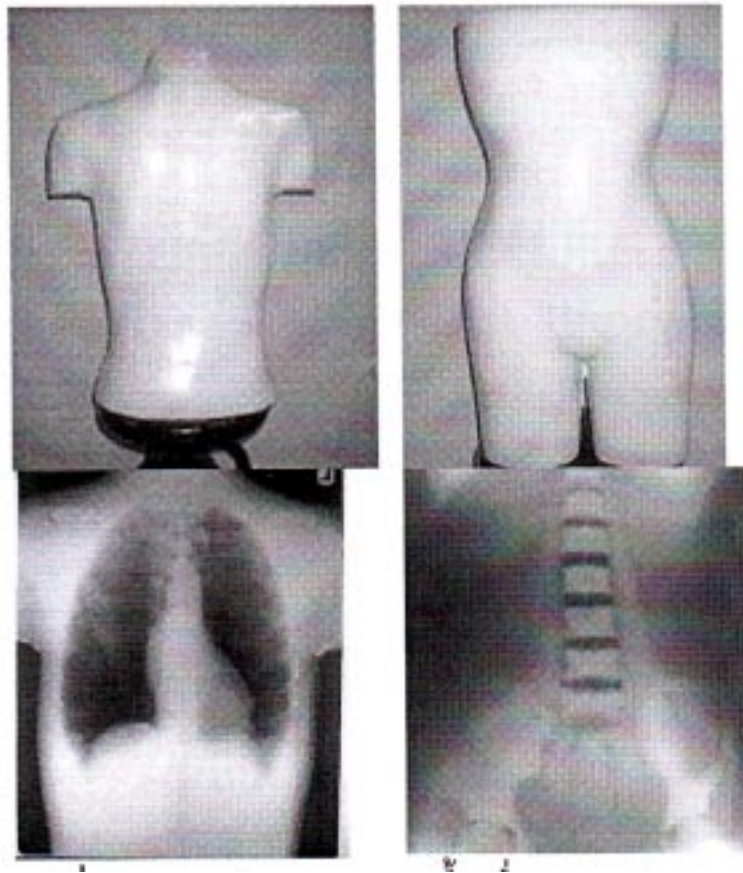
ท. การผลิตแม่พิมพ์ศีรษะ



ฐ. การผลิตแม่พิมพ์  
กระดูกสันหลัง

รูปที่ 6 ขั้นตอนการผลิตหุ่นจำลองส่วนแบบและลักษณะต่างๆ<sup>19,20</sup>





รูปที่ 7 หุ่นจำลองสมมุติเนื้อเยื่อเฉพาะส่วนและภาพรังสีของหุ่นจำลองแต่ละส่วน<sup>19</sup>



รูปที่ 8 หุ่นจำลองสมมุติเนื้อเยื่อทั้งร่างที่ผลิตขึ้น<sup>20</sup>



### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการ  
โครงการอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาปริญญาตรี  
สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่าย 5 หรือ  
อุตสาหกรรม ระหว่างปี 2546-2548.

### เอกสารอ้างอิง

1. International Commission on Radiation Units and Measurements. ICRU Report number 44. Tissue Substitutes in Radiation Dosimetry and Measurement. Maryland : Library of Congress Cataloging in Publication Data, 1989 : 3.
2. สุชาติ โกทัญญ์ อุทุมมา มัชฌะณีย์ ลดาวัลย์ ตรียะพัฒน์พร, หัสฤกษ์ เนียมอินทร์. การศึกษาสำรวจเพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องเอกซเรย์ในเขตสาธารณสุขเขต 10 ตามข้อกำหนดของ NCRP (NCRP report No.99). การประชุมวิชาการเนื่องในโอกาสสถาปนาคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครบรอบ 25 ปี, 2544.
3. ICRP Publication 60. Annals of the ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Oxford : Pergamon Press, 1991 : 9.
4. อุทุมมา มัชฌะณีย์ การลดปริมาณรังสีที่ไม่จำเป็นต้องให้กับผู้ป่วย. การประชุมวิชาการเนื่องในโอกาสสถาปนาคณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ครบรอบ 25 ปี , 2544 .
5. Statkiewicz-Sherer MA, Visconti PJ, Ritenour ER. Radiation Protection in Medical Radiography. 3<sup>rd</sup>ed. St Louis : Mosby, Inc., 1998 : 6 -7.
6. Seeram E. Radiation Protection. Philadelphia : Lippincott, 1977 : 203-20.
7. Dowd SB. Practical Radiation Protection and Applied Radiobiology. Philadelphia : W.B. Saunders Company, 1994 : 176-203.
8. Grover SB, Kumar J, Gupta A, Khanna L. Protection Against Radiation Hazards: Regulatory Bodies, Safety Norms, Dose Limits and Protection Devices. Ind J Radiol Imag 2002; 12(2) :157-167.
9. VirginiaTech. "Environmental, Health and Safety Surveys:Chap.5" (online). Available: <http://www.ehss.vt.edu/Programs/RSD/Xray/xray05.htm> ( 21 July 2006).
10. U.S. Food and Drug Administration. "The Picture of Health" (online). Available: [http://www.fda.gov/fdac/features/1999/199\\_xray.html](http://www.fda.gov/fdac/features/1999/199_xray.html) (25 July 2006).
11. Health Physics Society. "X-ray Equipment and Issues-Lead Apron". (online). Available: <http://hps.org/publicinformation/ate/q1827.html> (22 July 2006)
12. BC Center for Disease Control. "Proper Selection , Care, Quality Control and Disposal of Lead Aprons". (online) Available: <http://k:\inbasket\trs\in\in#10-aprons.doc> ( 21 July 2006).
13. Berger MJ, Hubbell JH, Seltzer SM, Chang J, Coursey JS, Sukumar R., Zucker DS. National Institute of Standards and Technology. XCOM: Photon Cross Sections Database. (online) Available: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/XCOM.html> "X-ray Mass Attenuation Coefficient" (online) Available: <http://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/tab4.html> (21 July 2006)
14. ทศพร อัมภาว อุทุมมา มัชฌะณีย์ ขวัญชัยรัตน์เสถียร. การผลิตวัสดุผสมมูลเนื้อเยื่อเพื่อใช้ในการสร้างตารางเทคนิคสำหรับการถ่ายภาพรังสีวารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่ 2543 ; 33(1) : 20-8.
15. Maghanemi U, Ratanasthien K. Graphical Presentation of Radiographic Exposure for Technique Chart Establishing and Dose Approximation Modified from Water Phantom. Proceeding of Poster Presentation at the 14 th Asian Conference of Radiographers and Radiological Technologists; 19-22 August 2003; Siam City Hotel, Bangkok, Thailand, 2003:

- 150-1.
16. Maghanemi U, Ratanasthien K. Production of low Cost Human Tissue Equivalent Abdominal Phantom for Exposure Technique Chart Establishing. Proceeding of Poster Presentation at the 14 th Asian Conference of Radiographers and Radiological Technologists. 19-22 August 2003; Siam City Hotel, Bangkok, Thailand, 2003: 152-3.
  17. Carlton RR, Adler AM. Principles of Radiographic Imaging : An Art and a Science. 2<sup>nd</sup> ed. Washington : Delmar Publishing, 1966:366 and 480.
  18. จิตติภรณ์ สมพรหมปัน การวัดปริมาณรังสีในการถ่ายภาพรังสีทรวงอกของหุ่นจำลอง ภาคนิพนธ์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต(รังสีเทคนิค) คณะเทคนิคการแพทย์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
  19. อัญชนา ทวีทวากร อุมพร เป็งกาสิทธิ์ ขวัญชัยรัตน์เสถียร อุทุมมา มัชฌะเนมี การออกแบบการผลิตและประเมินหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อส่วนทรวงอก ส่วนท้องและช่องเชิงกราน สำหรับการถ่ายภาพรังสี. รวบรวมผลงานโครงการที่ได้รับทุน IRPUS ประจำปี 2546, หน้า 54-5.
  20. วสุยสองแสง ขวัญชัยรัตน์เสถียร อุทุมมา มัชฌะเนมี การออกแบบ การผลิตและประเมินหุ่นจำลองสมมูลเนื้อเยื่อรูปคนสำหรับการถ่ายภาพรังสี รวบรวมผลงานโครงการที่ได้รับทุน IRPUS ประจำปี 2547, หน้า 48-9.