

# หลักการพื้นฐานของการส่งตรวจรังสีวิทยา สำหรับศัลยแพทย์

ศุภิกา กฤษณีไพบูลย์

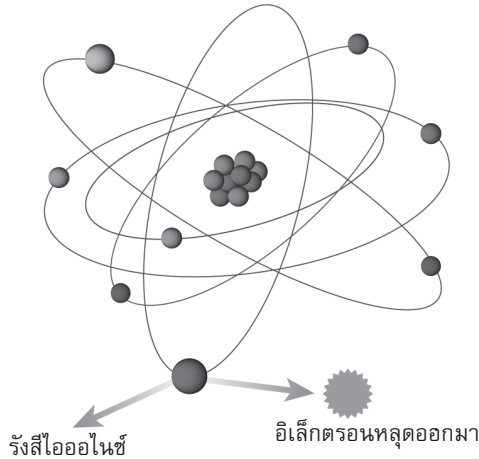
การเข้าใจหลักการพื้นฐานสำหรับการส่งตรวจทางรังสีวิทยาซึ่งประกอบไปด้วย การส่งตรวจหลากหลายชนิดในปัจจุบัน จะทำให้ศัลยแพทย์เลือกส่งตรวจและเตรียมผู้ป่วยได้เหมาะสมกับโรคและพยาธิสภาพที่สงสัย การส่งตรวจทางรังสีวิทยาสามารถแบ่งเป็นสองชนิดใหญ่ได้แก่ แบบที่มี ionizing radiation ซึ่งได้แก่ การส่งตรวจ conventional radiograph, fluoroscopy, computed tomography (CT), Positron Emission Tomography-CT และ angiogram และแบบที่ไม่มี ionizing radiation ซึ่งได้แก่ อัลตราซาวด์ (ultrasound) และเอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging) เป็นที่ทราบดีว่าการตรวจที่มี ionizing radiation จะมีผลกระทบและอันตรายจากรังสีเอกซ์ในบทความนี้จะกล่าวถึง

- รังสีไอออไนซ์ หรือ ionizing radiation และรังสีเอกซ์
- ผลกระทบของรังสีไอออไนซ์ต่อมนุษย์
- ข้อควรระวังเกี่ยวกับสารทึบรังสี (contrast agents)
- หลักการของการตรวจและเครื่องมือในการตรวจของแต่ละชนิด การเตรียม

ผู้ป่วยก่อนทำการตรวจ ข้อห้ามและข้อควรระวังในการตรวจ

## รังสีไอออไนซ์ หรือ ionizing radiation<sup>1-3</sup>

คือ รังสีที่มีปริมาณสูงพอที่จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอมหรือโมเลกุล การที่อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน หรือมีประจุบวกเพิ่มขึ้น เรียกว่าการไอออไนซ์ (ionization) และเรียกอะตอมที่มีประจุบวกเพิ่มขึ้นว่าไอออน (ion) (รูปที่ 1) รังสีไอออไนซ์ได้แก่

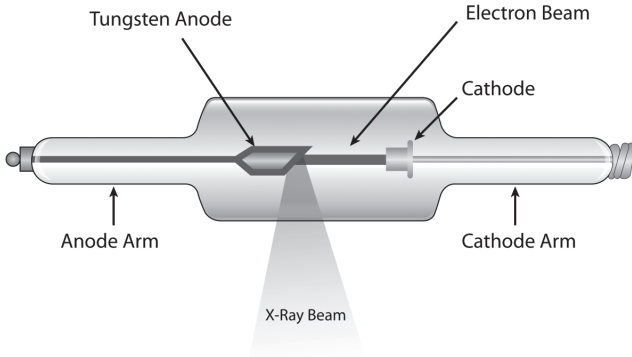


**รูปที่ 1** รังสีไอออไนซ์ที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากอะตอม หรือโมเลกุล

รังสีแกมมา (Gamma rays), รังสีเอกซ์ (X rays), รังสีแอลฟา (alpha particles), รังสีเบตา (Beta particles) และรังสีนิวตรอน (Neutrons) ซึ่งรังสีอัลฟา รังสีเบตา รังสีแกมมา และรังสีนิวตรอนได้มาจากการแตกตัวหรือสลายตัวของสารกัมมันตรังสี สำหรับรังสีเอกซ์เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ที่เกิดจากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้ชนแท่งโลหะในหลอดสุญญากาศ (รูปที่ 2) รังสีเอกซ์มีคุณสมบัติสามารถทะลุผ่านวัตถุที่ไม่หนาเกินไปและมีความหนาแน่นน้อยๆได้ เช่น กระดาษ ไม้ เนื้อเยื่อของคนและสัตว์ แต่ถ้าผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นมากเช่น กระจก ตะกั่ว อำนาจทะลุทะลวงก็จะลดลง นอกจากนั้นรังสีเอกซ์ยังมีคุณสมบัติเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้ เมื่อเราถ่ายภาพฟิล์มผ่านวัตถุหรืออวัยวะที่มีความหนาแน่นน้อยเช่นปอด ทำให้รังสีทะลุทะลวงได้มากและไปตกลงบนแผ่นฟิล์มมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยามาก เมื่อถ่ายภาพฟิล์มออกมาจึงมีสีดำ ในทางตรงกันข้าม กระจกหรือโลหะซึ่งมีความหนาแน่นมากจะเป็นสีขาวเมื่อถ่ายภาพฟิล์มออกมา

### ผลกระทบของรังสีไอออไนซ์ต่อมนุษย์<sup>4-7</sup>

ผลทางชีววิทยาของรังสีต่อร่างกายมนุษย์สามารถจำแนกได้เป็น 2 แบบได้แก่

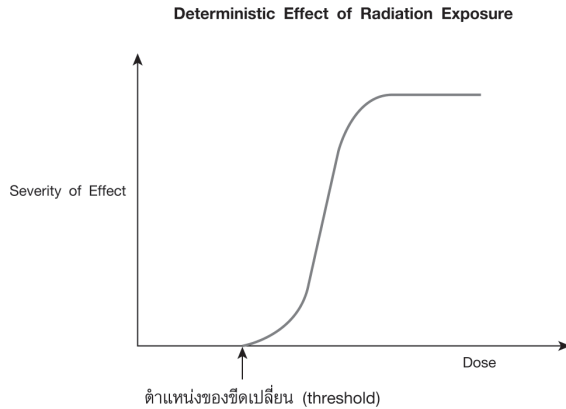


รูปที่ 2 รังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเร่งอนุภาคอิเล็กตรอนให้ชนแท่งโลหะในหลอดสุญญากาศ

**1. Deterministic effect** เกิดเมื่อร่างกายได้รับปริมาณรังสีเกินขีดเปลี่ยน (threshold) อาการและความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่ได้รับ (รูปที่ 3) เช่น มีผลต่อระบบไขกระดูกเมื่อได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 0.7 เกรย์ (Gray - Gy) มีผลต่อระบบทางเดินอาหารเมื่อได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 10 เกรย์ (Gy) มีผลต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด และระบบประสาทส่วนกลางเมื่อได้รับปริมาณรังสีมากกว่า 50 เกรย์ (Gy) ผลกระทบที่เจอได้บ่อยคือ ผิวงแดง (erythema) เมื่อได้รับปริมาณรังสี 3-10 เกรย์ (Gy) ซึ่งอาจเจอได้หลังการทำ angiogram, cardiac catheter หรือการทำ multidetector computed tomography (MDCT) หลายเฟส ซึ่งทำให้ผู้ป่วยได้รับรังสีปริมาณมากได้นอกจากนั้นยังมีภาวะที่เรียกว่า acute radiation syndrome (ARS) ซึ่งพบได้เมื่อได้รับรังสีปริมาณสูงมากทั้งตัว ในช่วงเวลาสั้นๆ และเฉียบพลัน (whole body acute exposure) มักเกิดจากอุบัติเหตุทางรังสี ซึ่งแบ่งได้เป็นสามกลุ่มอาการตามปริมาณรังสีที่ได้รับได้แก่

- กลุ่มอาการทางเลือด (Hematopoietic syndrome) เกิดเมื่อได้รับรังสีประมาณ 2-10 Gy โดยรังสีจะไปก่อกำหนดการทำงานของไขกระดูก อาจเสียชีวิตภายใน 1-2 เดือน

- กลุ่มอาการทางระบบทางเดินอาหาร (Gastrointestinal syndrome) เกิดเมื่อได้รับรังสีประมาณมากกว่า 10 Gy ซึ่งจะปรากฏอาการทางเลือดร่วมกับคลื่นไส้ อาเจียน และท้องร่วง และอาจเสียชีวิตภายใน 1-2 สัปดาห์

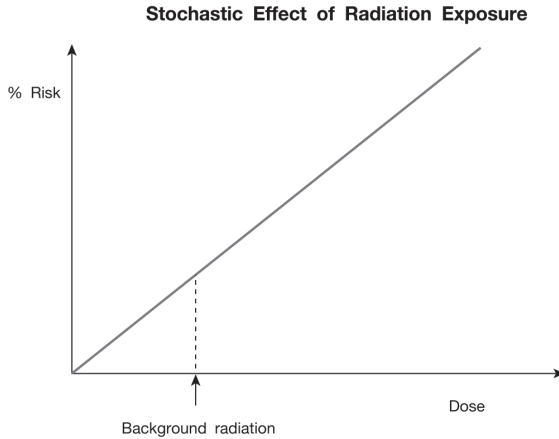


**รูปที่ 3** Deterministic effect เกิดเมื่อร่างกายได้รับปริมาณรังสีเกินขีดเปลี่ยน (threshold) อาการและความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่ได้รับ

- และกลุ่มอาการทางระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System syndrome) เกิดเมื่อได้รับรังสีประมาณมากกว่า 20 Gy อาจเสียชีวิตได้ภายในนาที หรือ เป็นวัน

**2. Stochastic effect** เกิดจากการได้รับปริมาณรังสีทุกระดับโดยไม่มีขีดเปลี่ยน (threshold) โอกาสการเกิดผลจากรังสีเป็นแบบสุ่ม กล่าวคือ อาจเกิดหรือไม่เกิดก็ได้ โดยโอกาสการเกิดจะเพิ่มตามปริมาณรังสีที่ได้รับ แต่ความรุนแรงของผลไม่ขึ้นกับปริมาณรังสี (รูปที่ 4) ตัวอย่างของผลทางรังสีแบบนี้ได้แก่ การเกิดมะเร็ง (carcinogenesis) และการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม (genetic mutation) ซึ่งมะเร็งที่พบจากการได้รับรังสีปริมาณมากได้แก่ มะเร็งเม็ดเลือด (leukemia) มะเร็งต่อมไทรอยด์ มะเร็งกระดุก และมะเร็งผิวหนัง<sup>4-6</sup> นอกจากนี้ผลของรังสีทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของยีนส์ และโครโมโซม และส่งผลถ่ายทอดทางพันธุกรรม ทำให้เกิดความผิดปกติในรุ่นลูกหรือรุ่นหลานได้ ซึ่งผลทางรังสีแบบนี้กำลังเป็นที่ได้รับความสนใจและตื่นตัวในปัจจุบัน เนื่องจากการใช้การส่งตรวจทางการแพทย์โดยเฉพาะเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นอย่างมาก

ดังนั้นควรมีการควบคุมการใช้ปริมาณรังสีทั้งปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ และเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการได้รับรังสี โดยใช้ให้น้อยที่สุด เท่าที่จำเป็นและเกิดประโยชน์สูงสุดตามหลักการของ As Low As Reasonably Achievable (ALARA)



**รูปที่ 4** Stochastic effect เกิดจากการได้รับปริมาณรังสีทุกระดับโดยไม่มีขีดเปลี่ยน (threshold) โอกาสการเกิดผลจากรังสีจะเพิ่มตามปริมาณรังสีที่ได้รับ แต่ความรุนแรงของผลไม่ขึ้นกับปริมาณรังสี

และควรระวังในกรณีหญิงวัยเจริญพันธุ์ที่มีโอกาสตั้งครรภ์เมื่อมารับการตรวจด้วยรังสีเอกซ์ โดยเฉพาะบริเวณช่องท้องและอุ้งเชิงกราน

## Conventional Radiographs

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่ารังสีเอกซ์ มีอำนาจทะลุทะลวงผ่านวัตถุที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน ได้ต่างกัน เราสามารถแบ่งความยาวดำของเนื้อเยื่อที่เกิดจากการถ่ายฟิล์มได้ 5 แบบจากขาวมากไปดำมาก ได้แก่ โลหะ หินปูนหรือกระดูก เนื้อเยื่อ ไขมัน และ อากาศ

**เทคนิคการถ่ายฟิล์มที่ควรทราบ** ได้แก่<sup>8</sup>

- แนวด้านหน้า (frontal projection) เป็นการถ่ายฟิล์มให้ลำแสงเอกซเรย์ขนานไปกับแกนซ้าย-ขวา (sagittal axis) โดยทั่วไปมักถ่ายแบบแนวหลังไปหน้า (postero-anterior view) กล่าวคือ ลำแสงเอกซเรย์อยู่ทางด้านหลังผู้ป่วยและแผ่นรับแสงอยู่ทางด้านหน้าชิดกับผนังทรวงอก หากถ่ายแบบแนวหน้า-หลัง (antero-posterior view) จะทำให้หัวใจซึ่งเป็นอวัยวะที่อยู่ด้านหน้าใหญ่กว่าขนาดจริง เนื่องจากเอกซเรย์เป็นลำแสงแบบเบนออก (divergence)

- แนวด้านข้าง (lateral projection) เป็นการถ่ายภาพฟิล์มให้ลำแสงเอกซเรย์ขนานไปกับแกนหน้าหลัง (coronal axis) ช่วยบอกตำแหน่งของรอยโรคหรือพยาธิสภาพได้ชัดเจนขึ้น

- ท่านอนตะแคง (decubitus view) เป็นการถ่ายภาพฟิล์มโดยให้ผู้ป่วยนอนตะแคงแนบไปกับพื้นราบและลำแสงเอกซเรย์เป็นแนวขวางผ่านด้านข้างลำตัวของผู้ป่วย การถ่ายภาพฟิล์มท่านนี้มีประโยชน์ในการประเมินภาวะน้ำในปอด (pleural effusion) หรือภาวะลมรั่วต่างๆ เช่น pneumothorax หรือ pneumoperitoneum

- ทำหายใจออก (expiratory view) มีประโยชน์ในการดูภาวะลมค้าง (air trapping) เช่นอาจเกิดจากภาวะมีการอุดกั้นของสิ่งแปลกปลอมในหลอดลม

ปริมาณรังสียังผล (effective dose) ของในการตรวจเอกซเรย์ในแต่ละส่วนเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีที่มีตามธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 1

### สารทึบรังสี (contrast agents)

สารทึบรังสีทำขึ้นเพื่อให้เห็นความแตกต่างของความหนาแน่นของเนื้อเยื่อเมื่อทำการ

ตารางที่ 1 ปริมาณรังสีเป็น effective dose (หน่วยเป็น millisievert - mSv)<sup>9</sup>

|                                      | ปริมาณรังสี (mSv) | ปริมาณรังสีเทียบกับฟิล์มเอกซเรย์ปอด 1 ใบ | ปริมาณรังสีเทียบกับรังสีที่มีตามธรรมชาติ (natural background dose) |
|--------------------------------------|-------------------|--|--|
| ฟิล์มเอกซเรย์ปอด (ถ่ายแบบหลังไปหน้า) | 0.02              | 1  | 3 วัน  |
| ฟิล์มเอกซเรย์กะโหลก                  | 0.07              | 3.5                                      | 11 วัน   |
| ฟิล์มเอกซเรย์สะโพก                   | 0.3               | 15                                       | 7 สัปดาห์  |
| ฟิล์มเอกซเรย์กระดูกสันหลังส่วนอก     | 0.7               | 35                                       | 4 เดือน  |
| ฟิล์มเอกซเรย์อุ้งเชิงกราน            | 0.7               | 35                                       | 4 เดือน  |
| ฟิล์มเอกซเรย์ช่องท้อง                | 1.0               | 50                                       | 6 เดือน  |
| ฟิล์มเอกซเรย์กระดูกสันหลังส่วนเอว    | 1.3               | 65                                       | 7 เดือน  |

เอกซเรย์ และไม่มี ความแตกต่างของความหนาแน่นของเนื้อเยื่อตามธรรมชาติ เช่น ช่วยให้เห็นเส้นเลือดที่อยู่ในอวัยวะต่างๆ ได้<sup>10</sup> เราสามารถแบ่งสารทึบรังสีเป็นสองประเภทใหญ่ ได้แก่ สารทึบรังสีแบบทึบ (positive contrast agents) เช่น ไอโอดีนหรือแบเรียม สารทึบรังสีจำพวกนี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูง และอีกประเภท คือสารทึบรังสีแบบใส (negative contrast agents) ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น อากาศ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) สำหรับไอโอดีนหรือแบเรียมจะทำการดูดกลืนแสงเอกซเรย์ไว้ทำให้ปรากฏเป็นสีขาวในฟิล์ม ขณะที่อากาศ หรือก๊าซจะปรากฏเป็นสีดำในฟิล์ม บางครั้งเราสามารถนำสารทึบรังสีทั้งสองชนิดมาใช้ร่วมกัน เรียก double contrast study เช่นการสวนแป้งแบเรียมในผู้ใหญ่ (double contrast barium enema) ใช้ทั้งลมและแป้งแบเรียม เพื่อดูรายละเอียดของผนังลำไส้ใหญ่ได้ชัดเจนขึ้น ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

## Negative contrast agents

**อากาศ (Air)** ดังได้กล่าวมาแล้ว คือใช้เป็นส่วนหนึ่งในการทำ double contrast study ร่วมกับแบเรียม ซึ่งเป็นการตรวจทางระบบทางเดินอาหาร เช่น กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็กส่วนต้นและลำไส้ใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันยังใช้ในการตรวจพิเศษบางอย่างเช่น การตรวจลำไส้ใหญ่ด้วยเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ (CT colonoscopy) ซึ่งต้องเป่าลมผ่านทางทวารหนักเข้าไปทางลำไส้ใหญ่ ทำให้เห็นพยาธิสภาพของผนังลำไส้ด้านในได้ชัดเจนขึ้น

**ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide)** ใช้เป็นส่วนหนึ่งในการทำ double contrast study เช่นกัน แต่เป็นการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน มักมาในรูปของผงฟู (effervescent granules) ซึ่งแตกตัวเป็นฟองได้เมื่อกินลงไป หรือบางครั้งใช้การดื่ม น้ำอัดลมแทนได้เช่นกัน นอกจากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังใช้ในการตรวจเส้นเลือดในกรณีเมื่อผู้ป่วยมีข้อห้ามในการใช้สารทึบรังสีชนิดไอโอดีน ซึ่งสามารถใช้ตรวจได้ทั้งหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (carbon dioxide angiogram/ venogram) ทั้งแบบให้การวินิจฉัยและรักษา ข้อดีคือก๊าซชนิดนี้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ไม่มีพิษต่อไตและตับ ข้อควรระวังคือไม่ใช้สำหรับการตรวจเส้นเลือดที่อยู่เหนือกะบังลม เนื่องจากมีโอกาสเกิดภาวะอากาศก้ำขูดตันในเส้นเลือด (air embolism) บริเวณไขสันหลัง

หลอดเลือดแดงหัวใจ และหลอดเลือดแดงคาร์โรติด และควรระวังในผู้ป่วยที่ภาวะความดันหลอดเลือดแดงที่ปอดสูง (pulmonary hypertension) ผู้ป่วยที่มีรอยรั่วที่ผนังกันห้องหัวใจ และผู้ป่วยที่มีความผิดปกติของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำที่ปอดแต่กำเนิด (pulmonary arteriovenous malformation)<sup>11-14</sup>

## Positive contrast agents

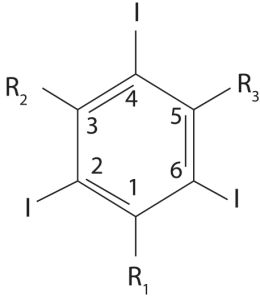
**แป้งแบเรียม (Barium agents)** ใช้จำเพาะกับการตรวจระบบทางเดินอาหาร ซึ่งถูกเตรียมในรูปของสารแขวนลอยในของเหลว (barium sulphate suspension) แป้งแบเรียมซัลเฟตมีคุณสมบัติเคลือบและเกาะตัวเป็นชั้นบางๆ บนเยื่อบุผิวลำไส้ด้านใน ทำให้ได้ภาพที่ดีมากในการตรวจแบบ double contrast study ร่วมกับลมหรือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สำหรับการตรวจโดยใช้แป้งแบเรียมอย่างเดียวหรือเรียกว่า single contrast study ใช้ในกรณีสงสัยภาวะลำไส้อุดตัน (obstruction) หรือตรวจทางเดินอาหารในเด็กอายุน้อยกว่า 7 ปี การเตรียมผู้ป่วยสำหรับการตรวจด้วยแป้งแบเรียม หากเป็นการตรวจลำไส้ใหญ่ควรเตรียมลำไส้ให้สะอาด หากเป็นการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน ควรงดน้ำงดอาหารอย่างน้อย 6 ชั่วโมง<sup>10</sup>

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้แป้งแบเรียมในกรณีที่สงสัยลำไส้ทะลุ เนื่องจากเมื่อแป้งแบเรียมเข้าช่องท้อง ทำให้เกิดปฏิกิริยาการอักเสบ อาจเกิดเป็นผังผืด granulomatous reaction หรืออันตรายถึงแก่ชีวิตได้

### สารทึบรังสีแบบละลายน้ำได้ (water soluble contrast media)

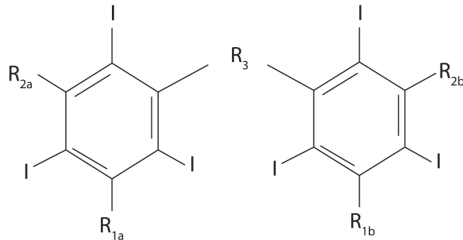
สารทึบรังสีประเภทนี้ประกอบด้วยธาตุไอโอดีน ซึ่งมีเลขอะตอมที่สูง สามารถดูดกลืนแสงเอกซเรย์ และปรากฏเป็นสีขาวหรือทึบแสง (radio-opacity) ในฟิล์ม ปัจจุบันเราแบ่งสารทึบรังสีไอโอดีนได้สี่ประเภทตามโครงสร้างทางเคมีพื้นฐาน โดยทุกประเภทจะประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (benzene ring) ที่มีอะตอมของไอโอดีนที่ตำแหน่ง 2,4,6 หากมีวงแหวนเบนซีนหนึ่งอันเรียก monomer (รูปที่ 5) หากมีวงแหวนเบนซีนต่อกันสองอันในหนึ่งโมเลกุลซึ่งจะมีไอโอดีนทั้งหมด 6 อะตอมเรียกว่า dimer (รูปที่ 6) เมื่อฉีดสารทึบรังสีเข้าเส้นเลือด จะมีการแพร่กระจายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีความสามารถสูงในการซึมผ่านเส้นเลือดฝอยออกนอกเส้นเลือดและเซลล์ (extravascular, extracellular





รูปที่ 5 สารที่บรังสีไอโอดีนแบบ monomer ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (benzene ring) หนึ่งอันมีอะตอมของไอโอดีนที่ตำแหน่ง 2,4,6

รูปที่ 6 สารที่บรังสีไอโอดีนแบบ dimer ประกอบด้วยวงแหวนเบนซีน (benzene ring) สองอันมีไอโอดีนทั้งหมด 6 อะตอม



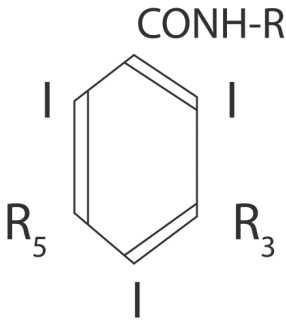
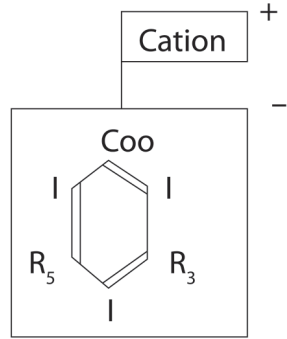
space) และซับซ้อนทางไตมากกว่าร้อยละ 90

เราสามารถแบ่งสารที่บรังสีที่มีไอโอดีนเป็นส่วนประกอบได้ดังนี้<sup>15</sup>

**1. Ionic monomers (High osmolar contrast media - HOCM)** ประกอบด้วยเกลือโซเดียมหรือแมกนีเซียม (meglumine) ซึ่งไม่ที่บรังสีและป็นประจุบวก และส่วนของไอโอดีนสามอะตอมในวงแหวนเบนซีนซึ่งที่บรังสีและเป็นประจุลบ สารที่บรังสีประเภทนี้สามารถแตกตัวและละลายในน้ำได้ ออกเป็นสองประจุ ทำให้ได้สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นสามต่อสอง (3:2) หรือ (1.5:1) (รูปที่ 7) ข้อเสียคือมีค่า osmolarity ที่สูงกล่าวคือ 1500-1700 mosmols/kg water ต่อ 300 mg iodine/ml เมื่อเทียบกับค่า osmolarity ในเลือดซึ่งกับ 300 mosmols/kg water

**2. Non-ionic monomers (Low osmolar contrast media - LOCM)** มีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำทำให้สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นสามต่อหนึ่ง (3:1) (รูปที่ 8) และ osmolarity ลดลงกว่าชนิดแรกมากกว่าครึ่งหนึ่ง กล่าวคือมี osmolarity ประมาณ 600-700 mosmols/kg water ต่อ 300 mg iodine/ml ซึ่งเมื่อค่า osmolarity น้อยลง

รูปที่ 7 สารที่บรังสีไอโอดีนแบบ ionic monomers สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นสามต่อสอง (3:2) หรือ (1.5:1)

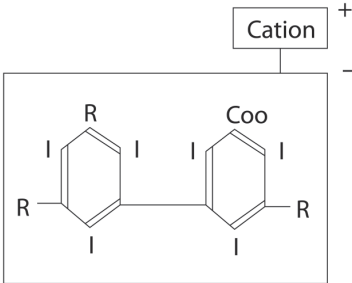


รูปที่ 8 สารที่บรังสีไอโอดีนแบบ non-ionic monomers สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นสามต่อหนึ่ง (3:1)

จะพบผลข้างเคียงจากสารที่บรังสีน้อยกว่า

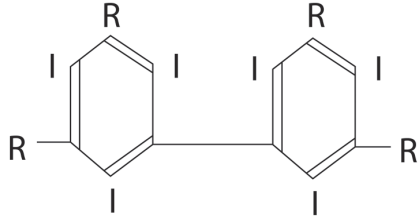
**3. Ionic dimers (Low osmolar contrast media - LOCM)** เป็นการประกอบกันของเกลือโซเดียมหรือแมกกลูมิน (meglumine) และวงแหวนเบนซินสองอัน เมื่อละลายน้ำจะแตกตัวได้ออออนบวกของเกลือโซเดียมหรือแมกกลูมิน 1 ประจุ และไอออนลบของไอโอดีนหกอันทำให้ได้สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นหกต่อสอง (6:2) หรือสามต่อหนึ่ง (3:1) (รูปที่ 9) สารที่บรังสีประเภทนี้มี osmolarity ใกล้เคียงกับชนิดที่สอง กล่าวคือ 560 mosmols/kg water ต่อ 300 mg iodine/ml

**4. Non-ionic dimers (Low osmolar contrast media - LOCM)** ประกอบด้วยวงแหวนเบนซินสองอันต่อกัน และไม่ละลายน้ำ ทำให้ได้สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นหกต่อหนึ่ง (6:1) (รูปที่ 10) ซึ่งสารที่บรังสีประเภทนี้มี osmolarity ใกล้เคียงหรือเท่ากับเลือดมากที่สุด กล่าวคือ 300 mosmols/kg water ต่อ 300 mg iodine/



รูปที่ 9 แสดงสารทึบรังสีไอโอดีนแบบ ionic dimers สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นหกต่อสอง (6:2) หรือสามต่อหนึ่ง (3:1)

รูปที่ 10 สารทึบรังสีไอโอดีนแบบ non-ionic dimers สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัวเป็นหกต่อหนึ่ง (6:1)



ml อย่างไรก็ตามหนึ่งในสารทึบรังสีประเภทนี้ที่มีชื่อว่า Iotrolan ได้ถูกยกเลิกการใช้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการแพ้แบบ delayed reactions ได้บ่อยโดยเฉพาะทางผิวหนัง ปัจจุบันมีเพียงสารทึบรังสีที่ชื่อ Iodixanol ที่จัดอยู่ในประเภทนี้ และมีรายงานว่ามีผลเป็นพิษต่อไตน้อยกว่ากลุ่ม non-ionic monomers

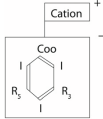
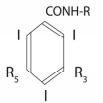
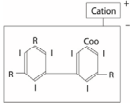
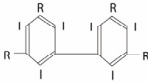
สูตรทางเคมี สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัว และ osmolality ของสารทึบรังสีแบบละลายน้ำได้ทั้งสี่ชนิดได้สรุปไว้ดังตารางที่ 2

ข้อบ่งชี้ในการใช้สารทึบรังสีแบบมีไอโอดีน<sup>(16)</sup>

1) ฉีดเข้าหลอดเลือด

- หลอดเลือดดำ
  - เอกซเรย์คอมพิวเตอร์
  - Intravenous urography
  - Venography (phlebography)
- หลอดเลือดแดง
  - Angiocardiography

**ตารางที่ 2** สูตรทางเคมี สัดส่วนของไอโอดีนต่อสารแตกตัว และ osmolarity ของสารที่บรังสีแบบละลายน้ำ

| ชนิดของสารที่บรังสีที่มีไอโอดีน | สูตรทางเคมีของสารที่บรังสี   | Iodine atom: particle | Osmolarity Osmols/kgs H <sub>2</sub> O 280 mg I2/ml |
|---------------------------------|--|-----------------------|---|
| Ionic monomer (HOIM)            | <br>(รูปที่ 7)  | 3:2                   | 1500  |
| Nonionic monomer (LOIM)         | <br>(รูปที่ 8)  | 3:1                   | 600   |
| Ionic dimer (LOIM)              | <br>(รูปที่ 9)  | 6:2                   | 560   |
| Nonionic dimer (LOIM)           | <br>(รูปที่ 10) | 6:1                   | 300   |

- เอกซเรย์คอมพิวเตอร์
- Coronary and pulmonary angiography
- Aortography
- Visceral and peripheral angiography
- Digital subtraction angiography
- Cervical nervous system (cerebral, vertebral และ spinal angiography)

- 2) ฉีดเข้าไขสันหลัง
  - Myelography
  - Cisternography

## 3) อื่นๆ

- Oral, rectal หรือ ostomy ต่างๆ ของระบบทางเดินอาหาร ได้แก่ การตรวจฟลูออโรสโคปี (fluoroscopy)
- Body cavities ได้แก่ herniography, peritoneography, vaginography
- Hysterosalpingography
- Arthrography
- Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP)
- Cholangiography
- Nephrostography
- Pyelography - antegrade, retrograde
- Urethrography - voiding, retrograde
- Cystography
- Sialography
- Ductography (ตรวจดูท่อน้ำนม)
- อื่นๆ เช่นดู sinus tract ต่างๆ หรือบอกตำแหน่งของสายสวนต่างๆ

**ประเภทของอาการไม่พึงประสงค์ (adverse reaction) จากการฉีดสารทึบรังสีแบบมีไอโอดีน**<sup>15,16</sup>

**1. Idiosyncratic anaphylactoid reactions** ส่วนมากมักเกิดระหว่างหรือหลังจากฉีดสารทึบรังสีเข้าร่างกายไปแล้วทันที การเกิดอาการไม่พึงประสงค์ไม่ขึ้นกับปริมาณของสารทึบรังสี และไม่จำเป็นต้องเคยรับสารทึบรังสีมาก่อนก็แพ้ได้ และถึงแม้จะเคยแพ้มาก่อนก็อาจจะไม่เกิดขึ้นอีกก็ได้ อาการที่เกิดขึ้นจะคล้ายกับ anaphylactic หรือ allergic reactions เพียงแต่ไม่พบ Ig E antibody

**2. Non-idiosyncratic reactions** การเกิดอาการไม่พึงประสงค์ขึ้นกับปริมาณของสารทึบรังสี ดังนั้นจึงขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติของสารทึบรังสี รวมถึงอัตราการฉีด และการได้รับสารทึบรังสีหลายๆ ครั้ง ซึ่งอาการในกลุ่มนี้จะมีผลต่อหลายระบบในร่างกายได้แก่ ระบบหัวใจ ทำให้เกิดอาการหัวใจเต้นผิดจังหวะ (cardiac

arrhythmias) น้ำท่วมปอด (pulmonary edema) มักเกิดในผู้ป่วยที่มีโรคหัวใจผิดปกติอยู่ก่อน หรืออาจมีผลต่อระบบประสาทเกิด vasomotor collapse หรือ vasovagal reaction พบอาการความดันต่ำ และหัวใจเต้นช้ากว่าปกติได้

**3. Delayed adverse reactions** เป็นได้ทั้งแบบ allergic-like และ non-allergic-like อาการเกิดได้ตั้ง 30-60 นาที หรือ 1 สัปดาห์ หลังฉีดสารที่บรังสี พบได้ประมาณร้อยละ 0.5 ถึง 14 และมักเป็นอาการทางผิวหนัง เจอในสารที่บรังสีกลุ่ม non-ionic dimer มากกว่า non-ionic monomer

#### ความรุนแรงของอาการไม่พึงประสงค์ (adverse reaction)<sup>15,16</sup>

- รุนแรงน้อย (mild reactions) ได้แก่ คลื่นไส้ อาเจียน รู้สึกอ่อน ร้อนวูบวาบ (flushing) เจ็บบริเวณเส้นเลือดที่ฉีดซึ่งอาการเหล่านี้เป็นการตอบสนองทางสรีรวิทยา (physiologic response) ไม่ถือเป็นการแพ้สารที่บรังสีแต่อย่างใด เจอได้ร้อยละ 10 ของสารที่บรังสีชนิด HOCM และน้อยกว่าร้อยละ 1 ของสารที่บรังสีชนิด LOCM นอกจากนั้นยังพบอาการผื่นลมพิษ (allergic like reaction) ได้ อาการเหล่านี้ส่วนมากมักไม่รุนแรง ควรรับตัวไว้รอสังเกตอาการ 20-30 นาที หรืออาจให้ยากลุ่ม antihistamine เพื่อรักษาอาการผื่นได้

- รุนแรงปานกลาง (moderate reactions) เป็นกลุ่มอาการของ allergic like reactions ได้แก่ หลอดลมหดตัว (bronchospasm) ปากหรือลิ้นบวม ความดันโลหิตต่ำและหัวใจเต้นเร็ว และกลุ่มอาการ non allergic like reactions ได้แก่ vagovagal reaction แบบรุนแรง อาการในกลุ่มนี้เจอได้ ร้อยละ 0.5-2 ของสารที่บรังสีชนิด HOCM และน้อยกว่าร้อยละ 0.25 ของสารที่บรังสีชนิด LOCM หากผู้ป่วยมีอาการในกลุ่มนี้ควรได้รับการรักษาทันที

- รุนแรงมาก (severe reaction) มักเป็น allergic like reactions และอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้แก่ หลอดลมหดตัวแบบรุนแรง กล้องเสียงบวม น้ำท่วมปอด ความดันโลหิตต่ำมาก หัวใจเต้นผิดจังหวะ หรือหัวใจหยุดเต้น นอกจากนั้นอาจพบอาการชักได้ซึ่งเป็นกลุ่มอาการ non allergic like reactions หากผู้ป่วยมีอาการในกลุ่มนี้ควรได้รับการรักษาอย่างเร่งด่วน ยาที่ใช้รักษาอาการในกลุ่มนี้เป็นยาในกลุ่ม epinephrine กลุ่มผู้ป่วยที่มีอาการเสี่ยงต่อการเกิด acute allergic like reactions

- มีประวัติแพ้สารที่บ่งสีมาก่อน (ทั้งนี้ไม่รวมกลุ่มอาการคลื่นไส้และหน้าแดง)
- ภูมิแพ้ (allergic และ atopy) รวมถึงการแพ้อาหารทะเล
- หอบหืด (asthma)

ผู้ป่วยกลุ่มนี้ควรได้รับการเตรียมตัวโดยให้ยาดังต่อไปนี้เพื่อลดอาการไม่พึงประสงค์ซึ่งจากรายงานพบว่าทำให้ยาล้างหน้าจะลดอาการไม่พึงประสงค์ชนิดรุนแรงน้อย ยังไม่มีรายงานว่าสามารถป้องกันการเกิดอาการไม่พึงประสงค์ชนิดรุนแรงมากได้ การเตรียมตัวผู้ป่วยโดยการให้ยามีดังนี้ตามคำแนะนำของ ACR Manual on contrast media version 8 โดย ACR Committee<sup>16</sup>

### การเตรียมผู้ป่วยล่วงหน้า (Elective Premedication)

มีสูตรให้เลือก 2 แบบ

1. Prednisolone ขนาด 50 มิลลิกรัม ทางปาก ก่อนฉีดสารทึบรังสีที่ 13,7 และ 1 ชั่วโมง และ Diphenhydramine (Benadryl®) 50 ขนาด 50 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือดหรือเข้ากล้ามเนื้อ หรือกินทางปาก 1 ชั่วโมงก่อนฉีดสารทึบรังสี

2. Methylprednisolone (Medrol®) ขนาด 32 มิลลิกรัม ทางปาก ก่อนฉีดสารทึบรังสีที่ 12 และ 2 ชั่วโมง ร่วมกับยาในกลุ่ม antihistamine หากผู้ป่วยไม่สามารถกินยาในกลุ่ม prednisolone ทางปากได้ ให้เปลี่ยนเป็น hydrocortisone ขนาด 200 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือดแทนได้

### การเตรียมผู้ป่วยกรณีฉุกเฉิน (Emergency Premedication)

1. Methyl prednisolone sodium succinate (Solu-Medrol®) ขนาด 40 มิลลิกรัม หรือ hydrocortisone sodium succinate (Solu-Cortel®) ขนาด 200 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือดทุก 4 ชั่วโมง จนกระทั่งฉีดสารทึบรังสี ร่วมกับ Diphenhydramine (Benadryl®) ขนาด 50 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือด 1 ชั่วโมงก่อนฉีดสารทึบรังสี

2. Dexamethasone sodium sulfate (Decadron®) ขนาด 7.5 มิลลิกรัม หรือ betamethasone ขนาด 6 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือดทุก 4 ชั่วโมง จนกระทั่งฉีด

สารที่บรังสี ใช้แทนในกรณีที่มีผู้ป่วยมีประวัติแพ้ methylprednisolone, aspirin หรือยาในกลุ่ม non-steroid anti-inflammatory drugs ร่วมกับ Diphenhydramine ขนาด 50 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือด 1 ชั่วโมงก่อนฉีดสารที่บรังสี

3. ละเว้นยากกลุ่ม steroid ให้แต่เพียง Diphenhydramine ขนาด 50 มิลลิกรัม ฉีดเข้าทางหลอดเลือด

**หมายเหตุ** มีรายงานว่ายากกลุ่ม steroid ฉีดเข้าทางหลอดเลือดไม่สามารถลดอาการไม่พึงประสงค์ได้ หากฉีดเข้าทางหลอดเลือดน้อยกว่า 4-6 ชั่วโมงก่อนฉีดสารที่บรังสี

นอกจากนั้นก็มีผู้ป่วยกลุ่มอื่นๆ ดังต่อไปนี้ที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดอาการไม่พึงประสงค์จากการฉีดสารที่บรังสีแบบไอโอดีนและแนะนำให้เลือกใช้สารที่บรังสีกลุ่ม LOCM

- ผู้ป่วยโรคหัวใจ ได้แก่ ผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจล้มเหลว ผู้ป่วยลิ้นหัวใจ เอออร์ติคตีบ ผู้ป่วยความดันหลอดเลือดแดงในปอดสูง ผู้ป่วย cardiomyopathy แบบรุนแรง

- ผู้ป่วยไตวาย

- ผู้ป่วยกลุ่ม paraproteinemia เช่น multiple myeloma

- ทารกและผู้สูงอายุ

- Pheochromocytoma

- Hyperthyroidism

- ผู้ป่วยเบาหวานที่การทำงานของไตไม่ดี และได้รับยา metformin เนื่องจากทำให้เกิดภาวะมีกรดแลคติกคั่งในเลือดได้ (lactic acidosis) แนะนำให้หยุดยา ในช่วงที่ได้รับสารที่บรังสีและเว้นไปอีกอย่างน้อย 48 ชั่วโมง

**ภาวะไตเป็นพิษจากการฉีดสารที่บรังสีแบบไอโอดีน (contrast induced nephrotoxicity - CIN)**

เป็นภาวะที่การทำงานของไตแย่ลงอย่างฉับพลันหลังการฉีดสารที่บรังสีแบบ ไอโอดีน เชื่อว่าเกิดจากเส้นเลือดที่ไตหดตัว (vasoconstriction) และท่อไตเป็นพิษ (tubular toxicity) เกณฑ์ในการวินิจฉัยภาวะนี้คือค่า creatinine ในเลือดเพิ่มขึ้น 0.5 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 25-50 จากค่าเดิม โดยทั่วไปค่า creatinine ใน



เลือดจะเพิ่มขึ้น 24 ชั่วโมงหลังฉีดสารทึบรังสี และเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อ 4 วัน หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงสู่ระดับปกติภายใน 7-10 วัน ผู้ป่วยกลุ่มที่ควรตรวจคัดกรองเจาะเลือดเพื่อหาค่า creatinine ในเลือดก่อนได้รับการฉีดสารทึบรังสีแบบไอโอดีนได้แก่<sup>16</sup>

- อายุมากกว่า 60 ปี
- ประวัติเป็นโรคไต ได้แก่ ได้รับการล้างไตหรือฟอกเลือดอยู่ ได้รับการปลูกถ่ายไต มีไตข้างเดียว มีประวัติการผ่าตัดไต
- ประวัติเป็นความดันโลหิตสูงและได้รับยาลดความดัน
- ประวัติเป็นเบาหวาน

วิธีการป้องกันภาวะไตเป็นพิษจากการฉีดสารทึบรังสีได้แก่ หลีกเลี่ยงการใช้สารทึบรังสีแบบไอโอดีนอาจเลี่ยงไปตรวจโดยอัลตราซาวด์ หรือเอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging - MRI) ซึ่งต้องระวังการฉีดสารทึบรังสีสำหรับเอ็มอาร์ไอเช่นกัน (จะได้อีกต่อไป) เลือกใช้สารทึบรังสีกลุ่ม LOCM ซึ่งพบว่าเป็นพิษต่อไตน้อยกว่า การให้สารน้ำอย่างเพียงพอ อาจให้เป็น 0.9% NSS เข้าทางเส้นเลือดอัตรา 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ก่อนฉีดสารทึบรังสี 6-12 ชั่วโมง และให้ต่อไปจน 4-12 ชั่วโมงหลังฉีดสารทึบรังสี

#### **ภาวะสารทึบรังสีรั่วออกนอกเส้นเลือด (extravasation of contrast media)**

ภาวะนี้สามารถเกิดได้ทั้งการฉีดสารทึบรังสีโดยใช้มือ หรือใช้เครื่องฉีด (power injection) อุบัติการณ์การเกิดภาวะสารทึบรังสีรั่วโดยใช้เครื่องฉีดพบได้ร้อยละ 0.1 ถึง 0.9 และทั้งนี้พบว่าสัมพันธ์กับปริมาณสารทึบรังสีที่ฉีด ไม่ได้สัมพันธ์กับอัตราการฉีด อาการที่พบได้แก่ บวม ตึง แดง ระบายเคืองและปวดแสบปวดร้อนบริเวณที่ฉีดสารทึบรังสี<sup>16</sup>

เมื่อสารทึบรังสีรั่วออกนอกเส้นเลือดจะเกิดปฏิกิริยาการอักเสบเฉพาะที่ และส่วนมากจำกัดอยู่ตรงเนื้อเยื่อข้างเคียง และมักไม่พบการบาดเจ็บแบบถาวร การบาดเจ็บต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงมักสัมพันธ์กับสารทึบรังสีชนิด HOCM แต่อย่างไรก็ดีสามารถพบการบาดเจ็บแบบรุนแรงแม้ว่าใช้สารทึบรังสีแบบ LOCM อันได้แก่ ภาวะ compartment syndrome ภาวะแผลพุพอง (ulceration) หรือ ภาวะผิวหนังตาย (skin necrosis) ซึ่งบริเวณที่เกิดความเสี่ยงได้แก่ ด้านหลังมือ หลังเท้า หรือบริเวณข้อเท้า นอกจากนี้ยังพบในผู้ป่วยที่มีภาวะขาดเลือดแดง (arterial insufficiency) หรือมีการรบกวนการไหลเวียนกลับของหลอดเลือดดำหรือระบบน้ำเหลือง

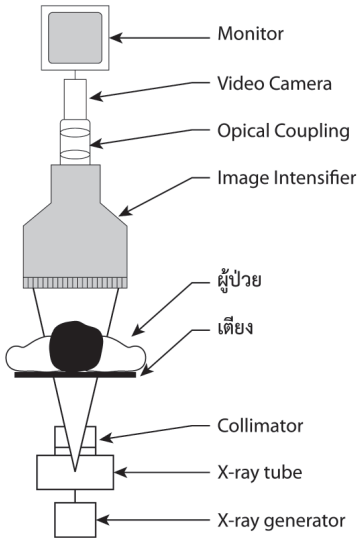
หากเกิดภาวะสารที่บรั้งสีรั่วออกนอกเส้นเลือดแบบรุนแรงต้องปรึกษาศัลยแพทย์ เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการรักษาแบบผ่าตัด

จนปัจจุบันยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจนสำหรับการรักษาภาวะสารที่บรั้งสีรั่วออกนอกเส้นเลือด มีคำแนะนำให้ยกแขน หรือขา ให้สูงกว่าระดับหัวใจเพื่อที่จะลดแรงดันภายในหลอดเลือดฝอย (hydrostatic pressure) และเพิ่มการดูดซึมกลับของสารที่บรั้งสี สำหรับการประคบร้อนหรือเย็นนั้นก็ยังมีสองความเชื่อว่าการประคบเย็นจะช่วยลดอาการเจ็บปวด และการประคบร้อนเพิ่มการไหลเวียนของโลหิตไปยังระยะบางส่วนปลาย และยังช่วยเพิ่มการดูดซึมกลับของสารที่บรั้งสี อย่างไรก็ตามยังไม่มีคำแนะนำให้ใช้เข็มเจาะดูดสารที่บรั้งสีที่รั่วออกมา<sup>16</sup>

หากพบภาวะนี้ ในกรณีเป็นผู้ป่วยนอกให้รับตัวไว้สังเกตอาการก่อนประมาณ 2-3 ชั่วโมง และอนุญาตให้กลับบ้านได้เมื่ออาการดีขึ้น หรืออาการคงที่ไม่เป็นมากขึ้น พร้อมทั้งให้คำแนะนำว่า หากมีอาการที่บวมตึงมากขึ้น มีแผลพุพอง เป็นตุ่มน้ำ ปวดหรือมีอาการขาให้รีบมาโรงพยาบาล

## หลักการของการตรวจฟลูออโรสโคป

เป็นการตรวจที่ใช้เครื่องตรวจที่เรียกว่าเครื่องฟลูออโรสโคป ซึ่งจะให้ภาพ ณ ขณะนั้น ในขณะที่อวัยวะหรือผู้ป่วยมีการเคลื่อนไหว หลอดเอกซเรย์อยู่ได้เพียงปล่อยแสงผ่านตัวผู้ป่วยที่นอนอยู่บนเตียง และเหนือตัวผู้ป่วยมี image intensifier เพื่อรับ input จากหลอดเอกซเรย์และเปลี่ยนลำแสงเอกซเรย์เป็นภาพที่สามารถมองเห็นได้และมีแสงสว่างโดยอาศัยการเปลี่ยนเป็นอิเล็กตรอนและถูกเร่งอยู่ในหลอดสุญญากาศและอาศัย output phosphor เพื่อที่จะเปลี่ยนต่อเป็นโฟตอนและถูกส่งผ่านไปยัง optical coupling โดย output window ของ image intensifier และถูกส่งต่อไปยังกล้องที่อัดวิดีโอ (video camera) ภาพที่เกิดขึ้นจาก video camera จะถูกเปลี่ยนให้มองเห็นได้จากจอทีวี (รูปที่ 11) การตรวจโดยใช้เครื่องฟลูออโรสโคปจะใช้สารที่บรั้งสีมาช่วยเพื่อให้เห็นอวัยวะภายในได้ชัดเจนขึ้น<sup>17</sup> ในที่นี้จะกล่าวถึงการตรวจสองชนิดที่ใช้เครื่องฟลูออโรสโคป และใช้บ่อยในผู้ป่วยศัลยกรรมได้แก่ การกลืนแป้ง (esophagogram และ upper gastrointestinal study) และการสวนแป้ง (barium enema)



รูปที่ 11 ส่วนประกอบของเครื่องฟลูออโรสโคป

## การตรวจหลอดอาหารและทางเดินอาหารส่วนบน (Esophagogram และ Upper Gastrointestinal Study)

หลักการของการตรวจระบบทางเดินอาหารโดยทั่วไป คือตรวจแบบ single หรือ double contrast study ความแตกต่างคือ single contrast study ใช้สารทึบรังสีเพียงหนึ่งชนิดมักเป็น positive contrast agents เพื่อประเมินลักษณะและช่องภายในทางเดินอาหาร สำหรับ double contrast study นั้นใช้สารทึบรังสีรวมกันสองชนิดมักเป็น positive และ negative contrast agents เพื่อเน้นการประเมินรายละเอียดของเยื่อบุผิวด้านใน (mucosa) เป็นหลัก และการประเมินลักษณะและช่องภายในทางเดินอาหารสำคัญรองลงมา ส่วนมากในผู้ป่วยเด็กที่น้อยกว่า 7 ปีได้รับการตรวจแบบ single contrast study และผู้ป่วยเด็กที่อายุมากกว่า 7 ปีและผู้ใหญ่ได้รับการตรวจแบบ double contrast study โดยอาศัยเครื่องฟลูออโรสโคป ในการตรวจผู้ป่วยเคลื่อนไหวตัว นอนตะแคง นอนคว่ำ ในท่าต่างๆ ได้ขึ้นกับตำแหน่งของอวัยวะที่ทำการตรวจและรอยพยาธิสภาพของโรคที่เป็น และถ่ายภาพไว้ในท่าต่างๆ หากตำแหน่งนั้นมีย่อยโรคอยู่จริงควรปรากฏในทุกภาพ<sup>18</sup>

### ข้อบ่งชี้สำหรับการตรวจหลอดอาหาร (esophagogram)<sup>19</sup>

1. มีอาการดังนี้เจ็บหน้าอกที่ไม่เกิดจากโรคหัวใจ อาการที่สงสัยภาวะกรดไหลย้อน (gastroesophageal reflux) กลืนลำบาก (dysphagia) และกลืนเจ็บ (odynophagia)
2. เพื่อประเมินเมื่อสงสัยภาวะเหล่านี้ ภาวะการบีบตัวไม่ดี (motility disorders) หลอดอาหารอักเสบ หลอดอาหารตีบ มีเส้นเลือดดำโป่งพอง (varices) เนื้องอกหลอดอาหาร ภาวะหลอดอาหารอุดตัน และประเมินหลังการผ่าตัดหลอดอาหาร

### ข้อบ่งชี้สำหรับการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน (Upper Gastrointestinal Study)<sup>19</sup>

1. มีอาการดังนี้ ปวดท้อง สงสัยภาวะกรดไหลย้อน (gastroesophageal reflux) ปวดจุกบริเวณลิ้นปี่ dyspepsia คลื่นไส้ อาเจียน อาการและอาการแสดงของมีเลือดออกในทางเดินอาหารส่วนบน ซีด น้ำหนักลด และคลำก้อนได้ในท้อง
2. สงสัยภาวะกระเพาะอาหารอักเสบ (gastritis หรือ duodenitis) มีแผลในกระเพาะอาหาร (peptic ulcer disease) hiatal hernia ภาวะมีเส้นเลือดดำโป่งพอง (varices) เนื้องอกที่กระเพาะอาหาร ภาวะกระเพาะอาหารอุดตัน และประเมินหลังการผ่าตัดกระเพาะอาหาร

นอกจากนี้ยังมีข้อบ่งชี้ในกรณีที่ประเมินหลังการผ่าตัดหรือหลังการบาดเจ็บ เพื่อดูรอยรั่วบริเวณหลอดอาหาร กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น ซึ่งหากสงสัยภาวะรั่วหรือมีการทะลุของอวัยวะเหล่านี้ให้ใช้สารทึบรังสีแบบ water - soluble ในการประเมินเบื้องต้นหากไม่พบรอยรั่วให้กลืนซ้ำด้วยแป้งแบเรียม หรือหากสงสัยภาวะ esophageal-tracheal fistula หรือ bronchial fistula หรือมีอาการสำคัญให้ใช้สารทึบรังสีแบเรียม หรือ iso-osmolar หรือ low-osmolar contrast media

### การเตรียมผู้ป่วย

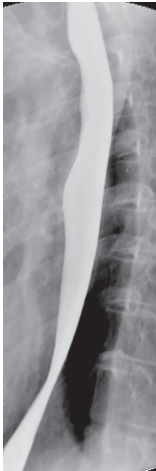
งดน้ำและอาหาร 2 ชั่วโมงก่อนการตรวจหลอดอาหาร แลงดน้ำและอาหารหลังเที่ยงคืนก่อนทำการตรวจทางเดินอาหารส่วนบน

### ขั้นตอนการตรวจสำหรับ Esophagogram<sup>19</sup>

- Single contrast esophagogram ให้ผู้ป่วยกลืนแป้งแบเรียมชนิดสาร

แขวนลอยความเข้มข้นต่ำ (60% weight/volume) การตรวจแบบนี้เน้นเพื่อดูกายวิภาค ลักษณะ และการเคลื่อนที่ของหลอดอาหาร การตรวจจะประเมินทั้งช่วงที่หลอดอาหาร ขยายตัวเต็มที่ และช่วงที่หลอดอาหารแฟบหรือเรียกว่าช่วง mucosal relief ผู้ป่วยจะ กลืนแป้งในท่านอนหงาย นอนคว่ำหรือกึ่งคว่ำแบบ right anterior oblique นอกจากนี้ ควรประเมินด้วยว่ามีภาวะภาวะกรดไหลย้อนหรือไม่ (รูปที่ 12)

● Double contrast esophagogram ให้ผู้ป่วยกลืนแป้งแบบเรียมชนิดสารแขวนลอยความเข้มข้นสูง (210%-250% weight/volume) ในท่า upright position หรือกลืนร่วมกับผงฟู (effervescent agents) เพื่อแตกตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้กระเพาะอาหารขยายตัวได้ดียิ่งขึ้น การตรวจและถ่ายภาพเหมือนกับแบบ single contrast esophagogram เพียงแต่รวมถึงการประเมินบริเวณ gastric fundus และ gastric cardia ด้วย (รูปที่ 13)



**รูปที่ 12** หลอดอาหารจากการทำ single contrast esophagogram เพื่อประเมินลักษณะของหลอดอาหาร

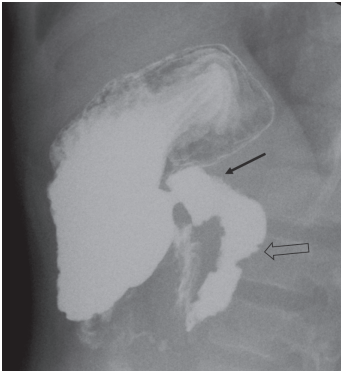


**รูปที่ 13** แสดงหลอดอาหารจากการทำ double contrast esophagogram เพื่อประเมินรายละเอียดของเยื่อบุผิวด้านใน (mucosa)

### ขั้นตอนการตรวจสำหรับ Upper Gastrointestinal Study<sup>19,20</sup>

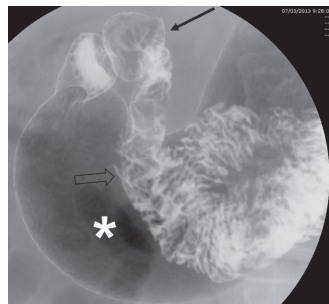
- Single contrast upper gastrointestinal study เหมือนกับการตรวจหลอดอาหารกล่าวคือ ดูช่วงที่หลอดอาหารขยายตัวเต็มที่ และช่วงที่หลอดอาหารแฟบ และเพิ่มการตรวจกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้นในท่า compression view (รูปที่ 14)

- Double contrast upper gastrointestinal study อาจให้ยา hypotonia agents เช่น กลูคาگونขนาด 0.1 มิลลิกรัมเพื่อให้เห็นประเมนกระเพาะอาหารส่วน body และ antrum ได้ชัดเจนขึ้น โดยกลูคาгонทำให้ pylorus หดตัวและ gastric emptying time นานขึ้น ขั้นตอนการทำ ให้ผู้ป่วยกลืนแป้งแบเรียมชนิดสารแขวนลอยร่วมกับผงฟู (effervescent agents) ทำให้กระเพาะอาหารขยายตัวได้ดียิ่งขึ้น ตรวจและถ่ายภาพบริเวณหลอดอาหาร กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้น และอาจเพิ่มการถ่ายท่า compression view เพื่อให้เห็นพยาธิสภาพได้ชัดเจนขึ้น (รูปที่ 15)



**รูปที่ 14** กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้นจากการทำ single contrast upper gastrointestinal study ลูกศรทึบชี้ duodenum ส่วนที่ 1 ลูกศรโปร่งชี้ duodenum ส่วนที่ 2

**รูปที่ 15** แสดงกระเพาะอาหารและลำไส้เล็กส่วนต้นจากการทำ double contrast upper gastrointestinal study (\*) ดอกจันทร์แสดงส่วนกระเพาะอาหาร ลูกศรทึบชี้ duodenum ส่วนที่ 1 ลูกศรโปร่งชี้ duodenum ส่วนที่ 2



แม้ว่าปัจจุบันการส่องกล้องทางเดินอาหารเข้ามามีบทบาทในการประเมินรอยโรคของหลอดอาหารและทางเดินอาหารส่วนต้น มีการศึกษาพบว่า double contrast study มีความไวในการวินิจฉัยมะเร็งหลอดอาหารและกระเพาะอาหารถึงร้อยละ 95 ดังนั้นการส่องกล้องอาจกระทำในผู้ป่วยที่ไม่แน่ใจในผลการตรวจ double contrast study หรือพบความผิดปกติและต้องการผลชิ้นเนื้อ<sup>21</sup>

## การสวนแป้ง (Barium enema)

การสวนแป้งเป็นการตรวจลำไส้ใหญ่ซึ่งแบ่งเป็น single contrast study และ double contrast study โดยใช้หลักการเดียวกับการตรวจหลอดอาหารและทางเดินอาหารส่วนบน กล่าวคือ single contrast study มีที่ใช้ในกรณีสงสัยภาวะ high-grade colonic obstruction, colonic fistula, Hirschsprung's disease หรือ distal small bowel obstruction

### ข้อบ่งชี้สำหรับการสวนแป้ง<sup>22</sup>

1. Diverticular disease, Inflammatory bowel disease และตรวจคัดกรองมะเร็งลำไส้ใหญ่

2. เมื่อการดัดนี้ปวดท้อง ถ่ายเหลว ท้องผูก เลือดออกในทางเดินอาหาร ซีด มีก้อนในท้อง น้ำหนักลด มีประวัติติ่งเนื้อหรือมะเร็งลำไส้ใหญ่ พยาธิสภาพที่ลำไส้ใหญ่ที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรม

### ข้อห้ามสำหรับการสวนแป้ง<sup>22</sup>

1. กรณีที่สงสัยภาวะลำไส้ใหญ่ทะลุ (colonic perforation) ให้ใช้ water soluble contrast media แทน

2. ภาวะ toxic megacolon

3. หลังการทำการส่องกล้องตรวจลำไส้ใหญ่และมีการตัดชิ้นเนื้อ (colonic biopsy) หรือตัดติ่งเนื้อ (polypectomy) ควรเว้นระยะไปอีก 6 วันเป็นอย่างน้อย

## การเตรียมผู้ป่วย<sup>22,23</sup>

การเตรียมผู้ป่วยเพื่อการสวนแป้งตรวจลำไส้ใหญ่ต้องเตรียมลำไส้ใหญ่ให้สะอาด

ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญและมีผลต่อการตรวจ สูตรมีหลากหลายแตกต่างกันขึ้นกับแต่ละสถาบัน หลักการคือมีการจำกัดอาหาร อาจเป็นอาหารเหลวใส 1 วันก่อนการตรวจ ร่วมกับการให้ ยาระบายชนิด osmotic laxatives, contact laxatives และ cleansing enemas ช่วงระหว่างนี้ต้องระวังภาวะการขาดน้ำด้วย แล่งดน้ำและอาหารหลังเที่ยงคืนก่อนการตรวจ

### ขั้นตอนการตรวจสวนแป้งแบบ double contrast study

- ใส่น้ำเกลือละลายแป้งแบบเรียมความเข้มข้นสูง (80% weight/volume) ทางสายสวน ตามด้วยเป่าลมเพื่อที่จะให้ลำไส้ใหญ่โป่งออกและแป้งเคลือบเยื่อঝิวลำไส้ใหญ่
- ถ่ายภาพเจาะจงบริเวณไส้ตรง (rectum), sigmoid colon, splenic flexures, hepatic flexure และ cecum
- ถ่ายภาพใหญ่ทั้งหมดเพื่อแสดงลำไส้ใหญ่ในท่านอนหงาย นอนคว่ำ นอนตะแคงขวา นอนตะแคงซ้าย (รูปที่ 16)
- ถ่ายภาพด้านข้างของไส้ตรง โดยเอาท่อสวนหรือบอลูนออก
- ถ่ายภาพหลังถ่ายแป้งออก (post evacuation image)

ถึงแม้ว่าปัจจุบัน CT colonography (CTC) มีที่ใช้กันมากขึ้นและมีความไวในการตรวจคัดกรองตั้งเนื้อขนาดมากกว่า 1 เซนติเมตรมากกว่า double contrast barium enema (DCBE) แต่ DCBE ยังคงมีความจำเพาะมากกว่าCTC<sup>24</sup>

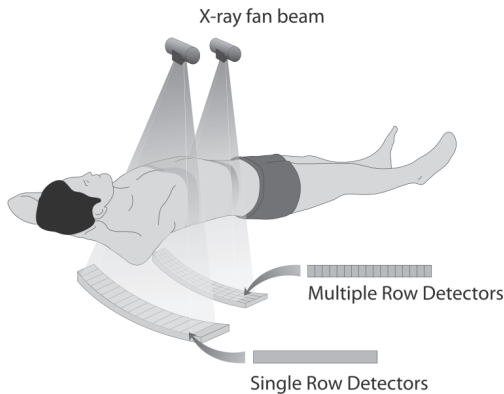


รูปที่ 16 ลำไส้ใหญ่จากการทำ double contrast barium enema แสดงลำไส้ใหญ่ในท่านอนตะแคงซ้าย



## หลักการของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เครื่องแรกถูกประดิษฐ์ขึ้นโดย Sir Godfrey Hounsfield ในปี ค.ศ. 1972 โดยหลักการคือให้หลอดเอกซเรย์ (x-ray tube) กับตัวรับแสง (detector) อยู่ตรงกันข้ามกัน หลังจากนั้นในสิบปีต่อมาได้มีการพัฒนาให้ลำแสงเอกซเรย์เป็นแบบพัดหรือ fan beam ทำให้หมุนได้รอบตัวมากกว่าเดิม จนกระทั่งมีการพัฒนาจนหลอดเอกซเรย์กับตัวรับแสงหมุนไปพร้อมๆ กันรอบตัวผู้ป่วย และพร้อมทั้งเก็บข้อมูลไปอย่างต่อเนื่อง และภาพที่เกิดขึ้นอาศัยกระบวนการของ filtered backprojection เครื่องใช้เวลาในการตรวจได้เร็วขึ้น เรียกเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์รุ่นนี้เป็นรุ่นที่สาม หรือ third generation scanners โดยเมื่อหลอดเอกซเรย์กับตัวรับแสงหมุน เติงจะเลื่อนด้วยในแนวทิศทางศีรษะและเท้าและหยุดกลับไปเริ่มต้นใหม่ เราเรียกเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบนี้ว่า conventional axial computed tomography หลังจากนั้นมีการพัฒนาให้หลอดเอกซเรย์กับตัวรับแสงและเตียงเคลื่อนต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ทำให้ลำแสงเอกซเรย์มีการเคลื่อนที่แบบเป็นเกลียว เราจึงเรียกเครื่องเอกซเรย์ที่ผลิตในรุ่นนี้ว่า spiral หรือ helical computed tomography ซึ่งประสบความสำเร็จและใช้ได้ในปีค.ศ.1990-1999 (รูปที่ 17) หลังจากนั้นมีการพัฒนาโดยเพิ่มจำนวนและลดขนาดของตัวรับแสงเพื่อที่จะให้เครื่องตัดได้ระยะมากขึ้นต่อ



**รูปที่ 17** เครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบหนึ่งสไลซ์ (รูปด้านซ้ายมือ) และแบบ multi-detector computed tomography ซึ่งเพิ่มจำนวนตัวรับแสงมากขึ้นในแนวทิศทางศีรษะและเท้า

การหมุนหนึ่งรอบ และใช้เวลาในการตรวจน้อยลงและได้ความหนาต่อหนึ่งสไลซ์ได้บ้างขึ้น เรียกว่า multi-detector computed tomography การเพิ่มจำนวนตัวรับแสงมากขึ้น นั้นเรียงตามความสูงของผู้ป่วยหรือในแนวทิศทางศีรษะและทำนองเอง (รูปที่ 17) เช่น มี ตัวรับแสงเพิ่มขึ้นสี่แถว เมื่อทำการตัดและหมุนหนึ่งรอบจะได้ข้อมูลในการสร้างภาพจำนวน 4 ช่อง (channels) หรือ 4 สไลซ์ ใช้เวลาในการตรวจ 12 วินาที ปัจจุบันมีการเพิ่มจำนวนตัวรับแสงมากถึง 320 แถว หรือ 320 detector rows ทำให้ตรวจได้ความยาว 16 เซนติเมตรต่อการหมุนหนึ่งครั้ง และสามารถลดเวลาในการตรวจและหมุนหนึ่งรอบลงน้อยกว่า 0.3 วินาที<sup>25-28</sup>

ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อที่ปรากฏในเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แสดงออกในหน่วยที่ เรียกว่า Hounsfield Units (HU) หรือเรียกว่า CT number ซึ่งมีค่าตั้งแต่ +3,000 ถึง -1,000 น้ำมีค่าเป็นศูนย์ หากตัวเลขมีค่ายิ่งสูงพบในเนื้อเยื่อที่หนาแน่นมากเช่นกระดูกและ เห็นเป็นสีขาว ยิ่งตัวเลขมีค่าน้อยลงหรือติดลบจะเห็นเป็นสีดำ ดังแสดงในตารางที่ 3

### การนำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ไปใช้ในทางคลินิก

ปัจจุบันเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่วยในการวินิจฉัยโรคและมีประโยชน์ทั้งการวางแผนเพื่อผ่าตัด การติดตามหลังการรักษา ต่อไปจะกล่าวถึงบทบาทของเอกซเรย์

**ตารางที่ 3** ความหนาแน่นของเนื้อเยื่อที่ปรากฏในเอกซเรย์คอมพิวเตอร์<sup>26</sup>

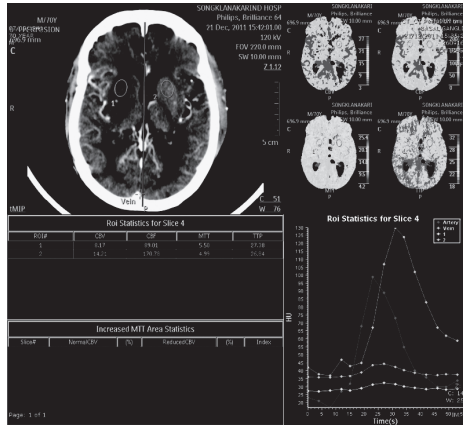
| เนื้อเยื่อ                 | CT numbers (Hounsfield Units) |
|----------------------------|-------------------------------|
| กระดูก                     | 1,000-3,000                   |
| กล้ามเนื้อ                 | 10-40                         |
| น้ำ                        | 0                             |
| ไขมัน                      | -50 ถึง -100                  |
| อากาศ                      | -1000                         |
| เนื้อสมองส่วน white matter | 20 ถึง 30                     |
| เนื้อสมองส่วน grey matter  | 35 ถึง 45                     |
| เลือด                      | 40                            |

คอมพิวเตอร์เฉพาะบางส่วนที่ใช้บ่อยในทางศัลยกรรมประสาทอย่างสังเขป ได้แก่ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ระบบประสาท หลอดเลือดแดงใหญ่เออร์ต้าและหลอดเลือดแดงส่วนรยางค์ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในผู้ป่วยอุบัติเหตุ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนลำไส้และช่องท้อง เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทรวงอกและหัวใจ

## ระบบประสาท

ถึงแม้ว่าในปัจจุบันเอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging) เข้ามามีบทบาทในการประเมินโรคทางระบบประสาทเนื่องจากความสามารถในการจำแนกเนื้อเยื่อดีกว่า แต่อย่างไรก็ดีเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ยังคงเป็นการตรวจทางภาพถ่ายอันดับแรกในผู้ป่วยอุบัติเหตุ หรือผู้ป่วยที่มีอาการทางคลินิกของระบบประสาทอย่างเฉียบพลัน ซึ่งสามารถดูภาวะเลือดออกในสมอง ภาวะเนื้อสมองบวม และกะโหลกศีรษะแตก นอกจากนี้ยังสามารถใช้ประเมินและติดตามเนื้องอกในสมองบางชนิดได้<sup>25,29</sup>

เมื่อมีเอกซเรย์คอมพิวเตอร์รุ่นใหม่แบบ MDCT ทำให้สามารถดูรายละเอียดของหลอดเลือดได้ เรียกเทคนิคการตรวจนี้ว่า computed tomographic angiography (CTA) โดยมีความไวและความจำเพาะของการวินิจฉัยภาวะเส้นเลือดโป่งพอง (aneurysm) มากถึงร้อยละ 96 และ 100 ตามลำดับ เทียบเท่ากับการฉีดสีดูเส้นเลือด หรือ Digital subtraction angiography (DSA) ถึงแม้เส้นเลือดโป่งพองมีขนาดเล็กกว่า 3 มิลลิเมตร ความไวของการวินิจฉัยภาวะนี้ยังคงสูงถึงร้อยละ 90<sup>25</sup> นอกจากนี้สามารถดูปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงสมองได้เรียกว่า computed tomography perfusion (CTP) โดยการตัดซ้ำที่เดิมหรือเรียกว่า cine imaging แล้วนำภาพที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการไหลของเลือด (cerebral blood flow - CBF) ปริมาตรเลือด (cerebral blood volume - CBV) และค่าเฉลี่ยของการไหลผ่านของเลือด ณ บริเวณที่สนใจ (mean transit time - MTT) นำค่าที่ได้มาแปลผลเพื่อวางแผนทางในการรักษาโรคต่อไป (รูปที่ 18) ข้อควรคำนึงการทำ CTP ส่วนสมองได้แก่ มีประโยชน์ในผู้ป่วยที่มีอาการของโรคหลอดเลือดสมอง (stroke) แบบอุดตันเพื่อรับการรักษาโดยให้ยาละลายลิ่มเลือด (thrombolytic agent) ซึ่งเวลาที่สามารถกอบกู้เนื้อสมองคืนได้คือ ไม่ควรเกิน 3-6 ชั่วโมง และไม่ทำในกรณีคนไข้มีเลือดออก<sup>30</sup> ข้อดีและข้อเสียของ CTP เปรียบเทียบกับเอ็มอาร์ไอแบบ Perfusion weighted



**รูปที่ 18** การตรวจ computed tomography perfusion (CTP) ของผู้ป่วยชายอายุ 70 ปีหลังจากมี acute thromboemboli ที่ internal carotid artery ด้านขวาส่วนปลายและได้รับการทำ cerebral angiogram และ thrombectomy หลังมีอาการ hemiparesis แกรตศุนย์มาสามชั่วโมง จาก CTP แผลผลว่ามี focal oligemia ที่ right basal ganglia และมี reperfusion state ของ right MCA territory

**ตารางที่ 4** ข้อดีและข้อเสียของ CTP เปรียบเทียบกับเอ็มอาร์ไอแบบ Perfusion weighted imaging (PWI)\*

| ข้อได้เปรียบ  | ข้อเสียเปรียบ  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>เข้าถึงได้ง่ายและราคาถูก</li> <li>ทำได้รวดเร็วกว่า</li> <li>ง่ายต่อการเฝ้าระวังและติดตามในผู้ป่วยวิกฤต</li> <li>มีความละเอียดและความคมชัดกว่า</li> <li>สามารถทำได้ในผู้ป่วยที่เครื่องกระตุ้นหัวใจหรือมีข้อห้ามอื่นๆ ในการทำเอ็มอาร์ไอ</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>ผู้ป่วยได้รับปริมาณรังสีที่สูง</li> <li>มีความเสี่ยงต่อสารทึบรังสี</li> <li>จำกัดในความยาวหรือพื้นที่ที่ครอบคลุมของการสแกน</li> <li>กระบวนการหลังการทำ (post processing) ซับซ้อนกว่า</li> </ul> |

\*ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 30

imaging (PWI) แสดงในตารางที่ 4

## หลอดเลือดแดงใหญ่เออร์ตาและหลอดเลือดแดงส่วนระยะก

เนื่องด้วยวิวัฒนาการของ MDCT ดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้ได้เครื่องที่มีคุณภาพ สแกนได้เร็ว ได้ช่วงที่ยาวขึ้นในช่วงระยะเวลาเป็นวินาที ดังนั้นเราจึงสามารถทำการตรวจระบบหลอดเลือดได้มีคุณภาพและรายละเอียดที่ดีขึ้น รูปภาพที่ได้สามารถนำมาสร้างเป็นแนวระนาบต่างๆ และสร้างเป็นสามมิติได้ การนำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มาใช้ที่นิยมมากคือ การประเมินภาวะเส้นเลือดโป่งพองหรือ aortic aneurysm ทั้งก่อนการรักษาและติดตามผลหลังการรักษา ซึ่งการตรวจด้วย MDCT ถือเป็น การตรวจที่เป็นมาตรฐานที่สุดหลังจากการรักษาด้วย Endovascular aneurysm repair (EVAR) การทำนั้นนิยมทำสองเฟสคือ<sup>25</sup>

1. ก่อนฉีดสารทึบรังสี หรือเรียกว่า plain หรือ unenhanced study ช่วงก่อนฉีดสารทึบรังสีมีประโยชน์คือ ก.) ช่วยตรวจพบเลือดในชั้นผนังหลอดเลือด (intramural hematoma) ในผู้ป่วยที่มีอาการฉับพลัน ข.) ช่วยแยกกระหว่างหินปูนและภาวะที่การไหลของเลือดออกจาก endograft เข้าสู่ aneurysmal sac หรือเรียกว่าภาวะ endoleak และ ค.) ดูการแตกหักหรือของของ stent graft (รูปที่ 19)



**รูปที่ 19** CTA ส่วน abdominal aorta แสดงภาวะ endoleak type II จาก lumbar artery และ inferior mesenteric artery เข้าสู่ aneurysmal sac (ลูกศร) หลังจากการรักษาด้วย endovascular aneurysm repair (EVAR)

2. ช่วงฉีดสารที่บรังสีในช่วงที่สารที่บรังสีอยู่ในหลอดเลือดแดง หรือเรียกว่า arterial phase สำหรับช่วง arterial phase (ไว้ประเมิน ก.) ขนาดและตำแหน่งของเส้นเลือดโป่งพอง ข.) ภาวะ endoleak และ ค.) ภาวะการขาดเลือดของอวัยวะภายใน (รูปที่ 19)

นอกจากภาวะเส้นเลือดแดงใหญ่เออร์ต้าโป่งพองแล้วภาวะอื่นๆ ที่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาททางคลินิกได้แก่ ภาวะ aortic dissection, ภาวะความผิดปกติแต่กำเนิด เช่น coarctation of aorta, vascular rings, pulmonary sequestration<sup>31</sup>

ข้อดีของการนำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มาใช้ประเมินโรคเส้นเลือดแดงบริเวณระยะยาวคือไม่คุกคามผู้ป่วย และสามารถบอกตำแหน่งกระดูกซึ่งเป็นจุดสำคัญที่ช่วยในการวางแผนการรักษา อย่างไรก็ตามเทคนิคในการทำมีความยากและความซับซ้อนเนื่องจากอัตราการไหลของสารที่บรังสีไปยังส่วนระยะที่เส้นเลือดปกติ และเส้นเลือดที่มีภาวะ atherosclerotic change นั้นแตกต่างกันมาก ดังนั้นต้องอาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการสแกนผู้ป่วย เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ของเส้นเลือดแดงบริเวณระยะยาวมีความไวและความจำเพาะร้อยละ 88-100<sup>32</sup> ในการวินิจฉัยอาการเส้นเลือดแดงอุดตันอาการทางคลินิกที่มีข้อบ่งชี้ในการทำได้แก่ intermittent claudication, chronic limb-threatening ischemia, acute ischemia, ภาวะเส้นเลือดโป่งพองติดตามการรักษาหลังการต่อเส้นเลือด (percutaneous หรือ surgical revascularization), การบาดเจ็บต่อเส้นเลือด เช่นมีภาวะกระดูกหักร่วมด้วย (รูปที่ 20), ความผิดปกติแต่กำเนิดของเส้นเลือด (vascular malformations) และภาวะการอักเสบหรือติดเชื้อของเนื้อเยื่อหรือกระดูกที่อยู่ข้างเคียงเส้นเลือด

## เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ในผู้ป่วยอุบัติเหตุ

การประเมินการบาดเจ็บของกระดูกสันหลังส่วนคอในผู้ป่วยอุบัติเหตุถือเป็นสิ่งที่สำคัญ เนื่องจากหากพลาดการวินิจฉัยการบาดเจ็บที่สำคัญมีทำให้อันตรายถึงชีวิตได้ ถึงแม้ว่าฟิล์มเอกซเรย์กระดูกต้นคอช่วยในการวินิจฉัยภาวะนี้แต่มีข้อจำกัดหลายประการเช่น เทคนิคการถ่ายภาพเอกซเรย์ที่ไม่ครอบคลุมถึงกระดูกต้นคออันที่ 7 หรือการแปลผลที่



**รูปที่ 20** CTA ส่วนระยางค์แสดงการ traumatic occlusion ของเส้นเลือด popliteal artery ด้านซ้าย (ลูกศร) ร่วมกับ comminuted fractures ของกระดูก tibia

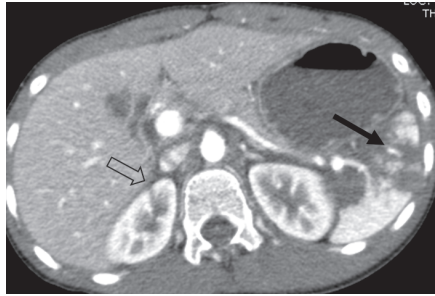
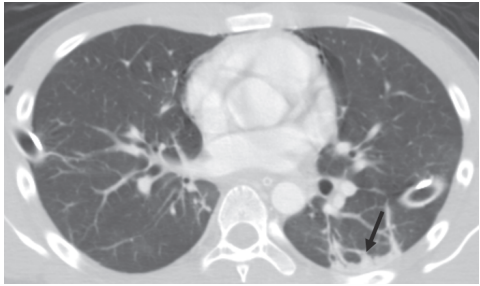
ผิดพลาดมีการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างฟิล์มเอกซเรย์กับเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนกระดูกต้นคอเพื่อตรวจคัดกรองการบาดเจ็บของกระดูกสันหลังส่วนคอในผู้ป่วยอุบัติเหตุพบว่าฟิล์มเอกซเรย์มีความไวร้อยละ 45-52 และมีความจำเพาะร้อยละ 97 ในขณะที่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนกระดูกต้นคอมีความไวร้อยละ 98-100 และมีความจำเพาะร้อยละ 99.5 อย่างไรก็ตามแนะนำให้ใช้เอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับตรวจคัดกรองการบาดเจ็บของกระดูกสันหลังส่วนคอในผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ระดับความรู้สึกลดลง<sup>33,34</sup>

ฟิล์มเอกซเรย์ปอดถือเป็น การตรวจคัดกรองที่ดีที่สุดสำหรับการบาดเจ็บแบบกระแทกของทรวงอก (blunt chest trauma) สามารถประเมินภาวะเร่งด่วนบางประการได้ เช่น ภาวะลมรั่วหรือเลือดออกในช่องอก (pneumothorax หรือ hemothorax) ประเมินตำแหน่งของท่อช่วยหายใจ และสายระบายต่างๆ อย่างไรก็ตามร้อยละ 50 ของผู้ป่วยที่ฟิล์มเอกซเรย์ปอดปกตินั้นมีการบาดเจ็บอื่นๆ ของช่องอกร่วมด้วย ดังนั้นเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทช่วยประเมินการบาดเจ็บในกรณีที่ผู้ป่วยสัญญาณชีพคงที่ และมีกลไกการบาดเจ็บที่รุนแรง เทคนิคการทำคือสแกนในช่วง arterial phase เพื่อสามารถประเมินการบาดเจ็บของหลอดเลือดแดงใหญ่เอออร์ต้าที่ปอด (thoracic aorta) ซึ่งตำแหน่งที่พบคือบริเวณ aortic isthmus ใต้ต่อจุดกำเนิดของ left subclavian artery อาจเห็นเป็น internal flap หรือ pseudoaneurysm ความผิดปกติอื่นๆ ที่สามารถพบได้จากเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ได้แก่ ความผิดปกติของเนื้อปอด (pulmonary laceration)

tion, pulmonary contusion) (รูปที่ 21) ความผิดปกติของทางเดินหายใจ (bronchial หรือ tracheal laceration) ความผิดปกติของหลอดอาหาร กะบังลม และกระดูกของผนังทรวงอกหัก<sup>25,35,36</sup>

เอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีบทบาทในการประเมินผู้ป่วยบาดเจ็บช่องท้องแบบกระแทก (blunt abdominal injury) ในกรณีที่ผู้ป่วยสัญญาณชีพคงที่และไม่ได้รับการผ่าตัดช่องท้อง แต่ยังไม่แน่ใจว่ามีภาวะบาดเจ็บในช่องท้องหรือไม่ นอกจากนั้นยังช่วยลดอัตราการผ่าตัดช่องท้องที่ไม่จะเป็นอีกด้วย<sup>37,38</sup> เทคนิคในการทำคือสแกนในช่วง arterial phase และ portal venous phase เพื่อสามารถประเมินได้ทั้งการบาดเจ็บของเส้นเลือด และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อต่างๆ ความถูกต้องของการตรวจพบการบาดเจ็บของ ตับ ม้าม ไต และภาวะเลือดออกในหลังช่องท้อง (retroperitoneal hematoma) สูงถึงร้อยละ 94,96,92 และ 92 ตามลำดับ<sup>39</sup> ความรุนแรงของการบาดเจ็บแบ่งตาม American Association

**รูปที่ 21** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์แสดง pulmonary laceration ที่ปอดกลีบล่างของผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บที่ปอด



**รูปที่ 22** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนช่วง arterial phase แสดงการบาดเจ็บของม้ามรุนแรงเกรด 3 (ลูกศรทึบ) และการบาดเจ็บของไตขวารุนแรงเกรด 3 (ลูกศรโปร่ง)



for the Surgery of Trauma (AAST)<sup>40</sup> (รูปที่ 22) และนอกจากนี้ยังมีการปรับเพื่อให้  
ง่ายต่อการแปลผลเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เรียก CT-based scoring system<sup>41</sup> อย่างไร  
ก็ดีเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีข้อจำกัดในการตรวจคัดกรองการบาดเจ็บของลำไส้และแผ่น  
ช่วยยึดลำไส้ (mesentery) กล่าวคือมีความไวเพียงร้อยละ 69-92 แต่ความจำเพาะ  
ร้อยละ 94-100<sup>37</sup> และเทคนิคในการตรวจไม่จำเป็นต้องให้ผู้ป่วยรับประทานสารทึบรังสี (oral  
contrast material) มีการศึกษาพบว่าหากให้ผู้ป่วยรับประทานสารทึบรังสีจะพบการไหล  
ของสารทึบรังสีออกนอกลำไส้ (extraluminal contrast material) เพียงร้อยละ 20<sup>41</sup>  
สอดคล้องกับอีกหนึ่งการศึกษาที่พบว่าการตรวจด้วย MDCT นั้นไม่ต้องรับประทานสารทึบ  
รังสีก็มีความแม่นยำเพียงพอที่จะให้การวินิจฉัยการบาดเจ็บของลำไส้และแผ่นช่วยยึดลำไส้  
กล่าวคือยังคงมีความไวร้อยละ 82 ความจำเพาะร้อยละ 99 ค่าพยากรณ์บวก (positive  
predictive value) ร้อยละ 64 และค่าพยากรณ์ลบ (negative predictive value)  
ร้อยละ 99<sup>42</sup>

## เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนลำไส้และช่องท้อง

การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ส่วนช่องท้องและอุ้งเชิงกรานแตกต่างจากการ  
ตรวจส่วนอื่นคือผู้ป่วยต้องเตรียมตัวดังนี้

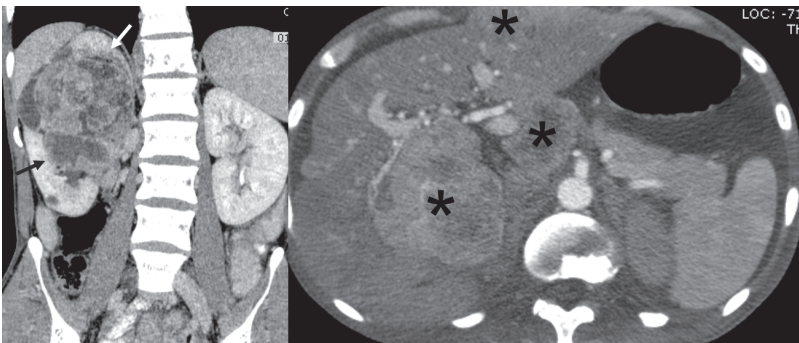
- งดอาหารอย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนการตรวจ
- ฝึกหายใจเข้าออกลึกๆ และกลืนใจก่อนตรวจ
- รับประทานสารทึบรังสีที่ละลายให้ความเข้มข้นลดลงเหลือประมาณร้อยละ

1-3 เพื่อช่วยให้ลำไส้ยืดขยายออกและมองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยรับประทานสารทึบ  
รังสีประมาณ 800-1000 มิลลิลิตรก่อนการตรวจ 1 ชั่วโมง และน้ำเปล่าอีก 400 มิลลิลิตร  
ตอนขึ้นเตียง ซึ่งเป็น negative contrast เพื่อช่วยทำให้มองเห็นบริเวณกระเพาะอาหาร  
และลำไส้เล็กส่วนต้น อย่างไรก็ตามมีการตรวจที่สงสัยภาวะทางคลินิกบางประการที่ไม่  
ต้องให้รับประทานสารทึบรังสีได้แก่ ภาวะลำไส้เล็กอุดตันเฉียบพลัน (acute small bowel  
obstruction) และภาวะสงสัยนิ่วในระบบทางเดินปัสสาวะ

- การสวนสารทึบรังสีทางทวารหนัก (rectal contrast) กระทำเมื่อผู้ป่วยขึ้น  
เตียง มีที่ใช้เมื่อสงสัยพยาธิสภาพบริเวณลำไส้ใหญ่ หากสวนปริมาณ 200 มิลลิลิตรสาร

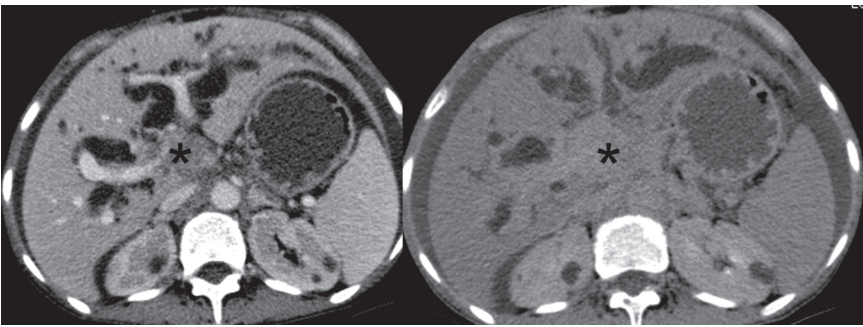
ที่บั้งสีจะเคลือบได้ถึงส่วน rectosigmoid colon หากต้องการให้เคลือบหมดทั้ง ลำไส้ใหญ่ควรปริมาณ 800-1,000 มิลลิลิตร และหยุดสวนเมื่อผู้ป่วยรู้สึกอึดอัด ควรระวังในผู้ป่วยที่เพิ่งได้รับการผ่าตัดบริเวณลำไส้ใหญ่และไส้ตรง

ถึงแม้ว่าอัลตราซาวด์ถือเป็นการตรวจขั้นต้นสำหรับตับและม้าม แต่การตรวจ เอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามารถพบพยาธิสภาพขนาดเล็ก สามารถแยกชนิดของพยาธิสภาพที่เห็น และบอกขอบเขตและการแพร่กระจายของก้อนซึ่งช่วยในการวางแผนและติดตามการรักษาได้ดีกว่า หากสงสัยมะเร็งตับ หรือมะเร็งที่แพร่กระจายแบบ hypervascular metastases (รูปที่ 23) เช่นมะเร็งเนื้อไต หรือความผิดปกติแบบ focal nodular hyperplasia หรือ hepatic adenoma ให้สแกนทั้ง arterial และ portal venous phase หากสงสัยภาวะ hepatic hemangioma หรือ cholangiocarcinoma ให้สแกน delayed phase ร่วมด้วย กล่าวคือ 10-15 นาทีหลังฉีดสารทึบรังสีเข้าเส้นเลือด (รูปที่ 24) สำหรับการตรวจระบบทางเดินปัสสาวะนั้นเอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีบทบาทในการประเมินดูนิ่วในท่อไต มะเร็งของระบบทางเดินปัสสาวะ และในกรณีที่สงสัยการบาดเจ็บต่อระบบนี้ในผู้ป่วยอุบัติเหตุ ซึ่งการสแกนโดยไม่ฉีดสารทึบรังสีมีประโยชน์เพื่อดูนิ่วได้กล่าวมาแล้ว การสแกนใน nephrogenic phase ประมาณ 100 วินาทีหลังจากฉีดสารทึบรังสีมีประโยชน์เพื่อดูเนื้อไต และการสแกนใน delayed phase ประมาณ 8-10 นาทีหลังจาก

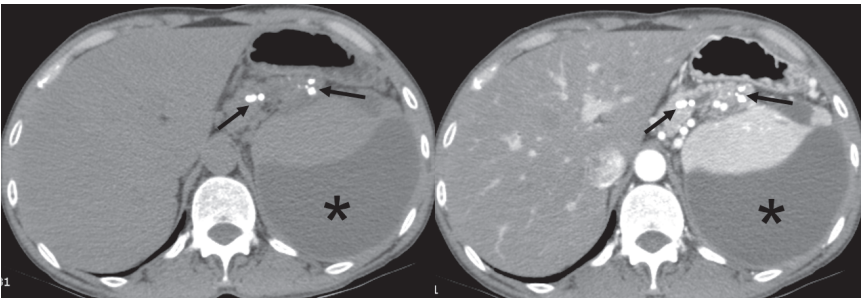


**รูปที่ 23** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนช่วง arterial phase แสดง hypervascular metastases (\*) ที่ตับ (รูปทางขวามือ) จาก renal cell carcinoma ของไตด้านขวา (รูปทางซ้ายมือ)

ฉีดสารทึบรังสี มีประโยชน์เพื่อการบาดเจ็บของกรวยไตและท่อไต<sup>25</sup> สำหรับการตรวจตับอ่อนนั้น การตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ถือว่ามีความเหมาะสมเนื่องจากเป็นอวัยวะที่อยู่บริเวณด้านหลังและโดนบดบังด้วยแก๊สในลำไส้ ภาวะความผิดปกติที่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่วยตรวจพบได้แก่ ภาวะตับอ่อนอักเสบทั้งเฉียบพลันและเรื้อรัง (รูปที่25) ภาวะมะเร็งตับอ่อน แต่หากก้อนมีขนาดเล็กมากการตรวจโดยการอัลตราซาวด์

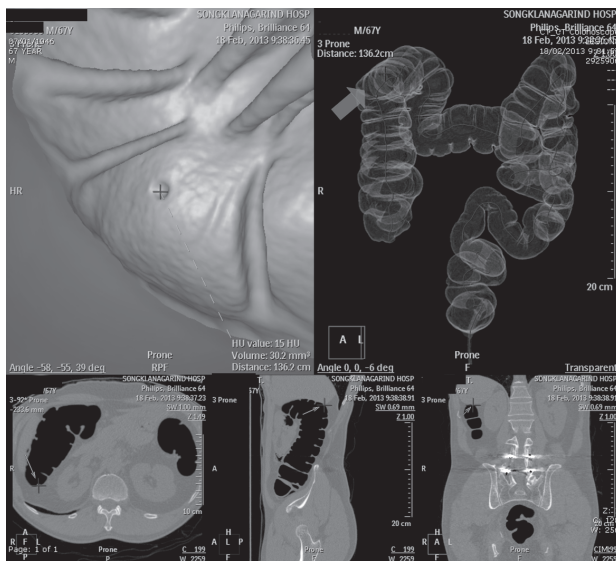


**รูปที่ 24** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนช่วง venous phase (รูปทางซ้ายมือ) และ delayed phase (รูปทางขวามือ) แสดงก้อน hilarcholangiocarcinoma (\*) ซึ่งมี peritoneal metastasis และ ascites ร่วมด้วย



**รูปที่ 25** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ช่องท้องส่วนบนช่วงก่อนฉีดสารทึบรังสี (รูปทางซ้ายมือ) และ arterial phase (รูปทางขวามือ) แสดงก้อนหินปูนที่ตับอ่อน (ลูกศร) ในผู้ป่วยตับอ่อนอักเสบเรื้อรังร่วมกับ pseudocyst (\*)

ส่องกล้อง (endoscopic ultrasound) จะไวกว่า ข้อบ่งชี้ในการทำเอกซเรย์คอมพิวเตอร์  
 ในภาวะตับอ่อนอักเสบเฉียบพลัน<sup>43</sup> ได้แก่ Ranson score มากกว่า 3 หรือ APACHE  
 score มากกว่า 8, อาการไม่ดีขึ้นหลังรักษา 72 ชั่วโมง, 7-10 วันหลังจากมีอาการแสดง  
 และมี CT severity score 3-10 หรือเกรด D-E, อาการเปลี่ยนแปลง และสงสัยภาวะ  
 แทรกซ้อน นอกจากนี้ช่วงสปีทที่ผ่านมาเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับตรวจลำไส้ใหญ่ CT  
 colonoscopy (CTC) (รูปที่ 26) ได้เข้ามาแทนที่การตรวจลำไส้ใหญ่โดยการสวนแป้ง  
 (barium enema) การเตรียมตัวสำหรับการตรวจชนิดนี้ต้องเตรียมและทำความสะอาด  
 ลำไส้ใหญ่โดยรับประทานอาหารอ่อน ของเหลว 2 วันก่อนการตรวจ และให้ยาระบาย  
 1 วันก่อนการตรวจ ซึ่งสูตรอาจแตกต่างกันตามสถาบันหรือโรงพยาบาลต่างๆ มีการศึกษา  
 รวบรวมเป็น meta-analysis พบว่าการตรวจด้วย CTC มีความไวของการตรวจพบติ่งเนื้อ  
 (polyp) ขนาดมากกว่า 10 มิลลิเมตรร้อยละ 93 และความจำเพาะร้อยละ 97 หากรวมถึง  
 เนื้อขนาดเล็กด้วยความไวลดลงเป็นร้อยละ 45-97 และความจำเพาะร้อยละ 26-97



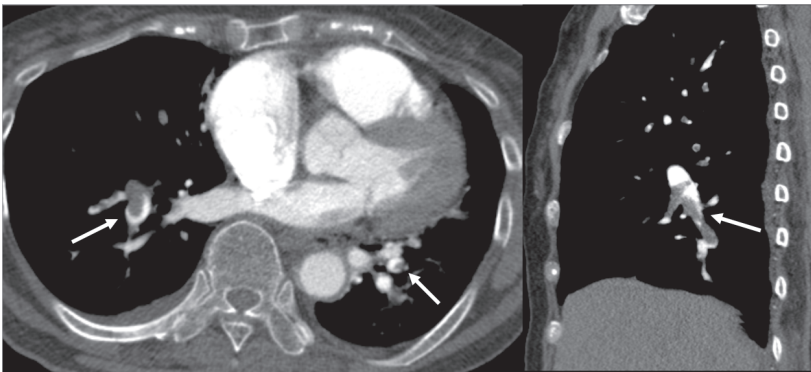
รูปที่ 26 เอกซเรย์คอมพิวเตอร์สำหรับตรวจลำไส้ใหญ่ CT colonoscopy (CTC) แสดง polyp ขนาด  
 4 เซนติเมตรบริเวณ hepatic flexure

นอกจากนั้นความไวและความจำเพาะของการตรวจพบมะเร็งสูงถึงร้อยละ 96 และ 91 ตามลำดับ<sup>44</sup>

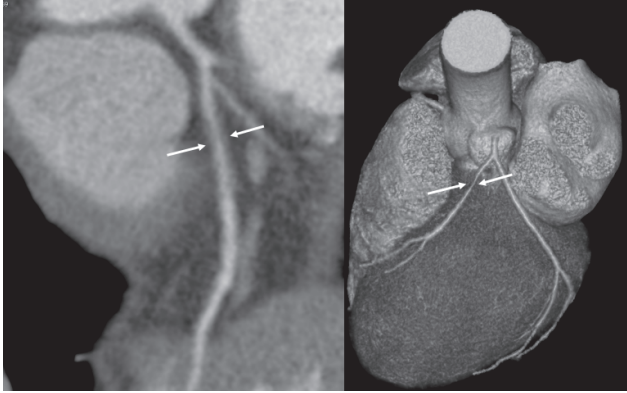
## เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทรวงอกและหัวใจ

เอกซเรย์คอมพิวเตอร์มีความไวมากกว่าฟิล์มเอกซเรย์ปอดในการประเมินพยาธิสภาพที่เนื้อปอดและเยื่อท่อนกลางช่องอก (mediastinum) นอกจากนี้ยังใช้ในการบอกระยะของมะเร็งปอดและประเมินขนาดและตำแหน่งของต่อน้ำเหลือง ภาวะทางคลินิกที่เร่งด่วนอย่างหนึ่งที่เอกซเรย์คอมพิวเตอร์แบบ CT pulmonary angiography (CTPA) (รูปที่ 27) มีบทบาทในการช่วยวินิจฉัยคือภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดงปอด (pulmonary thromboembolism หรือ PE) จากการศึกษารetrospective ของ The Prospective Investigation of Pulmonary Embolism Diagnosis (PIOPED II)<sup>45</sup> พบว่าการตรวจด้วย CTPA มีความไวและความจำเพาะในการวินิจฉัยภาวะ PE ร้อยละ 83 และ 96 ตามลำดับ และหากตรวจร่วมกับ CT venography (CTV) เพื่อหาลิ่มเลือดอุดตันหรือภาวะ deep vein thrombosis จะมีความไวและความจำเพาะเป็นร้อยละ 90 และ 95 ตามลำดับ อีกการศึกษาหนึ่งแบบ meta-analysis พบว่ามีการพยากรณ์โรคเป็นลบสูงถึงร้อยละ 99<sup>46</sup>

MDCT ถือเป็นหนึ่งในการตรวจที่มีบทบาทสำคัญในผู้ป่วยที่มีอาการและมีพยาธิ



รูปที่ 27 เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทรวงอกแสดง acute pulmonary embolism แขนง lobar and segmental branches ของเส้นเลือดแดง pulmonary artery ด้านขวาและด้านซ้าย



**รูปที่ 28** เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ coronary CT angiography แสดง soft plaque ที่ proximal left anterior descending coronary artery ทำให้เส้นเลือดตีบร้อยละ 50-70 ของผู้ป่วยชายอายุ 53 ปี

สภาพที่หัวใจ การตรวจเส้นเลือดหัวใจหรือ coronary CT angiography (รูปที่ 28) ผู้ป่วยควรงดคาเฟอีนก่อนการตรวจ 1 วัน งดอาหาร 4 ชั่วโมงก่อนการตรวจ และการรับประทานยากลุ่ม beta-blocker ก่อนการตรวจครึ่งชั่วโมงถึง 1 ชั่วโมงหากอัตราการเต้นของหัวใจสูงเกิน 60 ครั้งต่อนาที มีการศึกษาพบว่า 64 row MDCT มีความไวและความจำเพาะในการให้การวินิจฉัยเส้นเลือดหัวใจที่ตีบรุนแรงมากกว่าร้อยละ 50 ของขนาดเส้นเลือด เท่ากับร้อยละ 85 และ ร้อยละ 90 ตามลำดับ การพยากรณ์โรคเป็นบวกร้อยละ 91 และการพยากรณ์โรคเป็นลบร้อยละ 83<sup>47</sup> มีอีกหนึ่งการศึกษาซึ่งเป็น meta-analysis พบว่าการตรวจด้วย 64 row MDCT ในผู้ป่วยที่มาด้วยอาการของหัวใจขาดเลือดเฉียบพลัน (acute coronary syndrome - ACS) ให้การพยากรณ์โรคเป็นลบสูงถึงร้อยละ 99 หากผลการตรวจเป็นลบสามารถให้ผู้ป่วยกลับบ้านได้ และทำนายว่าจะปลอดจากอาการทางโรคหัวใจ (major adverse cardiac events - MACE) ไปอีก 30 วัน<sup>48</sup>

### ความสำคัญของปริมาณรังสีในการตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์

ปริมาณการส่งตรวจด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากจากเดิมเพียงร้อยละ 2 ของการส่งตรวจทางรังสีทั้งหมดเมื่อช่วงปี ค.ศ 1890-1989 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ

**ตารางที่ 5** แสดงปริมาณรังสียังผลจากการตรวจเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์เป็น effective dose (หน่วยเป็น millisievert - mSv)<sup>9</sup>

| บริเวณ/อวัยวะ           | ปริมาณรังสี<br>(mSv) | ปริมาณรังสีเทียบกับฟิล์มเอกซเรย์<br>ปอด 1 ใบ | ปริมาณรังสีเทียบกับรังสีที่มีตามธรรมชาติ<br>(natural background dose) |
|-------------------------|----------------------|--|---|
| ศีรษะ                   | 2.3                  | 115  | 1 ปี  |
| ปอด                     | 8                    | 400  | 3.6 ปี  |
| ช่องท้องและอุ้งเชิงกราน | 10                   | 500  | 4.5 ปี  |

9 ในช่วงปี ค.ศ.2003-2004 คิดเป็นครึ่งหนึ่งของปริมาณรังสีที่เกิดจากทางการแพทย์ทั้งหมด<sup>49</sup> ปริมาณรังสีจากการตรวจเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์แสดงดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 สิ่งที่ต้องตระหนักคือผลทางรังสีแบบ stochastic effect ที่ก่อให้เกิดมะเร็ง (ตารางที่ 7) และการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมได้ ยิ่งมีการพัฒนาเป็น MDCT สามารถตัดได้หลายเฟส ปริมาณรังสียิ่งเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นควรเป็นความรับผิดชอบของทุกฝ่ายร่วมกัน ตั้งแต่แพทย์เจ้าของไข้ควรมีเหตุผลหรือข้อบ่งชี้ทางการแพทย์ที่เหมาะสมในการส่งตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งบอกรายละเอียดที่ถูกต้องแก่รังสีแพทย์เพื่อที่จะออกแบบการสแกนที่จำกัดและเหมาะสมที่จะตอบคำถามอาการทางคลินิกตามหลักการของ ALARA (as low as reasonably achievable) นอกจากนี้ผู้ผลิตเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ควรพัฒนาเทคนิคเพื่อปรับเปลี่ยนและลดปริมาณรังสี โดยภาพที่ได้ยังคงคุณภาพสามารถอ่านและแปลผลได้ อีกทั้งนักรังสีเทคนิคควรเรียนรู้วิธีการใช้เครื่องและปรับลดปริมาณรังสีได้

## หลักการของการตรวจ PET-CT

PET-CT เป็นการรวมกันของ PET scan ซึ่งเป็น functional imaging และ CT scan ซึ่งให้รายละเอียดเป็น anatomical imaging อยู่ในเครื่องมือการตรวจเดียวกันโดยที่ไม่ต้องเคลื่อนย้ายผู้ป่วย ความแตกต่างของเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ใน PET-CT คือไม่สามารถเอียง gantry ได้เหมือนเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ทั่วไป

ตารางที่ 6 ปริมาณรังสีจากการตรวจเครื่องเอกซเรย์คอมพิวเตอร์<sup>50</sup>

| บริเวณ/อวัยวะอาการทางคลินิก                          | ปริมาณรังสี               |                   |                      |                   |
|--|---------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
|  | DLP <sup>a</sup> (mGy cm) |                   | Effective dose (mSv) |                   |
|  | SSCT <sup>b</sup>         | MSCT <sup>c</sup> | SSCT <sup>b</sup>    | MSCT <sup>c</sup> |
| ศีรษะ (โรคหลอดเลือดสมอง)                             | 760                       | 930               | 2.4                  | 3                 |
| ช่องท้อง (มะเร็งแพร่กระจายที่ตับ)                    | 460                       | 470               | 6                    | 6.1               |
| ช่องท้อง (หนอง)                                      | 510                       | 560               | 7.6                  | 8.4               |
| ทรวงอก, ช่องท้อง, อุ้งเชิงกราน (มะเร็งต่อมน้ำเหลือง) | 760                       | 940               | 10.6                 | 13.2              |
| ทรวงอก (มะเร็งปอด, มะเร็งแพร่กระจายที่ปอด)           | 430                       | 580               | 5.6                  | 7.5               |
| ทรวงอก (HRCT ในโรค interstitial lung disease)        | 80                        | 170               | 1                    | 2.2               |

หมายเหตุ <sup>a</sup> DLP ย่อมาจาก Dose length product

<sup>b</sup> SSCT ย่อมาจาก single slice computed tomography

<sup>c</sup> MSCT ย่อมาจาก multi-slice computed tomography

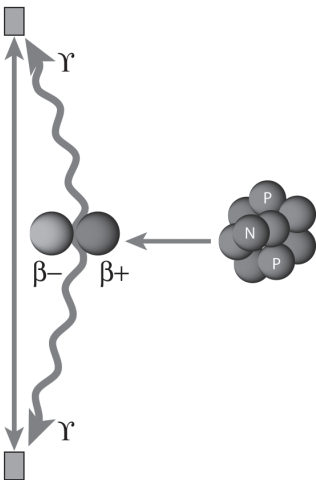
ตารางที่ 7 ปริมาณรังสียังผล (effective dose) กับความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งในอนาคต<sup>51</sup>

| Effective dose (mSv) | Cancer risk | ระดับความเสี่ยง | ตัวอย่าง   |
|----------------------|-------------|-----------------|--|
| < 0.1                | 1 ในล้าน    | ไม่น่ากังวล     | เอกซเรย์ปอด ศีรษะ แขน ขา                                       |
| 0.1-1                | 1 ในแสน     | ต่ำมาก ๆ        | เอกซเรย์กระดูกสันหลัง, ช่องท้อง                                |
| 1-10                 | 1 ในหมื่น   | ต่ำมาก          | Upper GI study, Barium edema, CT brain                         |
| 10-100               | 1 ในพัน     | ต่ำ             | Contrast enhanced CT, Intervention radiology (รังสีร่วมรักษา)  |
| 100                  | 1 ใน 200    |                 |  |
| >100                 | 1 ในร้อย    | ปานกลาง         | Multiphase CT, Intervention radiology, cardiac catheterization |



PET หรือ Positron Emission Tomography เป็นการตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์โดยตรวจวัดอนุภาคโพสิตรอนที่ปล่อยมาจากสารเภสัชรังสี (radiopharmaceuticals) ที่ให้เข้าไปในตัวผู้ป่วย โดยต้องอาศัยเครื่องเร่งอนุภาคที่เรียกว่าไซโคลตรอน (cyclotron) เพื่อผลิตสารกัมมันตรังสีเพื่อปล่อยโพสิตรอนออกมา ได้แก่ fluoride-18, carbon-11, nitrogen-13, และ oxygen-15 ซึ่งโพสิตรอนที่ได้ทำปฏิกิริยา annihilation กับอิเล็กตรอนเพื่อที่จะปล่อยพลังงานออกมาได้โฟตอนสองตัวซึ่งแต่ละอนุภาคมีพลังงาน 0.511 MeV (รูปที่ 29) ซึ่งจะกลายเป็นภาพโดยต้องอาศัยการเรืองแสง (scintillation) ของผลึกที่อยู่ในหัวตรวจ (detector) ของเครื่อง PET scan ผลึกเหล่านี้ได้แก่ Bismuth Germinate (BGO), Lutetium oxyorthosilicate (LSO) หรือ Gadolinium silicate (GSO) สำหรับสารเภสัชรังสีที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจ PET scan มากที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ 18-F-FDG (2-[fluorine-18]fluoro-2-deoxy D-glucose)<sup>26,52</sup>

หลักการของการตรวจ PET scan คือใช้สรีรวิทยาของตัวเนื้องอกและการกระจายตัวของ FDG กล่าวคือ เนื้องอกชนิดมะเร็งมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วทำให้มีการใช้กลูโคสอย่างมากเนื่องจากมี up-regulation ของเอนไซม์ hexokinase กลูโคสผ่านเข้าเซลล์มะเร็งโดยตัวนำพาจากกลูโคสเรียก glucose transporters (GLUT) เมื่อกลูโคสเข้าเซลล์จะเกิด phosphorylation โดยทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ hexokinase จะได้เป็น Glucose 6-

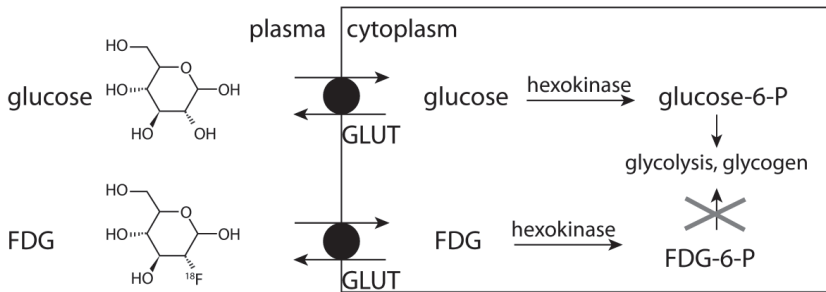


รูปที่ 29 โพสิตรอนที่ได้ทำปฏิกิริยา annihilation กับอิเล็กตรอน ( $\beta^-$ ) เพื่อปล่อยพลังงานออกมาได้โฟตอน ( $\gamma$ ) สองตัว

Phosphate และสามารถเกิด glycolysis ต่อไปได้ แต่ FDG ซึ่งเราใช้เป็นสารเภสัชรังสี นั้นเป็นกลูโคสอนุพันธ์ (glucose analog) สามารถเข้าสู่เซลล์ได้ด้วยกระบวนการเดียวกันและอัตราในการกระจายตัวเข้าเซลล์จะเป็นสัดส่วนที่เท่ากันกับอัตราเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อมะเร็ง แต่ข้อแตกต่างคือ FDG ไม่สามารถเกิด glycolysis ต่อได้จึงตกค้าง และถูกขังอยู่ภายในเซลล์ ซึ่งทำให้สามารถตรวจวัดอัตราเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อมะเร็ง จากการวัดค่าการจับของสารเภสัชรังสีจาก PET ได้ (รูปที่ 30) ซึ่งความผิดปกติที่เห็นจากภาพที่ปรากฏใน PET นั้นสามารถเห็นด้วยตาเรียกว่า “hot spot” หรือ increased uptake หรือวัดออกมาเป็นค่าเรียกว่า Standardized Uptake Value หรือ SUV โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร<sup>52</sup>

$$SUV = \frac{\text{FDG tracer activity in tissue}}{\text{FDG dose/ patient weight}}$$

โดยที่ FDG tracer activity in tissue คือ ปริมาณความเข้มข้นของสารเภสัชรังสีที่วัดได้จากบริเวณที่เราสนใจมีหน่วยเป็น becquerels ต่อมิลลิลิตร และ FDG dose

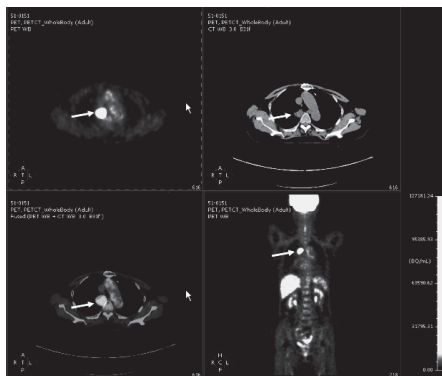


**รูปที่ 30** หลักการของการตรวจ PET scan กลูโคสผ่านเข้าเซลล์มะเร็งโดยตัวนำพา กลูโคสเรียก glucose transporters (GLUT) เมื่อกลูโคสเข้าเซลล์จะเกิด phosphorylation โดยทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ hexokinase จะได้เป็น Glucose 6-Phosphate และสามารถเกิด glycolysis ต่อไปได้ แต่ FDG เป็นกลูโคสอนุพันธ์ (glucose analog) สามารถเข้าสู่เซลล์ได้ด้วยกระบวนการเดียวกันและอัตราในการกระจายตัวเข้าเซลล์จะเป็นสัดส่วนที่เท่ากันกับอัตราเมตาบอลิซึมของเนื้อเยื่อมะเร็ง แต่ FDG ไม่สามารถเกิด glycolysis ต่อได้จึงตกค้างและถูกขังอยู่ภายในเซลล์

คือ ปริมาณของสารเภสัชรังสีที่ฉีดเข้าไปในตัวผู้ป่วย หน่วยเป็น becquerels ต่อหน้าหน้าตัวของผู้ป่วยหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยค่า SUV ในเนื้อเยื่อปกติจะมีค่าน้อยกว่า 1 (โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 0.8)

PET scan สามารถตรวจได้ทั้งมะเร็งแบบปฐมภูมิและแบบแพร่กระจาย ช่วยในการวินิจฉัย บอกระยะของโรค วางแผนการรักษาติดตามการรักษาและเฝ้าระวังการกลับเป็นซ้ำ อีกทั้งบอกการพยากรณ์โรคได้ มะเร็งที่สามารถตรวจโดยใช้ PET scan ได้แก่ บอกชนิดของ solitary pulmonary nodule, มะเร็งปอดชนิด non small cell, มะเร็งเต้านม, มะเร็งศีรษะและลำคอ, มะเร็งหลอดอาหาร, มะเร็งลำไส้ใหญ่, มะเร็งผิวหนัง (melanoma), และ lymphoma อย่างไรก็ตามมีมะเร็งบางชนิดที่ไม่สามารถตรวจด้วย PET scan ได้เช่น carcinoid tumor, มะเร็งปอดชนิด bronchoalveolar cell carcinoma และ mucinous adenocarcinoma<sup>52</sup> (รูปที่ 31)

ข้อควรระวังอีกอย่างในการแปลผล PET scan คือ FDG สามารถถูกจับเข้าไปในเซลล์ที่ปกติได้อันได้แก่ สมอง หัวใจ กล้ามเนื้อลาย กลองเสียง ทางเดินอาหาร (โดยเฉพาะกระเพาะอาหาร ตับ และลำไส้ใหญ่) ระบบทางเดินปัสสาวะ มดลูกช่วงที่มีประจำเดือน ไชกระดูก ต่อมไทรอยด์ ต่อมไขมัน ต่อมไขมันลาย ม้าม เต้านมสตรีช่วงให้นมบุตร และเซลล์ไขมันสีน้ำตาล (brown fat)



**รูปที่ 31** PET-CT ของผู้ป่วยเป็น ascending colonic cancer และ ovarian metastasis ได้รับการทำ right half hemicolectomy และรับยาเคมีบำบัด และมี RUL nodule metastasis (ลูกศร) ในเวลาต่อมา

### การเตรียมผู้ป่วยสำหรับการตรวจ PET-CT

1. งดน้ำและอาหารก่อนการตรวจ 4-6 ชั่วโมง เพื่อเพิ่มการ uptake ของ FDG ให้กับเซลล์มะเร็ง
  2. หลีกเลี่ยงการรับประทานคาเฟอีนและแอลกอฮอล์
  3. ควบคุมให้ระดับน้ำตาลต่ำกว่า 150 มิลลิกรัม/เดซิลิตร เพื่อไม่ให้แย่งกันจับกับ glucose transporters ในการเข้าเซลล์
  4. ใส่สายสวนปัสสาวะกรณีที่ต้องการตรวจระบบทางเดินปัสสาวะหรือการตรวจครอบคลุมบริเวณอุ้งเชิงกราน
  5. ให้รับประทานสารที่รังสีกรณีตรวจบริเวณช่องท้อง
  6. หลังฉีด FDG ปริมาณ 10 มิลลิคูรีให้จำกัดกิจกรรมและการพูดประมาณ 20 นาทีเพื่อลดการ uptake ในกล้ามเนื้อลาย
  7. เริ่มทำการตรวจประมาณ 60 นาทีหลังฉีดสารเภสัชรังสี
  8. การตรวจใช้เวลาประมาณ 30-45 นาทีสำหรับ PET scan และ 60-70 วินาทีสำหรับเอกซเรย์คอมพิวเตอร์
- กล่าวโดยสรุปข้อดีของ PET-CT ที่เหนือกว่า PET-scan คือ<sup>52</sup>
1. สามารถบอกตำแหน่งขนาดเล็กที่มี uptake ของสารเภสัชรังสีได้อย่างถูกต้อง และสามารถแยกอวัยวะปกติแต่มี uptake ของสารเภสัชรังสีออกจากบริเวณที่ผิดปกติ
  2. ส่วนของเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามารถให้รายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับโรคที่เป็นอยู่ และอาจมีผลต่อการรักษา
  3. สามารถวัดค่าความผิดปกติออกมาเป็นปริมาณได้ (quantitative หรือ semi-quantitative)

### หลักการของตรวจฉีดสีหลอดเลือด (angiogram)

การตรวจฉีดสีหลอดเลือด แบ่งเป็นฉีดสีหลอดเลือดเพื่อการวินิจฉัย (diagnostic angiogram) และเพื่อการรักษา (therapeutic angiogram) เช่นการอุดเส้นเลือด (embolization) หรือการถ่างขยายเส้นเลือดโดยใช้สายสวนที่มีบอลูน (balloon angioplasty) ซึ่งการตรวจฉีดสีหลอดเลือดบ่งชี้เหตุการณ์ที่ทำโดยการแทงเข็มและสายสวน (catheter)

ผ่านผิวหนัง ตามด้วยการฉีดสารทึบรังสี และถ่ายภาพโดยใช้หลักการของฟลูออโรสโคป โดยเครื่องที่เรียกว่า digital subtraction angiography (DSA) โดยทั่วไปตำแหน่งเส้นเลือดที่แทงเป็น common femoral artery ตำแหน่งอื่นๆ เช่น axillary, brachial หรือ radial arteries ใช้กรณีที่มีการอุดตันของ iliac vessels

เทคนิคการแทงเข็มบริเวณ common femoral artery ที่นิยมทำกันเรียกว่า retrograde femoral artery puncture ทิศทางของเข็มที่แทงเข้าไปจะตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของเลือดหรือแทงขึ้นหรือไปทางด้านศีรษะของผู้ป่วยนั่นเอง ตำแหน่งที่แทงเข็มจะต่ำกว่า inguinal ligament เล็กน้อย เนื่องจากตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่เส้นเลือดแดงพาดผ่านกระดูกเชิงกรานพอดี ทำให้เป็นจุดที่ง่ายต่อการกดเส้นเลือดและเป็นผลดีต่อ hemostasis หลังจากการทำหัตถการ อีกหนึ่งเทคนิคเรียกว่า antegrade femoral artery puncture ซึ่งทำเมื่อต้องการทำ superficial femoral, popliteal หรือ infra-genicular artery angioplasty ทิศทางของเข็มที่แทงเข้าไปจะทิศเดียวกับทิศทางไหลของเลือดหรือแทงลงไปทางด้านเท้าของผู้ป่วยนั่นเอง<sup>53</sup>

### ข้อบ่งชี้สำหรับการตรวจฉีดสีหลอดเลือด<sup>54</sup>

#### 1. Pulmonary arteriography

- สงสัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดง pulmonary artery แบบเฉียบพลันในกรณีที่มีการตรวจชนิดอื่นไม่สามารถให้ข้อสรุปที่ชัดเจน หรือผลการตรวจไม่เข้ากับอาการทางคลินิก

- ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากการตรวจ ventilation-perfusion ว่ามีโอกาสูงสำหรับภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดง pulmonary artery และมีข้อห้ามในการให้ยาละลายลิ่มเลือด

- ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากการตรวจ ventilation-perfusion ว่ามีโอกาปานกลางสำหรับภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดง pulmonary artery หรือเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ไม่สามารถให้การวินิจฉัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดที่ปอดแต่อาการทางคลินิกยังคงสงสัยภาวะนี้

- ผู้ป่วยที่ได้รับการวินิจฉัยจากการตรวจ ventilation-perfusion ว่ามีโอกาต่ำสำหรับภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดง pulmonary artery แต่อาการทางคลินิก

สงสัยภาวะนี้เป็นอย่างมาก

- สงสัยภาวะลิ่มเลือดอุดตันในเส้นเลือดแดง pulmonary artery แบบเรื้อรัง
- สงสัยภาวะอื่นๆ ได้แก่ vasculitis, congenital หรือ acquired anomalies, tumor encasement และ vascular malformations

lies, tumor encasement และ vascular malformations

- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

## 2. Spinal arteriography

- ก้อนทวมของกระดูกไขสันหลัง และไขสันหลัง
- Vascular malformations
- การบาดเจ็บของกระดูกไขสันหลัง และไขสันหลัง
- ประเมินก่อนการผ่าตัดของ open หรือ endovascular aortic หรือ spinal surgery

nal surgery

- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

## 3. Bronchial arteriography

- ไอเป็นเลือด
- สงสัยภาวะ congenital cardiopulmonary anomalies
- ประเมินระบบการไหลเวียนของ pulmonary artery ส่วนปลาย ในผู้ป่วย

ที่เหมาะสมสำหรับการทำ pulmonary thromboendarterectomy

- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

## 4. Aortography

- Acute traumatic injury, dissection, aneurysm, occlusive disease และ congenital anomaly

ease และ congenital anomaly

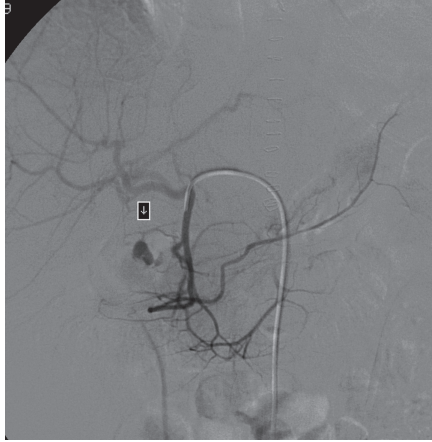
- ประเมินหลอดเลือดแดงเออร์ต้าและแขนงก่อนจะเลือกเส้นเลือดที่ต้องการ

ตรวจ

- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

## 5. Abdominal visceral arteriography

- เลือดออกในระบบทางเดินอาหาร (รูปที่ 32)
- การบาดเจ็บช่องท้องแบบกระแทกหรือแบบทะลุ



**รูปที่ 32** แสดง celiac angiography ของผู้ป่วยชายมาด้วยถ่ายเป็นเลือดสดพบว่า มี extravasation ของสารทึบรั่วออกจาก duodenal branch ของ superior pancreatico-duodenal artery

- Intra-abdominal tumors
- ภาวะลำไส้ขาดเลือดแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง
- ประเมิน mesenteric, splenic และ portal vein ในผู้ป่วยที่สงสัยภาวะ

portal hypertension

● Primary vascular abnormalities รวมถึงเส้นเลือดโป่งพอง, ภาวะ vascular malformations, ภาวะเส้นเลือดอุดตัน หรือ vasculitis

- ประเมินก่อนการผ่าตัดแบบเปิดช่องท้อง
- ประเมินก่อนและหลังการผ่าตัดปลูกถ่ายอวัยวะ
- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

#### 6. Renal arteriography

● ภาวะ reno-vascular occlusive disease เช่นมีความดันโลหิตสูงหรือ progressive renal insufficiency

- การบาดเจ็บต่อเส้นเลือดที่ไต (renal vascular trauma)
- Primary vascular abnormalities รวมถึงเส้นเลือดโป่งพอง, ภาวะ vas-

cular malformations, หรือ vasculitis

- Renal tumors
- บั๊สภาวะเป็นเลือดที่หาสาเหตุไม่ได้
- ประเมินก่อนและหลังการผ่าตัดปลูกถ่ายไต
- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

#### 7. Pelvic arteriography

- Atherosclerotic aortoiliac disease
- มีเลือดออกระบบทางเดินอาหารหรือระบบทางเดินปัสสาวะหรือระบบอวัยวะ

สืบพันธุ์

- มีการบาดเจ็บบริเวณอุ้งเชิงกราน
- Primary vascular abnormalities รวมถึงเส้นเลือดโป่งพอง, ภาวะ vas-

cular malformations, หรือ vasculitis

- Male impotence ซึ่งเกิดจากเส้นเลือดแดงอุดตัน
- Pelvic tumors
- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

#### 8. Extremity arteriography

- Atherosclerotic vascular disease รวมถึงเส้นเลือดโป่งพอง เส้นเลือด

อุดตัน (emboli และ occlusive disease หรือ thrombosis)

- มีการบาดเจ็บของหลอดเลือดบริเวณระยางค์
- ประเมินก่อนและหลังการผ่าตัด
- Primary vascular abnormalities เช่น vascular malformations, vas-

culitis, entrapment syndrome และ thoracic outlet syndrome

- Extremity tumors
- ก่อน ระหว่าง หรือหลังการทำ arterial intervention

#### **ข้อห้ามสำหรับการตรวจฉีดสีหลอดเลือด**<sup>53,54</sup>

การตรวจฉีดสีหลอดเลือดไม่มีข้อห้ามโดยสมบูรณ์ (absolute contraindication)

มีเพียงข้อห้ามสัมพัทธ์ (relative contraindication) ซึ่งได้แก่



● ความดันโลหิตสูงอย่างรุนแรงเนื่องจากมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดเลือดออกตรงบริเวณตำแหน่งแทงเข็ม

● ไม่สามารถแก้ไขภาวะ coagulopathy หรือเกร็ดเลือดต่ำได้

● การทำงานของไตไม่ดี

● ภาวะหัวใจล้มเหลว

● แพ้สารที่บ่งชี้รุนแรง

● โรคที่มีความผิดปกติของ connective tissue disease เช่น Ehlers-Danlos syndrome เนื่องจากมีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดเลือดออกตรงบริเวณตำแหน่งแทงเข็มเช่นกัน

### การเตรียมผู้ป่วย

● โภชนาทำความสะอาดบริเวณขาหนีบหากตำแหน่งแทงเข็มอยู่ตรงบริเวณ femoral artery

● งดน้ำและอาหารอย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนการทำหัตถการ

● เซ็นต์ไปยนิยอม

### การดูแลผู้ป่วยหลังการทำหัตถการ

การถอนสายสวนหลังจากทำหัตถการเสร็จสิ้นแล้ว ควรกดสันเลือดโดยใช้นิ้วมือประมาณ 5-10 นาที และดูให้แน่ใจว่าไม่มีเลือดออกก่อนทำการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย หลังจากนั้นให้ตรวจสอบบริเวณแทงเข็มและบันทึกความดันโลหิต พร้อมทั้งคลำชีพจรบริเวณส่วนปลายเท้า

### ภาวะแทรกซ้อนหลังการตรวจฉีดสีหลอดเลือด<sup>53</sup>

1. ภาวะแทรกซ้อนที่เกี่ยวข้องกับสารทึบรังสีได้แก่อาการไม่พึงประสงค์ต่างหรือผลข้างเคียงอื่นๆ จากการได้รับสารทึบรังสีทางหลอดเลือดซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2. ภาวะแทรกซ้อนอันเนื่องมาจากยาชาเฉพาะที่หรือยาตัวอื่นๆ ที่ได้รับระหว่างทำหัตถการ

3. ภาวะแทรกซ้อนตรงบริเวณแทงเข็ม ได้แก่ เลือดออก (external bleeding หรือ hematoma), ภาวะ perivascular หรือ intramural contrast medium injection

กล่าวคือสารที่บรังสีถูกฉีดในตำแหน่งที่เป็นผนังเส้นเลือดหรืออยู่นอกเส้นเลือด, ภาวะอุดตันของเส้นเลือดส่วนปลาย (peripheral embolization), มีลิ่มเลือดอุดตัน ได้แก่ thrombosis หรือ dissection, ภาวะเส้นเลือดโป่งพอง (aneurysm หรือ pseudo-aneurysm formation, arterio-venous fistula, ตัดข้อตรงบริเวณแขนงเข้มน และเส้นประสาทถูกทำลาย

4. ภาวะแทรกซ้อนที่เกี่ยวข้องกับการใส่สายสวน ได้แก่ มีลิ่มเลือดเกิดขึ้นในสายสวนและอาจหลุดเข้ากระแสโลหิตได้, ภาวะ air embolism, มีการบาดเจ็บต่อเส้นเลือดที่แทงเช่น ทะลุ หรือ dissection, มีการบาดเจ็บต่ออวัยวะต่างๆ เช่น ขาดเลือด, สายสวนหักหรือเป็นปม หรือเกิดภาวะ vagovagal reactions ระหว่างการทำหัตถการ

### หลักการของการตรวจอัลตราซาวด์

อัลตราซาวด์ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งสำหรับการตรวจเนื้อเยื่อ สามารถให้ภาพ ณ ขณะเวลานั้นและภาพที่มีการเคลื่อนไหว เช่น ลิ้นหัวใจ การปฏิสัมพันธ์ของการตัดชิ้นเนื้อ หรือหัตถการการระบายน้ำหรือหนองโดยใช้อัลตราซาวด์เป็นตัวช่วยนำอัลตราซาวด์ดอปเปลอร์ (Doppler Mode) ซึ่งตรวจจับการเคลื่อนที่และทิศทางไหลของเลือด อย่างที่ทราบกันดีว่าอัลตราซาวด์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวินิจฉัยโรคที่ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ป่วย แม้ว่าเป็นอวัยวะที่ไวต่อการบาดเจ็บเช่น ดวงตา หรือแม้แต่ทารกในครรภ์มารดา อวัยวะหรือบริเวณที่สามารถตรวจโดยอัลตราซาวด์ได้แก่ หัวใจ ช่องท้อง อู้งเชิงกราน คอ เต้านม แขนขา และสมองในเด็กแรกเกิด ข้อจำกัดคือคลื่นอัลตราซาวด์ไม่สามารถผ่านขอบเขตระหว่างเนื้อเยื่อกับก๊าซ และระหว่างเนื้อเยื่อกับกระดูกได้ ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการตรวจอวัยวะเหล่านี้ได้แก่ ปอด ตีระชะ (ยกเว้นในทารกแรกเกิดที่กระหม่อมยังเปิด) หรือบริเวณกระดูก หรือลำไส้ที่มีก๊าซซึ่งต้องอาศัยเทคนิคการทำที่มีประสบการณ์<sup>55</sup> การเตรียมตัวสำหรับการตรวจอัลตราซาวด์นั้น ใช้สำหรับการตรวจช่องท้องและอวัยวะในอุ้งเชิงกรานเท่านั้น กล่าวคือ งดน้ำและอาหารก่อนการตรวจช่องท้องส่วนบนดังนี้

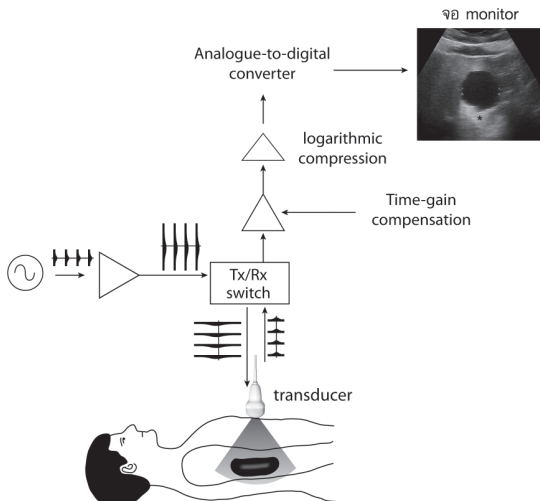
1. ทารก-อายุ 2 ปี งดน้ำและอาหาร 2 ชั่วโมง
2. อายุ > 2-4 ปี งดน้ำและอาหาร 3 ชั่วโมง
3. อายุ > 4 ปีและผู้ใหญ่ งดน้ำและอาหาร 4 ชั่วโมง

สำหรับการตรวจกระเพาะปัสสาวะและอวัยวะในอุ้งเชิงกราน ควรเตรียมตัวโดยต็มหน้าก่อนการตรวจ 60-90 นาที เพื่อให้กระเพาะปัสสาวะมีน้ำปัสสาวะเต็ม นอกจากนี้ข้อดีอื่นๆ ของอัลตราซาวด์คือ เป็นเครื่องมือที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ทำข้างเตียงผู้ป่วย ซึ่งมีประโยชน์ต่อผู้ป่วยในห้องฉุกเฉิน ผู้ป่วยหนัก (ICU) หรือในห้องผ่าตัด

เครื่องอัลตราซาวด์ประกอบด้วย<sup>25,55,56</sup> (รูปที่ 33)

1. ตัวส่งสัญญาณ (transmitter) มีหน้าที่ควบคุมสัญญาณไฟฟ้าส่งไปยังหัวตรวจ (transducer หรือ probe)
2. ตัวรับสัญญาณ หรือตัวทำให้เกิดภาพ (receiver หรือ image processor) รับสัญญาณไฟฟ้าแล้วส่งกลับไปยังหัวตรวจ
3. หัวตรวจ (transducer) มีการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าและสัญญาณเสียงโดยใช้หลักการสามอย่างได้แก่

3.1 active element ในหัวตรวจมีผลึกไพโซอิเล็กทริก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าความถี่สูงผ่านผิวผลึก ทำให้ผลึกถูกอัดและขยายจนเกิดการสั่นของของผลึก เรียกว่าปรากฏการณ์ไพโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) แล้วปล่อยคลื่นความถี่สูงออกมาในทางกลับกันเมื่อคลื่นเสียงกระทบผลึกนี้ ทำให้โมเลกุลภายในเกิดการสั่นสะท้อนแล้ว



รูปที่ 33 ส่วนประกอบของเครื่องอัลตราซาวด์ (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 26)

เปลี่ยนออกมาเป็นประจุไฟฟ้าได้เช่นกัน เมื่อคลื่นอัลตราซาวด์สัมผัสกับเนื้อเยื่อ สัญญาณส่วนหนึ่งจะส่งผ่านไปได้อีก สัญญาณอีกส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับไป สัญญาณที่สะท้อนกลับไปยังผลึกจะช่วยให้กำเนิดสัญญาณไฟฟ้า เรียกหลักการนี้ว่า pulse echo method

3.2 damping หรือ backing material ตัวหัวตรวจประกอบด้วยสารอีพอกซีเรซิน (epoxy resin) ช่วยดูดซับการสั่นสะท้อนและลดจำนวนวงจรของ echo pulse ทำให้ได้ภาพอัลตราซาวด์ที่ละเอียดขึ้น

3.3 matching layer ซึ่งคือเจลอัลตราซาวด์นั่นเอง ความแตกต่างของความหนาแน่น (impedance mismatch) ระหว่างเนื้อเยื่อและหัวตรวจ ทำให้เกิดการสะท้อนกลับเข้ามาของคลื่นอัลตราซาวด์ ตัวเจลอัลตราซาวด์จะช่วยลดการสะท้อนกลับและช่วยนำส่งให้คลื่นอัลตราซาวด์ผ่านลำตัวไปยังอวัยวะที่ต้องการตรวจได้

4. จอ (monitor) ไว้แสดงผลภาพอัลตราซาวด์

5. เครื่องบันทึกภาพอัลตราซาวด์

หัวตรวจอัลตราซาวด์ที่ใช้ในการตรวจวินิจฉัยทางการแพทย์มีความถี่ตั้งแต่ 1-20 เมกกะเฮิรตซ์ ความถี่สูงทะลุผ่านเนื้อเยื่อไม่ดี แต่ได้ภาพที่มีรายละเอียดสูง เหมาะสำหรับอวัยวะที่อยู่ตื้นเช่น ต่อมไทรอยด์ แขนขา เป็นต้น ความถี่ที่เหมาะสมของหัวตรวจอัลตราซาวด์กับอวัยวะที่ตรวจมีดังนี้

- ความถี่ 2.5-3.5 เมกกะเฮิรตซ์ เหมาะสำหรับการตรวจช่องท้อง
- ความถี่ 5 เมกกะเฮิรตซ์ เหมาะสำหรับการตรวจช่องคลอด ช่องท้องในผู้ป่วยเด็ก

อวัยวะ

- ความถี่ 7.5 เมกกะเฮิรตซ์ เหมาะสำหรับการตรวจเส้นเลือด เนื้อเยื่อบริเวณผิวหนังหรือต่อมไทรอยด์

- ความถี่ 10-12 เมกกะเฮิรตซ์ เหมาะสำหรับการในเส้นเลือด (intravascular ultrasound) หรืออัลตราซาวด์แบบส่องกล้อง (endoscopic ultrasound)

ภาพที่ได้จากการทำอัลตราซาวด์แบ่งเป็นสามประเภท

● A mode หรือแบบแอมพลิจูด (Amplitude mode) เป็นการแสดงผลภาพแบบที่เป็นพื้นฐานและง่ายที่สุด กล่าวคือแสดงผลภาพเพื่อประเมินความหนาแน่นของเนื้อเยื่อที่มีความลึกจากพื้นผิวต่างกันเท่านั้น ภาพที่ปรากฏเป็นหนึ่งมิติและเป็นกราฟโดยแกนตั้งหรือ

vertical axis แสดงแอมพลิจูด (ความสูงระหว่างยอดคลื่นและท้องคลื่นของคลื่นเสียง) หรือความเข้ม (echo intensity) ของคลื่นเสียง และแกนนอน (horizontal axis) แสดงแสดงเวลาที่เปลี่ยนไป ยังมีสัญญาณคลื่นเสียงส่งกลับไปยังหัวตรวจมากเท่านั้น ความสูงของแอมพลิจูดก็มากขึ้นด้วย ปัจจุบันไม่มีที่ใช้แล้ว แต่ยังคงพบได้ในการประเมินอายุครรภ์ในช่วงไตรมาสแรก

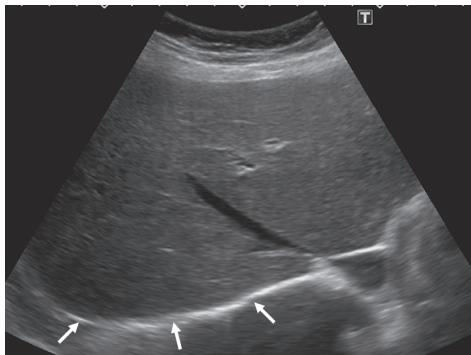
- B mode (Brightness mode) หรือแบบภาพขาวดำ (greyscale mode) เป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุดในปัจจุบัน ภาพที่ปรากฏเป็นแบบสองมิติ (รูปที่ 34) โดยยังคงใช้หลักการของการสะท้อนกลับของคลื่นเสียงไปยังหัวตรวจรวมกับการเคลื่อนไหวหรือปัดหัวตรวจไปในทิศทางที่ต่างกัน ต่างจากแบบ A mode ซึ่งหัวตรวจ และหากมีการเก็บข้อมูลเป็นปริมาตรจะได้ภาพที่เป็นสามและสี่มิติ

- M mode (Movement mode) เป็นการวัดแอมพลิจูดของคลื่นเสียงผ่านอวัยวะที่มีการเคลื่อนไหว เช่น ลิ้นหัวใจ หรือกล้ามเนื้อหัวใจ

### การใช้อัลตราซาวด์ทางศัลยศาสตร์คลินิก<sup>56</sup>

ศัพท์ที่ใช้ในการรายงานผลทางอัลตราซาวด์ทางคลินิกได้แก่

- *Echogenicity* บอกระดับของเนื้อเยื่อที่สะท้อนคลื่นอัลตราซาวด์และ



**รูปที่ 34** ภาพอัลตราซาวด์แบบ B mode (Brightness mode) หรือแบบภาพขาวดำ (greyscale mode) บริเวณตับซึ่งปรากฏเป็นสีดำกว่าขอบกะบังลมซึ่งปรากฏเป็นสีขาว (ลูกศร)

ปรากฏในภาพเป็นระดับของความสว่าง

- *Anechoic* ไม่มีเอคโค หมายถึงปรากฏเป็นสีดำในภาพอัลตราซาวด์
- *Isoechoic* มีเอคโคหรือความสว่างเท่ากับเนื้อเยื่อข้างเคียง
- *Hypoechoic* มีเอคโคน้อยกว่าหรือต่ำกว่าเนื้อเยื่อข้างเคียง
- *Hyperechoic* มีเอคโคมากกว่าหรือขาวกว่าเนื้อเยื่อข้างเคียง
- *Homogenous* เป็นการบอกระดับความสว่างหรือความขาวดำของภาพว่า

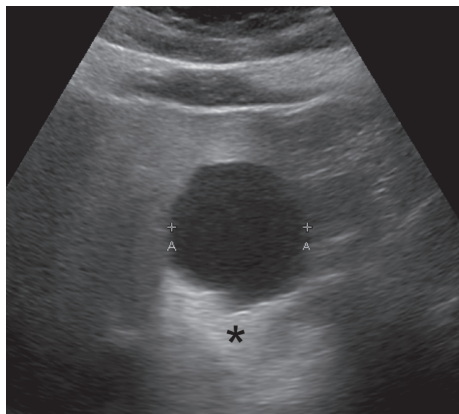
เป็นเงาความเข้มระดับเดียวกัน มักแสดงถึงอวัยวะที่เป็นปกติ

- *Heterogeneous* เป็นการบอกระดับความสว่างหรือความขาวดำของภาพว่าเป็นเงาความเข้มที่ไม่เป็นระดับหรือเนื้อเดียวกัน

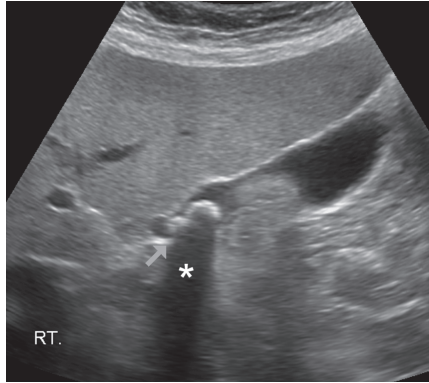
- *Resolution* เป็นความสามารถในการแยกอวัยวะหรือโครงสร้างสองสิ่งที่อยู่ติดกันอาจจะเป็นในแนวด้านข้างหรือในแนวหน้าหลัง

อัลตราซาวด์มีประโยชน์อย่างมากในการแยกภาพพยาธิสภาพที่เห็นเป็นถุงน้ำ หรือเป็นก้อนเนื้อแข็ง และมีหินปูนร่วมด้วยหรือไม่

● ถุงน้ำ (cyst) ปรากฏเป็นสีดำในภาพอัลตราซาวด์ และด้านหลังของถุงน้ำปรากฏเป็นสีขาว (posterior acoustic enhancement) เนื่องจากคลื่นเสียงสามารถผ่านถุงน้ำ



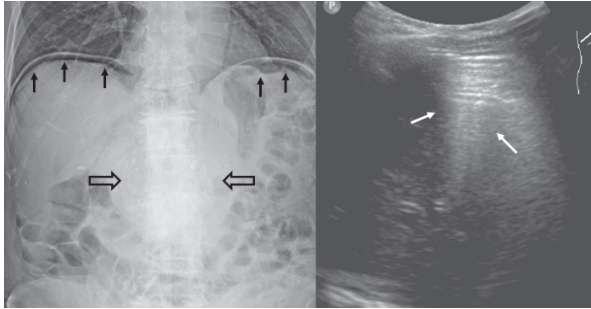
รูปที่ 35 ลักษณะถุงน้ำ (cyst) ปรากฏเป็นสีดำในภาพอัลตราซาวด์ และด้านหลังของถุงน้ำปรากฏเป็นสีขาว (\*)



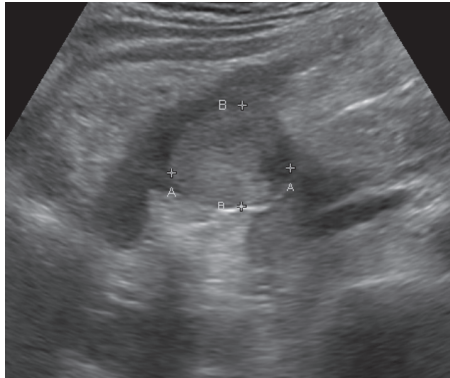
**รูปที่ 36** นิ้วในถุงน้ำดีปรากฏเป็นสีขาวในภาพอัลตราซาวด์และด้านหลังของหินปูนปรากฏเป็นเงาสีดำ (\*)

ได้มากกว่าเนื้อเยื่อข้างเคียง ลักษณะของถุงน้ำแบบธรรมดา (simple cyst) ต้องประกอบด้วยสามอย่างได้แก่ ไม่มีเอโคโคหรือปรากฏเป็นสีดำ ผังบาง และเห็นลักษณะ posterior acoustic enhancement (รูปที่ 35) ลักษณะของถุงน้ำแบบซับซ้อน (complex cyst) คือ ปรากฏลักษณะอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไปนี้ได้แก่ ผังหนาหรือขรุขระมีผนังซ้อนด้านในของถุงน้ำ (septation) หรือมี debris ภายในถุงน้ำ ลักษณะของถุงน้ำแบบซับซ้อนอาจพบได้ในภาวะที่เป็นหนองหรือเนื้องอกได้ นอกจากนี้ลักษณะ posterior acoustic enhancement สามารถพบได้ในก้อนเนื้อแข็งบางชนิดที่มีส่วนประกอบของของเหลว เช่น fibroadenoma ในเต้านม หรือก้อน lymphoma

- หินปูน (calcification) ปรากฏเป็นสีขาวในภาพอัลตราซาวด์และด้านหลังของหินปูนปรากฏเป็นเงาสีดำ (posterior shadowing) ซึ่งเงาสีดำนี้เกิดจากคลื่นไม่สามารถผ่านหินปูนได้หรือผ่านได้น้อย (รูปที่ 36) นอกจากนี้ลักษณะ posterior shadowing สามารถพบได้ในก้อนเนื้อชนิดร้ายของเต้านมซึ่งไม่ได้มีหินปูนแต่ประการใด หรือพบในอวัยวะที่มีก๊าซ หรืออากาศ แต่ลักษณะเช่นนั้นเรียกว่า dirty shadowing ซึ่งเกิดจากคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับเกือบทั้งหมดมีความยาวคลื่นน้อยกว่าลำของคลื่นอัลตราซาวด์ทำให้เกิดลักษณะ reverberations และ dirty shadowing ซึ่งพบได้ในก๊าซที่อยู่ในลำไส้ (รูปที่ 37)



**รูปที่ 37** Pneumoperitoneum (ลูกศรดำภาพทางซ้ายมือ) จาก duodenal perforation ของผู้ป่วยชายเป็น hepatocellular carcinoma (ลูกศรโปร่ง) ได้รับการทำ transcatheter arterial chemoembolisation (TACE) ซึ่งปรากฏลักษณะ dirty shadow จากภาพอัลตราซาวด์ (ลูกศรขาวภาพทางขวามือ)



**รูปที่ 38** ลักษณะของ hepatocellular carcinoma ซึ่งปรากฏเป็นก้อนเนื้อแข็งสีเทาผสมสีดำจากภาพอัลตราซาวด์

- ก้อนเนื้อแข็ง (solid mass) ปรากฏเป็นสีเทาดำได้หลายระดับในภาพอัลตราซาวด์ เช่น เนื้องอกชนิด hemangioma ในตับปรากฏเป็นสีขาว (รูปที่ 38) เนื้องอกมะเร็งแบบแพร่กระจายในตับปรากฏได้ทั้งสีดำและสีขาว นอกจากนั้นขอบของก้อนเนื้อแข็งสามารถเป็นได้ทั้งขอบเรียบ ขรุขระ ขอบเขตชัด และขอบเขตไม่ชัด

ต่อไปจะกล่าวถึงอัลตราซาวด์ที่ใช้บ่อยในทางศัลยกรรม ได้แก่ อัลตราซาวด์เต้านม



อัลตราซาวด์ช่องท้องในผู้ป่วยอุบัติเหตุและอัลตราซาวด์ภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ขาอย่างสังเขป

## อัลตราซาวด์เต้านม

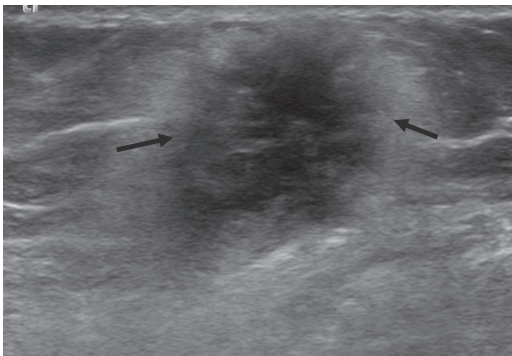
ในปัจจุบันนอกจากอัลตราซาวด์ช่วยแยกพยาธิสภาพถุงน้ำหรือก้อนเนื้อแข็งในเต้านม และสามารถช่วยแยกลักษณะก้อนว่ามะเร็งหรือไม่ (รูปที่ 39) อัลตราซาวด์ยังมีบทบาทในการช่วยช่วยนำทางในการตัดชิ้นเนื้อ ซึ่งถือเป็นหัตถการที่คุกคามน้อยและผลชิ้นเนื้อถูกต้องเทียบเคียงกับการตัดชิ้นเนื้อแบบเปิดแผลผ่าตัด (open biopsy) มีรายงานว่า การตัดชิ้นเนื้อโดยเข็มและใช้อัลตราซาวด์เป็นตัวช่วยนำ มีความไวในการวินิจฉัยมะเร็งเต้านมร้อยละ 96<sup>56</sup> โดยสรุปข้อบ่งชี้ในการทำอัลตราซาวด์เต้านมได้แก่

- 1.) เพื่อประเมินก้อนหรือหินปูนขนาดเล็กที่เห็นจากแมมโมแกรมแต่คลำก้อนไม่ได้
- 2.) เพื่อประเมินขนาดของท่อน้ำนมในกรณีที่มีของเหลวหรือสารคัดหลั่งออกจาก

หัวนม

3.) เพื่อประเมินเต้านมที่มีไขมันน้อย (หรือ dense breast) หรือไม่แน่ใจว่ามีก้อนหรือไม่ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ป่วยอายุน้อย

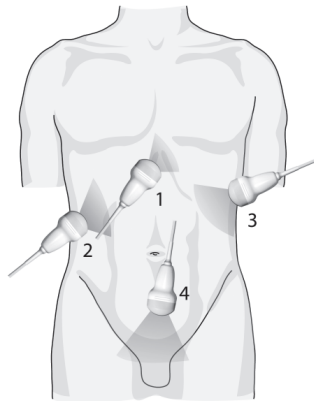
- 4.) เพื่อแยกระหว่างถุงน้ำและก้อนเนื้อแข็ง
- 5.) เพื่อเป็นตัวช่วยนำในการตัดชิ้นเนื้อ การระบายหนองหรือของเหลวต่างๆ



รูปที่ 39 ลักษณะของมะเร็งเต้านม ซึ่งปรากฏเป็นก้อนเนื้อที่ดำขอบขรุขระ (ลูกศร) จากภาพอัลตราซาวด์

## อัลตราซาวด์ช่องท้องในผู้ป่วยอุบัติเหตุ

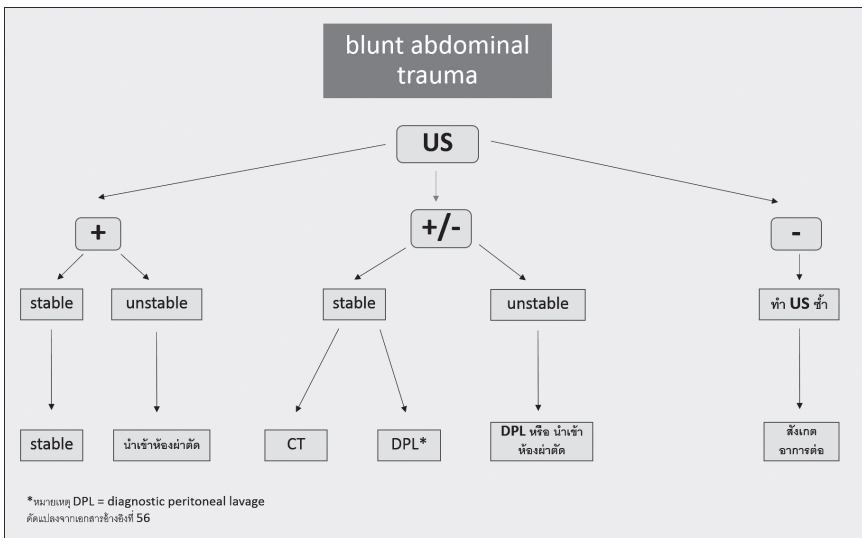
การทำอัลตราซาวด์เพื่อประเมินเบื้องต้นในผู้ป่วยอุบัติเหตุเรียกว่า Focused Assessment of the sonographic examination of Trauma Patients หรือย่อว่า FAST ซึ่งเป็นการประเมินการบาดเจ็บของช่องท้องและทรวงอกส่วนล่าง โดยดูการสะสมของของเหลวบริเวณส่วนที่ต่ำสุด (dependent area) ของร่างกายในตำแหน่งต่างๆ อันได้แก่น้ำในช่องเยื่อหุ้มหัวใจ ช่องท้องส่วนขวาบน ช่องท้องส่วนซ้ายบน และบริเวณอุ้งเชิงกราน เทคนิคในการทำให้หัวตรวจชนิดผิวโค้งหมุนความถี่ 3.5 เมกะเฮิรตซ์ วางหัวตรวจบริเวณลึนปี่ในแนวขนานกับแกนยาวของลำตัว (sagittal) และตัวชี้ทิศของหัวตรวจหันไปทางด้านศีรษะของผู้ป่วย การตรวจตำแหน่งนี้ใช้ประเมินน้ำหรือเลือดในช่องเยื่อหุ้มหัวใจ หลังจากนั้นวางหัวตรวจในแนวเดียวกัน และเลื่อนตำแหน่งไปยังเส้นกึ่งกลางรักแร้ด้านขวา (mid-axillary line) ระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 11 และ 12 เพื่อตรวจตับและกระบังลมด้านขวา ใช้ประเมินเลือดที่อยู่ตรง Morrison pouch ซึ่งอยู่ระหว่างใต้ตับและไตขวา และประเมินเลือดที่อยู่ใต้กระบังลม (subphrenic space) หลังจากนั้นเลื่อนหัวตรวจไปยังแนวเดียวกันไปยังเส้นรักแร้ด้านซ้าย (posterior-axillary line) ระหว่างกระดูกซี่โครงที่ 10 และ 11 ด้าน



**รูปที่ 40** ตำแหน่งต่างๆ ของร่างกายในการทำ Focused Assessment of the sonographic examination of Trauma Patients (FAST) อันได้แก่ ใต้ลึนปี่(1) ช่องท้องส่วนขวาบน(2) ช่องท้องส่วนซ้ายบน (3)และบริเวณอุ้งเชิงกราน(4)

ช่วยการตรวจตำแหน่งนี้ใช้ประเมินน้ำหรือเลือดระหว่างม้ามและไตซ้าย และใต้กะบังลมซ้าย สุดท้ายเลื่อนหัวตรวจลงด้านล่างในแนวขวางลำตัวไปยังบริเวณที่เหนือกระดูก pubis symphysis ประมาณ 4 เซนติเมตร เพื่อประเมินน้ำหรือเลือดโดยใช้กระเพาะปัสสาวะเป็น acoustic window (รูปที่ 40)

การตรวจอัลตราซาวด์ประเภทนี้มีความไวและความจำเพาะในการประเมินเลือดออกในช่องท้องตั้งแต่ร้อยละ 30- 100 และร้อยละ 95-99 ตามลำดับ<sup>56,59-62</sup> อย่างไรก็ตามหากไม่พบความผิดปกติจากการทำ FAST ไม่สามารถตัดการบาดเจ็บในช่องท้องออกไปได้<sup>61,62</sup> นอกจากนั้นตำแหน่งที่พบเลือดบ่อยที่สุดคือช่องท้องด้านบน หากพบเลือดในช่องท้องจากการทำอัลตราซาวด์ร่วมกับผู้ป่วยความดันต่ำควรรับนำผู้ป่วยไปผ่าตัดทันที หากผู้ป่วยสัญญาณชีพปกติสามารถส่งตรวจจะเพิ่มเติมด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ต่อได้ หรือหากไม่พบเลือดจากการตรวจอัลตราซาวด์แต่มีความเสี่ยงสูงต่อการบาดเจ็บในช่องท้องสามารถส่งตรวจต่อด้วยเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ต่อได้เช่นกัน สิ่งสำคัญคือควรเชื่อมโยงผลการตรวจอัลตราซาวด์กับอาการของผู้ป่วย แนวทางการจัดการผู้ป่วยอุบัติเหตุที่ได้รับการ



แผนภูมิที่ 1 การจัดการผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บช่องท้อง

ตรวจอัลตราซาวด์วางแผนภูมิที่ 1 อย่างไรก็ดีข้อจำกัดของ FAST คือการประเมินการบาดเจ็บของอวัยวะในช่องท้อง และยังขึ้นกับหลายปัจจัยแวดล้อมอันได้แก่ เทคนิคการทำประสบการณ์ของผู้ทำและคุณภาพของเครื่องอัลตราซาวด์ ซึ่งมีผลต่อภาพที่ปรากฏ<sup>56</sup>

## อัลตราซาวด์ภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ขา

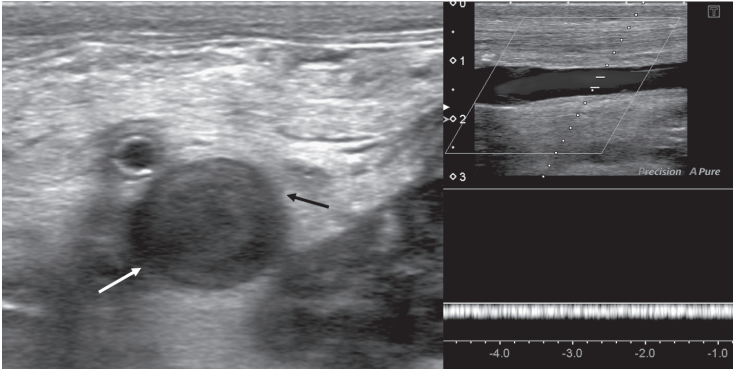
ภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ขาเป็นสาเหตุที่สำคัญของภาวะเส้นเลือดอุดตันที่ปอดและเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต กล่าวคือพบว่ร้อยละ 80 ของลิ่มเลือดในปอดมาจากเส้นเลือดดำบริเวณขา ปัจจุบันอัลตราซาวด์มีบทบาทในการให้การวินิจฉัยภาวะภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ขาและทดแทนการทำ venography ซึ่งคุกคาม (invasive) มากกว่า การตรวจด้วยอัลตราซาวด์มีความไวร้อยละ 88-100 และความจำเพาะ 92-100 ในการวินิจฉัยภาวะนี้ เส้นเลือดที่ทำการตรวจคือเส้นเลือดดำที่ต้นขา common femoral vein, superficial femoral vein และ popliteal vein มีการศึกษา พบว่าหากทำการตรวจเส้นเลือดดำที่ต้นขาด้วยอัลตราซาวด์แล้วไม่พบลิ่มเลือดอุดตันบริเวณต้นขาและข้อพับจะมีโอกาสน้อยมากที่ลิ่มเลือดบริเวณนี้จะแพร่ขยาย หรือมีโอกาสเกิดภาวะเส้นเลือดอุดตันที่ปอดเพียงร้อยละ 0.7 และยังไม่ลดภัยในการไม่ต้องให้ยากันการแข็งตัวของเลือด (anticoagulant) อย่างไรก็ดีในกรณีที่พบความผิดปกติ แต่มีอาการขาบวมและยังสงสัยภาวะภาวะลิ่มเลือดอุดตัน แนะนำให้ติดตามทำอัลตราซาวด์อีกหนึ่งสัปดาห์ถัดมา<sup>63</sup>

เทคนิคการตรวจคือ ตรวจโดยใช้หัวตรวจแบบผิวดตรง (linear array) ความถี่ 7.5 เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือหากขามีอาการบวมมากให้ใช้หัวตรวจชนิดโค้งความถี่ 2-4 เมกกะเฮิร์ตซ์ เพื่อสามารถประเมินเส้นเลือดที่อยู่บริเวณลึกได้ โดยจุดสังเกตที่ช่วยบอก คือเส้นเลือดดำ common femoral vein จะวางตัวอยู่ด้านในของเส้นเลือดแดง common femoral artery ลักษณะความผิดปกติที่พบในภาวะนี้<sup>56</sup> (รูปที่ 41) ได้แก่

- เส้นเลือดดำที่กดไม่ลง (incompressibility) ในแนวขวางซึ่งถือเป็นความผิดปกติที่น่าเชื่อถือมากที่สุดในการวินิจฉัยภาวะภาวะลิ่มเลือดอุดตัน<sup>56,64</sup>

- ปรากฏลิ่มเลือดอยู่ในหลอดเลือด

- ขนาดเส้นเลือดดำใหญ่ขึ้นมากกว่าเดิมเกินร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับด้านตรงข้ามที่ปกติในตำแหน่งเส้นเลือดระดับเดียวกัน



**รูปที่ 41** ลักษณะ deep vein thrombosis ใน superficial femoral vein ปรากฏเป็นลิ่มเลือดอยู่ในหลอดเลือดดำซึ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น (ลูกศร) และพบการหายไปของ phasic flow ในช่วงการหายใจจากการทำอัลตราซาวด์แบบดอปเปลอร์

ซึ่งในการประเมินเกณฑ์ทั้งสามอย่างข้างต้น ใช้อัลตราซาวด์แบบ B mode grey scale และจะให้การวินิจฉัยภาวะภาวะลิ่มเลือดอุดตันที่ขาเมื่อพบเพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่ง หากแต่จะมั่นใจว่าไม่มีภาวะนี้ต้องพบร่วมกันทั้งสามอย่างคือ หลอดเลือดมีขนาดปกติ กดเส้นเลือดต่ำลงเป็นอย่างดี และไม่พบลิ่มเลือดในหลอดเลือดดำ นอกจากนี้ยังมีความผิดปกติที่พบได้เพิ่มเติมจากการทำอัลตราซาวด์แบบดอปเปลอร์<sup>56</sup> (รูปที่ 41) ได้แก่

- Absence or decreased spontaneous flow
- Loss of phasic flow of respiration
- Augmentation test ทำในกรณีไม่พบลิ่มเลือดจากทำอัลตราซาวด์แบบ B mode

และไม่แน่ใจว่ามีลิ่มเลือดอุดตันหรือไม่<sup>65</sup> ซึ่งกระทำโดยการบีบน่อง หากไม่มีลิ่มเลือดอุดตันจะพบการไหลเวียนของเลือดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในกราฟเส้นเลือดของอัลตราซาวด์แบบดอปเปลอร์ (spectral Doppler sonography)

## หลักการของการตรวจเอ็มอาร์ไอ (Magnetic Resonance Imaging - MRI)

คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือเอ็มอาร์ไอถือกำเนิดจากพื้นฐานของ Nuclear Magnetic Resonance (NMR) ในปี ค.ศ. 1946 โดยสองนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกัน

ชื่อ Bloch และ Purcell และภาพที่ได้ถือกำเนิดเป็นครั้งแรกโดย Paul Lauterbur ซึ่งได้พัฒนาต่อมาร่วมกันกับ Mansfield และ Grannell

ข้อดีของเอ็มอาร์ไอเมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจทางรังสีวิทยาอื่นๆ คือ<sup>26</sup>

- ไม่มี ionizing radiation
- สามารถเก็บข้อมูลได้ในสองหรือสามระนาบ
- ให้รายละเอียดและความแตกต่างของเนื้อเยื่อได้ดี
- ให้รายละเอียดเชิงพื้นที่ของข้อมูล (spatial resolution) หรือความสามารถ

ที่จะจำแนกหรือแยกวัตถุที่อยู่ใกล้เคียงในภาพออกจากกันได้น้อยกว่า 1 มิลลิเมตร

- สามารถสร้างภาพได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการทะลุทะลวงของเนื้อเยื่อ

ข้อเสียของเอ็มอาร์ไอเมื่อเปรียบเทียบกับ การตรวจทางรังสีวิทยาอื่นๆ คือ<sup>26</sup>

● การเก็บข้อมูลเพื่อสร้างภาพ ใช้เวลานานกว่าการตรวจชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับผู้ป่วยที่สัญญาณชีพไม่คงที่ หรือไม่ให้ความร่วมมือในการตรวจ

● มีข้อจำกัดในผู้ป่วยบางกลุ่มที่มีข้อห้ามในการเข้าเครื่องตรวจเอ็มอาร์ไอซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

- ราคาแพง

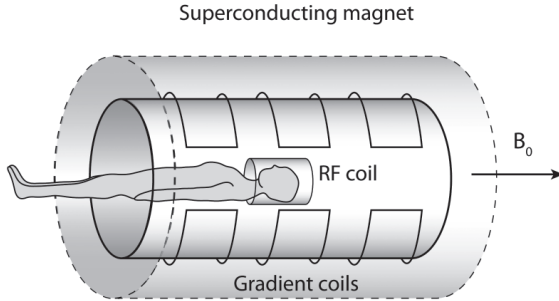
## หลักการสร้างภาพของเครื่องเอ็มอาร์ไอ

เครื่องเอ็มอาร์ไอประกอบด้วยสี่ส่วนหลัก (รูปที่ 42) ได้แก่

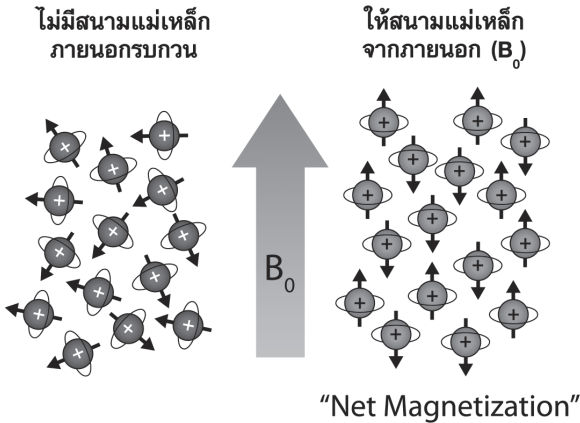
1. สนามแม่เหล็กยิ่งยวด (superconducting magnet) ทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำมาก อยู่ในฮีเลียมเหลวซึ่งมีไนโตรเจนเหลวเป็นตัวหล่อเย็นสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในทิศทางเหนือ-ใต้ ในปัจจุบันเครื่องเอ็มอาร์ไอที่ใช้กันอยู่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กอยู่ที่ 0.5-3 เทสลา (Tesla)

2. ขดลวดสนามแม่เหล็ก (gradient coil) ทำหน้าที่เป็นสนามแม่เหล็กผู้ช่วยมีด้วยกันสามชุด ช่วยปรับสนามแม่เหล็กทำให้สามารถสร้างภาพในระนาบที่ต้องการโดยไม่ต้องเปลี่ยนท่าทางของผู้ป่วย และสามารถกำหนดความหนาบางของภาพได้

3. ขดลวดที่ทำหน้าที่ส่งและรับสัญญาณวิทยุ (RF coil หรือ radiofrequency



รูปที่ 42 ส่วนประกอบของเครื่องเอ็มอาร์ไอ (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 26)



รูปที่ 43 โปรตอนเคลื่อนที่อย่างอิสระหากไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอกมารบกวน และเมื่อให้สนามแม่เหล็กที่แรงมากจากภายนอก หรือเรียกว่า  $B_0$  จะทำให้โปรตอนเรียงตัวในทิศทางขนานกับแรงของสนามแม่เหล็ก และผลลัพธ์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเรียกว่า net magnetization (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)

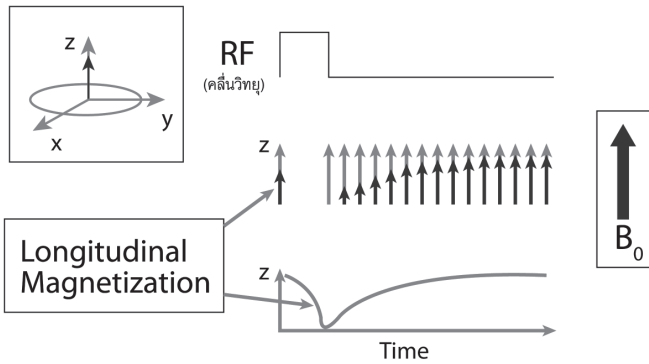
coil) แบ่งเป็น transmitter coil และ receiver coil

4. คอมพิวเตอร์ มีหน้าที่นำสัญญาณที่ได้จากการตรวจมาประมวลผลและสร้างภาพออกมาตามเทคนิคต่างๆ

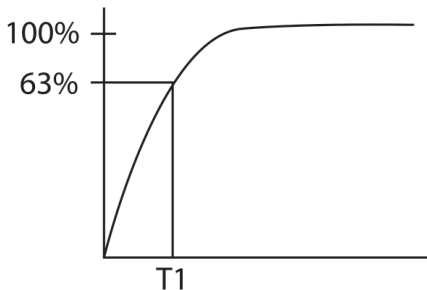
หลักการคือ เมื่อไฮโดรเจนอะตอมซึ่งเป็นส่วนประกอบของน้ำและไขมันในร่างกายเราหมุนรอบตัวเอง (spin) จะมีสนามแม่เหล็กอ่อนๆ เกิดขึ้น หากไม่มีสนามแม่เหล็ก

ภายนอกมารบกวน โปรตอนเหล่านั้นจะเคลื่อนที่อย่างอิสระ เมื่อวางโปรตอนในสนามแม่เหล็กที่แรงมาก หรือเรียกว่า  $B_0$  จะทำให้โปรตอนเรียงตัวในทิศทางขนานกับแรงของสนามแม่เหล็ก ซึ่งผลลัพธ์ของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเรียกว่า net magnetization (รูปที่ 43) และเป็นแหล่งกำเนิดของสัญญาณเอ็มอาร์ไอเพื่อที่จะนำมาสร้างภาพนั่นเองความถี่ของโปรตอนทั้งหมดในสนามแม่เหล็กเรียกว่า Lamor frequency ซึ่งมาจากสมการ Lamor equation ดังนี้

$$f = \gamma B_0$$



**รูปที่ 44** การกระตุ้นโปรตอนที่อยู่ในแนวแกน Z หรือ longitudinal magnetization ด้วยคลื่นวิทยุ ความแรง 90 องศา ทำให้สนามแม่เหล็กในแนวแกน Z ห่างออกจากแนวแกน Z และมีค่า longitudinal magnetization ค่อยๆ น้อยลงจนเป็นศูนย์ และพยายามคืนตัวกลับไปยังที่เดิมในแนวแกน Z เรียกขั้นตอนนี้ว่า longitudinal relaxation หรือ T1 relaxation (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)



**รูปที่ 45** ค่าจำกัดความของ T1 คือ เวลาที่ longitudinal magnetization คืนตัวกลับไปได้



$f$  = ความถี่ของการหมุนรอบตัวเอง

$\gamma$  = gyromagnetic ratio เป็นค่าคงที่ ซึ่งไฮโดรเจนอะตอมมีค่า 42.6 เมกกะเฮิร์ตซ์ต่อเทสลา

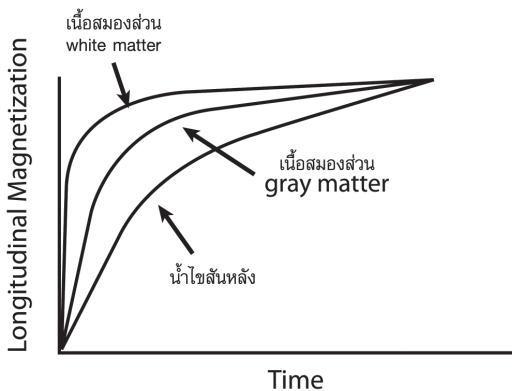
$B_0$  = ความแรงของสนามแม่เหล็ก

ดังนั้น Lamor frequency ของไฮโดรเจนอะตอมในเครื่องเอ็มอาร์ไอความแรง 1.5 เทสลาเท่ากับ  $42.6 \times 1.5 = 64$  เมกกะเฮิร์ตซ์ หรือ 64 ล้านรอบต่อวินาที

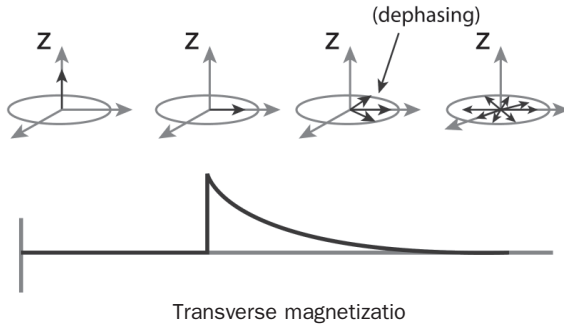
### หลักการพื้นฐานของการเกิดภาพ T1 weighted และ T2 weighted<sup>66</sup>

#### การเกิดภาพ T1 weighted

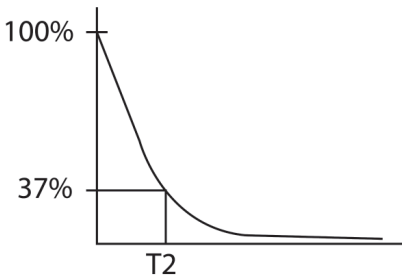
การกระตุ้นโปรตอนที่อยู่ใน net magnetization ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กในแนวแกน Z หรือ longitudinal magnetization ด้วยคลื่นวิทยุความแรง 90 องศา จะทำให้สนามแม่เหล็กในแนวแกน Z ท่างออกจากแนวแกน Z และมีค่า longitudinal magnetization ค่อยๆ น้อยลงจนมีค่าเป็นศูนย์ หลังจากนั้นจะพยายามคืนตัวกลับไปยังที่เดิมในแนวแกน Z ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า longitudinal relaxation หรือ T1 relaxation (รูปที่ 44) คำจำกัดความของ T1 คือ เวลาที่ longitudinal magnetization คืนตัวกลับไปได้อย่างร้อยละ 63 ซึ่งอัตราการคืนตัวกลับจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ (รูปที่ 45) ดังในกราฟพบว่า white matter ใช้เวลาที่สั้นกว่า gray matter และน้ำไขสันหลัง นั่นคือ white



รูปที่ 46 T1 relaxation time ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ พบว่าเวลาของ white matter สั้นกว่า gray matter และน้ำไขสันหลัง (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)

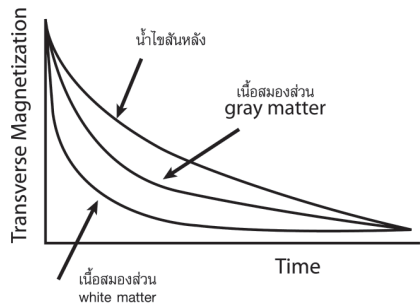


**รูปที่ 47** การกระตุ้นโปรตอนที่อยู่ในแนวแกน Z หรือ longitudinal magnetization ด้วยคลื่นวิทยุ ความแรง 90 องศาแล้วทำให้ผลลัพธ์ของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนลงมาเป็นในแนวนอนแกน X หรือ Y หรือเรียก transverse magnetization ช่วงที่โปรตอนถูกกระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุความแรง 90 องศาจะเกิดภาวะ “in phase” แต่หลังจากนั้นทันทีที่โปรตอนที่ถูกกระตุ้นจะเกิดภาวะ “dephase” ซึ่งสนามแม่เหล็กจะค่อยๆ น้อยลง เรียกว่า transverse relaxation หรือ T2 relaxation (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)



**รูปที่ 48** คำจำกัดความของ T2 คือ เวลาที่ transverse magnetization สลายลง เหลือร้อยละ 37 จากค่าตั้งต้น (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)

**รูปที่ 49** T2 relaxation time ซึ่งแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ พบว่าเวลาน้ำไขสันหลังใช้เวลามากกว่า gray matter และ white matter (ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงที่ 66)



matter จะให้ภาพที่ขาวกว่า gray matter และน้ำไขสันหลัง เมื่อเป็นภาพ T1 weighted (รูปที่ 46)

### **การเกิดภาพ T2 weighted**

การกระตุ้นโปรตอนที่อยู่ใน net magnetization ซึ่งเป็นสนามแม่เหล็กในแนวแกน Z หรือ longitudinal magnetization ด้วยคลื่นวิทยุความแรง 90 องศาแล้วทำให้ผลลัพธ์ของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนลงมาเป็นในแนวนอนแกน X หรือ Y หรือเรียก transverse magnetization ช่วงที่โปรตอนถูกกระตุ้นด้วยคลื่นวิทยุความแรง 90 องศา จะเกิดภาวะ “in phase” แต่หลังจากนั้นทันทีที่โปรตอนที่ถูกกระตุ้นจะเกิดภาวะ “dephase” ซึ่งสนามแม่เหล็กจะค่อยๆ น้อยลง เรียกว่า transverse relaxation หรือ T2 relaxation (รูปที่ 47)

ค่าจำกัดความของ T2 คือเวลาที่ transverse magnetization สลายลงเหลือร้อยละ 37 จากค่าตั้งต้น (รูปที่ 48)

ซึ่งอัตราการสลายตัวจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละเนื้อเยื่อ เช่น น้ำไขสันหลังใช้เวลามากกว่า gray matter และ white matter ทำให้น้ำไขสันหลังให้ภาพที่ขาวกว่า gray matter และ white matter เมื่อเป็นภาพ T2 weighted (รูปที่ 49)

### **ข้อควรระวังสำหรับการตรวจด้วยเครื่องเอ็มอาร์ไอ<sup>67,68</sup>**

1. Surgical implants (วัสดุที่ใส่จากการผ่าตัด) ได้แก่ cardiac pacemaker หรือ implantable cardioverter defibrillators (ICDs), ferromagnetic intracranial aneurysm clips, neuro-stimulator, cochlear implant, electronic devices ต่างๆ เป็นข้อห้ามในการเข้าเครื่องเอ็มอาร์ไอ หลักการโดยทั่วไปคือหากวัสดุมีเหล็กหรือโลหะเป็นส่วนประกอบให้เว้นช่วงหลังจากผ่าตัดเป็นเวลา 6 สัปดาห์ เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของวัสดุ ในปัจจุบันอุปกรณ์ทางกระดูกและข้อ สิ้นหัวใจเทียมหรือที่กรองลิ่มเลือด (venous blood clot filter) เป็นแบบชนิดที่สามารถเข้าเครื่องเอ็มอาร์ไอได้ ผลเสียอื่นๆ ได้แก่วัสดุทางการแพทย์ในตัวผู้ป่วยที่ใสอาจเสียการทำงาน หรือเกิดความร้อนขึ้นและไหม้ผู้ป่วยได้
2. สิ่งแปลกปลอมในร่างกายต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของโลหะ เช่น กระสุนปืน หรือได้รับจากอุบัติเหตุที่เกิดจากการทำงาน
3. แม้ยังไม่มียางานหรือหลักฐานที่ชัดเจน แต่ควรระวังในหญิงตั้งครรภ์ใน

ช่วงไตรมาสแรก

4. ควรเฝ้าระวังในผู้ป่วยที่กลัวที่แคบ (claustrophobia) ผู้ป่วยที่วิตกกังวล หรือได้รับการทำให้หลับหรือดมยา
5. ผู้ป่วยโรคไตวายเรื้อรัง ซึ่งมีโอกาสเกิดภาวะ nephrogenic systemic fibrosis (NSF) ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

### สารทึบรังสีที่ใช้ในการตรวจเอ็มอาร์ไอ (MRI contrast media)

สารทึบรังสีที่ใช้ส่วนใหญ่ในการตรวจเอ็มอาร์ไอเป็น extracellular contrast agents เป็นสารที่ประกอบด้วยโลหะแบบ paramagnetic metal ions ซึ่งมีผลทำให้ลด T1 และ T2 relaxation time จะทำให้ภาพเนื้อเยื่อใน T1 weighted สีขาวขึ้น และแทบไม่เห็นความเปลี่ยนแปลงในภาพชนิด T2 weighted สารโลหะหนักที่ใช้ประกอบเป็นสารทึบรังสีที่มีกำลังอิเล็กตรอนมากคือ Gadolinium (Gd<sup>3+</sup>) แต่เป็นพิษต่อร่างกาย จึงมีความจำเป็นที่ต้องไปจับตัวกับ chelate ซึ่ง chelate ที่ได้นำมาใช้เป็นชนิดแรกคือ Diethylene triamine pentacetic acid (DTPA) รวมเป็น Gd-DTPA เมื่อ Gd-DTPA ถูกฉีดเข้าสู่เส้นเลือดในร่างกายจะแพร่กระจายเข้าสู่ interstitial extravascular space และสามารถซึมผ่านกลับเข้ามาสู่หลอดเลือดอีกครั้งซึ่งช่วงที่สมดุลระหว่างการดูดซึมเข้าและออก (equilibrium) อยู่ที่ประมาณ 2 ชั่วโมง และร้อยละ 95 ถูกกำจัดออกทางไตภายใน 24 ชั่วโมงหากค่าการทำงานของไตปกติ และ biological half life ของ Gd-DTPA มีค่าประมาณ 1.5 ชั่วโมง สาร extracellular contrast agents เหล่านี้จะไม่ผ่าน vascular blood brain barrier ในภาวะปกติได้ และไม่สามารถจับกับโปรตีน หรือ receptor ต่างๆ หรือซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ได้ (intracellular penetration)<sup>69</sup>

### อาการไม่พึงประสงค์จากสารทึบรังสีที่ใช้ในการตรวจเอ็มอาร์ไอ (adverse reactions to Gadolinium-Based Contrast Media)

โดยส่วนมากของผู้ป่วยที่ได้รับการฉีด Gadolinium-Based Contrast Media (GBCM) มักไม่มีอาการข้างเคียง ความถี่ของการเกิดอาการข้างเคียงหลังจากฉีด Gd-chelate ปริมาณ 0.1-0.2 มิลลิโมลต่อกิโลกรัม ประมาณร้อยละ 0.07-2.4 ซึ่งอาการที่เกิดขึ้น

มักรุนแรงน้อยได้แก่ รู้สึกเย็นหรืออุณหภูมิต่ำที่ฉีด คลื่นไส้ ปวดศีรษะ และชา หรือคัน อาการที่เกิดจากการแพ้หรือเรียกว่า allergic reaction เกิดน้อยมากเพียงร้อยละ 0.004-0.7 ซึ่งมักจะเป็นผื่น ลมพิษ สำหรับอาการข้างเคียงชนิดรุนแรงมากหรือเป็นอันตรายต่อชีวิตเกิดได้น้อยมากๆ เพียงร้อยละ 0.001-0.01 เท่านั้น ผู้ที่เคยมีประวัติแพ้ GBCM มาก่อนจะมีโอกาสเสี่ยงในการเกิดอาการข้างเคียงมากกว่าคนปกติถึง 8 เท่า และหากได้รับเป็นครั้งที่สองอาการจะรุนแรงกว่าครั้งแรก ผู้ป่วยกลุ่มอื่นๆ ที่มีความเสี่ยงเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.7 ได้แก่ โรคหอบหืด ภูมิแพ้ต่างๆ หรือแพ้อาหาร อย่างไรก็ตามแม้ว่าไม่มี cross-reactivity แต่ผู้ป่วยที่มีประวัติแพ้สารที่รังสีแบบไอโอดีนก็จัดว่ามีความเสี่ยงอยู่ในกลุ่มข้างต้น การรักษาอาการข้างเคียงและไม่พึงประสงค์ที่เกิดขึ้นเหมือนกับสารที่รังสีแบบไอโอดีน<sup>16</sup>

### Nephrogenic Systemic Fibrosis (NSF)

เป็นภาวะที่ร่างกายเกิดพังผืด มักเกิดตรงผิวหนังและเนื้อเยื่อชั้นใต้ผิวหนัง บริเวณอื่นๆ ที่สามารถเกิดภาวะนี้ได้ได้แก่ ปอด หลอดอาหาร หัวใจ และกล้ามเนื้อ อาการเริ่มแรกคือ ผิวหนังหนาขึ้น หรือมีอาการคันร่วมด้วย และอาจจะรุนแรงขึ้นอย่างรวดเร็วจะเกิดภาวะข้อติด บางรายอาจเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิต โรคนี้ได้รับการวินิจฉัยเมื่อครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ 2000 และเป็นที่ยอมรับในปัจจุบันว่ามีความเกี่ยวข้องกับการได้รับ GBCM ในผู้ป่วยที่เป็นโรคไตวาย อาการแสดงหลังการฉีด GBCM อาจเกิดได้ตั้งแต่วัน เป็นเดือน หรือนานเป็นปี

คณะกรรมการ American College of Radiology Committee on Drugs and Contrast Media เชื่อว่าผู้ป่วยในกลุ่มดังกล่าวนี้มีความเสี่ยงในการเกิด NSF หากได้รับ GBCM ได้แก่<sup>16</sup>

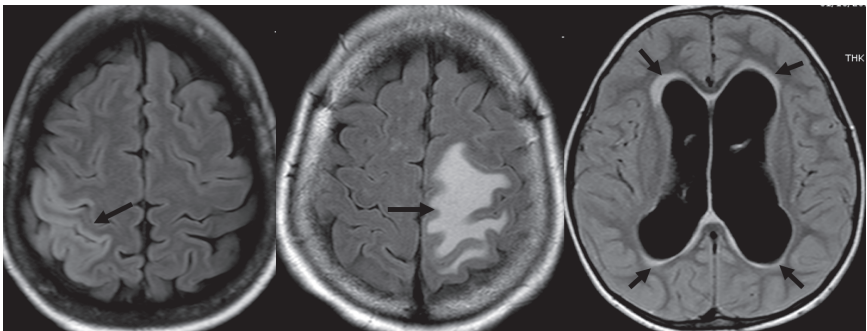
- ผู้ป่วยที่ได้รับการฟอกไตทุกราย
- ผู้ป่วยไตวายเรื้อรังหรือรุนแรง หรือจัดเป็น chronic kidney disease ระดับ 4หรือ5 หรือมีค่า GFR <30 มิลลิลิตร/นาที/1.73ตารางเมตร โดยไม่ได้รับการฟอกไต
- ผู้ป่วยที่มีค่า GFR 30-40 มิลลิลิตร/นาที/1.73ตารางเมตร โดยไม่ได้รับการฟอกไต
- ผู้ป่วยไตวายเฉียบพลัน (acute kidney injury)

## บทบาทของเอ็มอาร์ไอทางคลินิก

จะกล่าวถึงบทบาทของเอ็มอาร์ไอทางคลินิกในการตรวจระบบต่างๆ พอสังเขป

### ด้านระบบประสาท

เอ็มอาร์ไอมีบทบาทในการวินิจฉัยโรคทางระบบประสาททั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง และเป็นการส่งตรวจที่เป็นมาตรฐานสำหรับเนื้องอกสมองชนิดต่างๆ ทั้งช่วยในการวินิจฉัย การวางแผนการผ่าตัดและติดตามการรักษา เทคนิคภาพเอ็มอาร์ไอแบบ Diffusion Tensor Imaging (DTI) ช่วยบอกตำแหน่งของลำเส้นใยประสาท (fiber tract) ที่สัมพันธ์กับก้อนทวม ทำให้วางแผนการผ่าตัดได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เอ็มอาร์ไอมีความไวในการดูภาวะบวมแบบต่างๆ ซึ่งจะให้ภาพที่เป็นสีขาวใน T2weighted ภาวะบวมในสมอง (รูปที่ 50) แบ่งเป็นสามชนิดได้แก่ ก.) vasogenic edema สัมพันธ์กับก้อนทวมในสมอง การอักเสบหรือการติดเชื้อต่างๆ ข.) cytotoxic edema สัมพันธ์กับภาวะสมองขาดเลือดไปเลี้ยง และ ค.) interstitial edema สัมพันธ์กับภาวะโพรงสมองคั่งน้ำ (hydrocephalus) (26) สำหรับภาวะหลอดเลือดสมอง (stroke) นั้นแบบหลอดเลือดอุดตันนั้น ภาพเอ็มอาร์ไอแบบ diffusion weighted imaging (Dwi) สามารถเห็นความผิดปกติของเนื้อสมองตายได้ใน 30 นาทีแรกหลังมีอาการ เทคนิคภาพเอ็มอาร์ไอแบบ perfusion MRI ซึ่งตรวจการไหลเวียนของเลือดในสมองช่วยบอกบริเวณที่สมองมีการขาดเลือดก่อนที่เนื้อสมองจะตาย



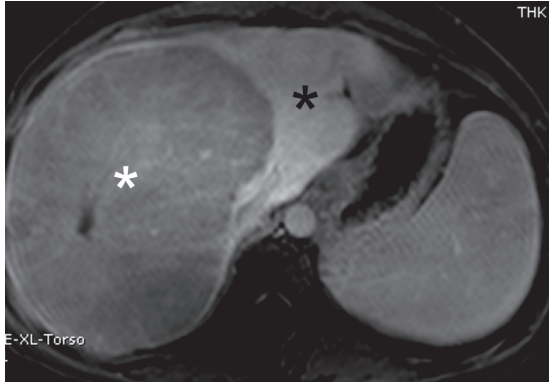
**รูปที่ 50** ภาวะสมองบวมแบบต่างๆ (ลูกศร) ในภาพเอ็มอาร์อาร์ไอ ซึ่งแบ่งเป็นสามชนิดได้แก่ cytotoxic edema (ภาพทางซ้ายมือ) vasogenic edema (ภาพกลาง) และ interstitial edema (ภาพทางขวามือ)

การตรวจด้วยเทคนิค Dwi และ pMRI มีบทบาทสำคัญอย่างมากในการคัดกรองผู้ป่วย เพื่อให้หายละลายลึ้มเลือด<sup>70</sup>

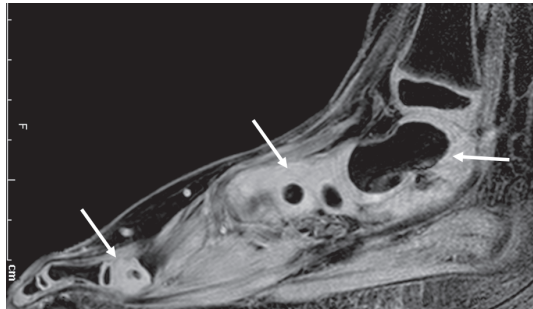
โรคเรื้อรังบางโรคมีลักษณะจำเพาะที่เอ็มอาร์ไอช่วยในการวินิจฉัย เช่น degenerative white matter diseases, metabolic diseases ต่างๆ ภาวะสมองเสื่อมจากสาเหตุต่างๆ เช่น Alzheimer's disease (AD) นอกจากนั้นยังใช้ตรวจหาความผิดปกติเชิงโครงสร้างของผู้ป่วยโรคลมชัก (epilepsy) และเทคนิค functional MRI (fMRI) ซึ่งตรวจการทำงานของสมองส่วนต่างๆ นำมาใช้ร่วมกับการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมองเพื่อวางแผนการรักษาได้

### ด้านลำตัว

เอ็มอาร์ไอมีบทบาทในการช่วยการวินิจฉัยโรคตับทั้งแบบเฉพาที่และเป็นทั่วทั้งตับ นอกจากนั้นมีประสิทธิภาพอย่างมากในการหาพยาธิสภาพของตับกลุ่มผู้ป่วยที่มีไขมันสะสมที่ตับเนื่องจากอัลตราซาวด์ประเมินได้ยากเนื่องจากมี distal sonographic beam attenuation หรือในภาวะที่เป็นตับแข็ง (cirrhosis) เนื่องจากมีพังผืดสะสมและมีตับกลีบขวาที่มีขนาดเล็ก โรคเฉพาที่ในตับที่เอ็มอาร์ไอสามารถช่วยในการวินิจฉัยโดยการฉีดสารทึบรังสีจำเพาะได้แก่ hepatic adenoma, focal nodular hyperplasia, hepatocellular carcinoma (HCC) และ metastases สารทึบรังสีในกลุ่มนี้เรียกว่า hepatocyte - selective Gadolinium Chelate ได้แก่ Mutihance(tm) (Gd-BOPTA) และ Primovist(tm) (Gd-EOb-DTPA) ซึ่งถูกขับออกจาก hepatocyte ที่ปกติไปยังน้ำดี โดย MultiHance(tm) มี uptake ที่ตับร้อยละ 5 ในขณะที่ Primovist(tm) มี uptake ที่ตับได้สูงถึงร้อยละ 50 จึงให้เห็นเนื้อตับที่เข้มมากกว่า (parenchymal enhancement) หลังฉีดสารทึบรังสี การฉีดสารทึบรังสีในกลุ่มนี้ต้องทำเป็น dynamic contrast enhancement กล่าวคือ เก็บภาพในช่วง arterial phase (23-30 วินาที) porto-venous phase (60-90 วินาที) interstitial phase (90 วินาที-5 นาที) และ delayed phase (15-30 นาทีสำหรับ Primovist(tm) และ 1-3 ชั่วโมงสำหรับ Multihance(tm)) หลังจากฉีดสารทึบรังสี ซึ่งสารทึบรังสี ในกลุ่มนี้สามารถแยก hepatic adenomas ออกจาก focal nodular hyperplasia กล่าวคือ hepatic adenoma จะปรากฏเป็นสีดากว่าเนื้อตับปกติข้างเคียงในช่วง delayed phase เนื่องจากไม่มีกลุ่มท่อน้ำดีที่ปกติ แต่ focal nodular



**รูปที่ 51** ลักษณะ hepatocellular carcinoma (HCC) โดยการตรวจเอ็มอาร์ไอ และเก็บภาพหลังการฉีด Primovist(tm) 15 นาที ปรากฏเป็นสีดําในช่วง delayed phase (ดอกจันทร์สีขา) เทียบกับเนื้อตับปกติข้างเคียงซึ่งปรากฏเป็นสีขา (ดอกจันทร์สีดำ)



**รูปที่ 52** กระดูกอ่อนบริเวณกระดูกเท้าในผู้ป่วยเด็กชายอายุ 3 ปี ปรากฏเป็นสีขา (ลูกศร) ใน 3D SPGR (Spoil-Gradient Recalled Echo)

hyperplasia ปรากฏเป็นสีขาวกว่าหรือเท่ากับเนื้อตับปกติในช่วง delayed phase เนื่องจาก hepatocyte ที่ความหนาแน่นมากขึ้นและยังทำหน้าที่ปกติ นอกจากนี้ metastases และ hepatocellular carcinoma (HCC) จะปรากฏเป็นสีดำในช่วง delayed phase เนื่องจาก hepatocyte ปกติถูกทำลายและทำหน้าที่ไม่ได้<sup>70,71</sup> (รูปที่ 51) นอกจากนี้พยาธิสภาพที่เป็นทั่วทั้งตับบางโรคได้แก่ hemochromatosis (ภาวะเหล็กเกิน) สามารถวินิจฉัยและหาค่าปริมาณเหล็กสะสมโดยใช้ค่า T2 และ T2\*<sup>72</sup>



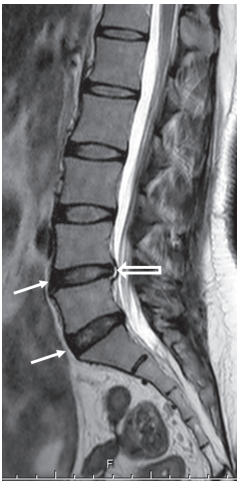
### ด้านกระดูกและข้อ

อาจกล่าวได้ว่าเอ็มอาร์ไอเป็นการตรวจที่ดีที่สุดสำหรับการหาความผิดปกติของระบบกระดูกและข้อ โดยเฉพาะการประเมินดูผิวกระดูกอ่อน (articular cartilage) ในข้อทั้งข้อเข่า ไหล่ ข้อมือ และข้อเท้า ซึ่งถูกทำลายในภาวะต่างๆ เช่น rheumatoid arthritis และ osteoarthritis ซึ่งเห็นกระดูกอ่อนได้ชัดและปรากฏเป็นสีขาวใน 3D SPGR (Spoil-Gradient Recalled Echo)<sup>73</sup> (รูปที่ 52) นอกจากนี้ใช้ประเมินการบาดเจ็บของ tendon และ ligament ได้ดีมากซึ่งใช้มากในกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บจากการเล่นกีฬา

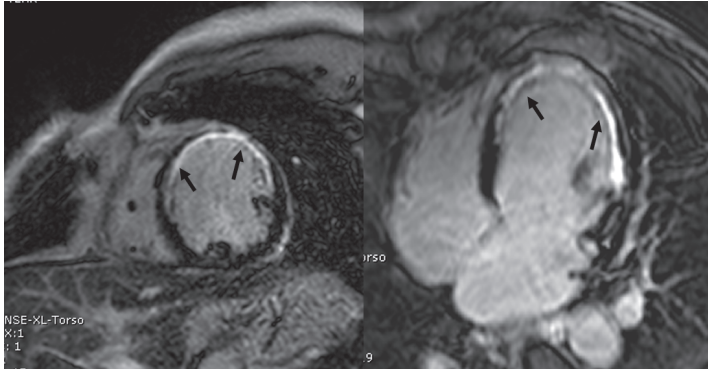
เอ็มอาร์ไอใช้ตรวจหาความผิดปกติกระดูกสันหลังและไขสันหลังได้ดีมากเช่นกัน ภาวะกระดูกสันหลังเสื่อมจะเห็นหมอนรองกระดูกสันหลังจากปกติที่ปรากฏเป็นสีขาวในภาพ T2weighted จะเป็นสีดำมากขึ้นเนื่องจากปริมาณน้ำลดลง (รูปที่ 53) หรือสามารถใช้ประเมินดูเส้นประสาทที่โดนกดทับเพื่อวางแผนในการรักษาหรือผ่าตัดได้<sup>26</sup>

### ด้านหัวใจ

การตรวจหัวใจโดยเครื่องเอ็มอาร์ไอต้องมีการติด electrocardiography (ECG) lead เพื่อช่วยในการเก็บข้อมูลให้เป็นไปตาม cardiac cycle ในช่วง systole และ diastole และลด motion artifact ที่เกิดจากจังหวะหัวใจเต้น ภาวะความผิดปกติของโรคหัวใจที่พบได้บ่อยและเอ็มอาร์ไอมีบทบาทช่วยการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาได้แก่



**รูปที่ 53** ภาวะกระดูกสันหลังเสื่อม เห็นหมอนรองกระดูกสันหลังระดับ L4/5 และ L5/S1 ปรากฏเป็นสีดำมากขึ้น (ลูกศรทึบ) นอกจากนี้พบภาวะ annular tear (ลูกศรโปร่ง) ของหมอนรองกระดูกสันหลังระดับ L4/5 ร่วมด้วย



**รูปที่ 54** ลักษณะ myocardial scar จาก transmural myocardial infarction บริเวณ anteroseptal และ anterolateral wall ของ left ventricle ตามการเลี้ยงของเส้นเลือด left anterior descending และ left circumflex coronary arteries จากการตรวจแบบ late Gadolinium enhanced MRI

ischemic heart disease และ cardiomyopathy แบบต่างๆ กล่าวคือในภาวะ ischemic heart disease นั้นเอ็มอาร์ไอแบบต่างๆ ประเมินได้ดังนี้<sup>74</sup>

- Cine MRI สามารถหาค่าการทำงานของหัวใจห้องล่างหรือ ventricular function ได้อย่างถูกต้อง

- Stress (first pass) myocardial perfusion ประเมินภาวะ myocardial ischemia ในกรณี flow-limiting stenosis ซึ่งจะปรากฏเป็นบริเวณที่มีความเข้มหรือขาวน้อยกว่ากล้ามเนื้อหัวใจที่ปกติเนื่องจากบริเวณนั้นมีเลือดไปเลี้ยงน้อยลง นอกจากนั้นยังสามารถบอกการพยากรณ์โรคได้ในผู้ป่วยที่เป็นโรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (coronary artery disease-CAD) หากพบการขาดเลือดอย่างมาก (severe ischemia) ในการตรวจแบบ stress perfusion MRI ร่วมกับมีการบีบตัวของผนังหัวใจที่ผิดปกติจะมีโอกาสเสี่ยงสูงต่อการเกิด cardiac death และ nonfatal myocardial infarct ซึ่งคนไข้กลุ่มนี้จะได้ประโยชน์จากการทำ revascularization

- Late Gadolinium enhanced MRI มีประโยชน์ในการดูภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตาย (myocardial infarction-MI) ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรังซึ่งช่วยบอก myocardial

viability และสามารถประเมิน myocardial fibrosis (รูปที่ 54) ได้เช่นในผู้ป่วย endocardial fibroelastosis (EFE) เอ็มอาร์ไอสามารถให้ภาพที่มีคุณภาพและรายละเอียดที่ดีมากในการแยกกล้ามเนื้อหัวใจปกติและภาวะ subendocardial infarction หรือ transmural infarction

- 3D coronary magnetic resonance angiography (MRA) ถึงแม้ว่าความละเอียดของภาพที่ได้ยังด้อยกว่า 64 slice MDCT และมีข้อจำกัดในเส้นเลือดส่วนปลายที่ขนาดเล็ก แต่ข้อดีของเอ็มอาร์ไอคือ ไม่มี ionizing radiation ไม่ต้องฉีดสารทึบรังสี และสามารถประเมินช่องภายในหลอดเลือด (lumen) แม้ว่าไม่มีทึบขึ้นมาเกาะ

สำหรับในภาวะ cardiomyopathy นั้นเอ็มอาร์ไอมีบทบาทในการช่วยประเมินลักษณะ (morphology) และการทำงาน (function) ของกล้ามเนื้อหัวใจ, myocardial perfusion และกล้ามเนื้อในส่วนที่ถูกทำลาย ตัวอย่างที่ถูกนำมาใช้ในทางคลินิกคือ ใช้ประเมินก่อนและหลังการรักษาภาวะ hypertrophic และ dilated cardiomyopathy, แยกระหว่างภาวะ restrictive cardiomyopathy และ constrictive pericarditis, ประเมินเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายในภาวะ cardiomyopathy ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง, ประเมินความผิดปกติของกล้ามเนื้อในโรคทั่วร่างกาย (systemic diseases) ต่างๆ เช่น amyloidosis หรือ sarcoidosis<sup>75,76</sup>

กล่าวโดยสรุปคือการส่องตรวจทางรังสีวิทยาแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่คือ แบบมีรังสีไอออไนซ์และแบบปราศจากรังสีไอออไนซ์ การเข้าใจหลักการพื้นฐานของเครื่องมือในแต่ละชนิดการตรวจ ข้อบ่งชี้ ข้อห้าม และข้อควรระวังในการส่องตรวจ นอกจากนั้นยังรวมถึงการนำไปใช้ทางคลินิกอย่างพอสังเขป จะทำให้ศัลยแพทย์สามารถเลือกส่องตรวจทางรังสีวิทยา เตรียมผู้ป่วยได้อย่างเหมาะสมกับโรคและพยาธิสภาพที่สงสัย เพื่อเป็นแนวทางในการรักษาผู้ป่วยร่วมกันของทีมแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยรวมถึงรังสีแพทย์ได้เป็นอย่างดีและถูกต้อง

## เอกสารอ้างอิง

1. Radiation: Non-ionizing and Ionizing. [online] Available: <http://www.epa.gov/rpdweb00/understand/> [accessed March 2nd, 2013]

2. Basic Radiation Physics. [online] Available: [http://www.eradiography.net/radsafety/rad\\_physics.htm](http://www.eradiography.net/radsafety/rad_physics.htm) [accessed March 2nd, 2013]
3. Radiation exposure and cancer. [online] Available: <http://www.cancer.org/cancer/cancercauses/othercarcinogens/medicaltreatments/radiation-exposure-and-cancer> [accessed March 2nd, 2013]
4. Sources and effects of ionizing radiation. United Nation Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation UNSCEAR 2008. [online] Available: [http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076\\_Report\\_2008\\_Annex\\_D.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/2008/11-80076_Report_2008_Annex_D.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
5. BEIR VII: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. [online] Available: [http://dels-old.nas.edu/dels/rpt\\_briefs/beir\\_vii\\_final.pdf](http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briefs/beir_vii_final.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
6. Biological effect of ionizing radiation - Section2. Principle of Radiation Protection. January 2006. [online] Available: [http://www.ehs.washington.edu/rsotrain/radprotectionprinciples/biological\\_effects.pdf](http://www.ehs.washington.edu/rsotrain/radprotectionprinciples/biological_effects.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
7. Little MP, Wakeford R, Tawn EJ, Bouffler SD, Berrington de Gonzalez A. Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology*. 2009;251:6-12.
8. Harvey CJ, Blomley MJK. Principle and precautions of conventional radiography. *Surgery*. 2003;21:175-178.
9. Radiation and your patient: A guide for medical practitioners. A web module produced by Committee 3 of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). [online] Available: [http://www.icrp.org/docs/rad\\_for\\_gp\\_for\\_web.pdf](http://www.icrp.org/docs/rad_for_gp_for_web.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
10. Harvey CJ, Blomley MJK. Conventional radiography: contrast agents and safety issues. *The Foundation Years*. 2006;2:142-145.
11. Zwaan M, Kloess W, Kagel C, Kummer-Kloess D, Matthies-Zwaan S, Sch\_tz RM, Weiss HD. Carbon dioxide as an alternative contrast medium in peripheral angiography. *Rofo*. 1996;164:445-448.
12. Seeger JM, Self S, Harward TR, Flynn TC, Hawkins IF Jr. Carbon dioxide gas as an arterial contrast agent. *Ann Surg*. 1993;217:688-697.
13. Cho KJ. Carbon dioxide angiography. [online] Available: <http://emedicine.medscape.com/article/423121-overview> [accessed March 2nd, 2013]
14. Eschelmann DJ, Sullivan KL, Bonn J, Gardiner GA Jr. Carbon dioxide as a contrast agent to guide vascular interventional procedures. *AJR Am J Roentgenol*. 1998; 171(5):1265-70.
15. Grainger RG. Intravascular Radiological iodinated contrast media in chapter 2 Intra-

- vascular contrast media for radiology CT and MRI. In: Adam A, Dixon A, editors. Grainger and Allison's Diagnostic Radiology. A Textbook of Medical Imaging. 5th ed. Cherrchill, Livingstone: Elsevier, 2008. p. 31-41.
16. ACR Manual on Contrast Media Version 8. ACR Committee on Drugs and Contrast Media. 2012 [online] Available: <http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PDF/QualitySafety/Resources/Contrast%20Manual/FullManual.pdf> [accessed March 2nd, 2013]
  17. Schueler BA. The AAPM/RSNA physics tutorial for residents: general overview of fluoroscopic imaging. *Radiographics*. 2000;20:1115-1126.
  18. Laufer I, Kressel HY. Principles of Double Contrast Diagnosis. In: Levine MS, Rubesin SE, Laufer I, editors. *Double Contrast Gastrointestinal Radiology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 2000. p. 8-46.
  19. ACR practice guideline for the performance of esophagograms and upper gastrointestinal examinations in adult. [online] Available: <http://www.acr.org/~media/5223A3FBC92E40378DF6E55FB8E6134B.pdf> [accessed March 2nd, 2013]
  20. Levine MS, Laufer I. Upper Gastrointestinal Tract: Technical Aspects. In: Levine MS, Rubesin SE, Laufer I, editors. *Double Contrast Gastrointestinal Radiology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 2000. p. 47-60.
  21. Levine MS, Laufer I. Introduction. In: Levine MS, Rubesin SE, Laufer I, editors. *Double Contrast Gastrointestinal Radiology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 2000. p. 1-7.
  22. ACR practice guideline for the performance of a barium enema examination in adults. [online] Available: [http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PGTS/guidelines/Barium\\_Enema.pdf](http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PGTS/guidelines/Barium_Enema.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
  23. Rubesin SE, Laufer I. Double Contrast Barium Enema: Technical Aspects. In: Levine MS, Rubesin SE, Laufer I, editors. *Double Contrast Gastrointestinal Radiology*. 3rd ed. Philadelphia: W.B. Saunders, 2000. p. 331-356.
  24. Johnson CD, MacCarty RL, Welch TJ, et al. Comparison of the relative sensitivity of CT colonography and double-contrast barium enema for screen detection of colorectal polyps. *Clin Gastroenterol Hepatol*. 2004;2:314-21.
  25. Shaw AS, Dixon AK. Multidetector Computed Tomography. In: Adam A, Dixon A, editors. *Grainger and Allison's Diagnostic Radiology. A Textbook of Medical Imaging*. 5th ed. Cherrchill, Livingstone: Elsevier, 2008. p. 79-86.
  26. Smith NB, Webb A. *Introduction to Medical Imaging: Physics, Engineering and Clinical Applications*. New York: Cambridge University Press; 2011.
  27. Goldman LW. Principle of CT and CT Technology *J Nucl Med Technol* 2007;35:115-128.

28. Ulzheimer S, Flohr T. Multislice CT: Current Technology and Future Developments. In: Reiser MF, Becker CR, Nikolaou, Glazer G, editors. Multislice CT. 3rd ed. Leipzig: Springer, 2009. p. 1-23.
29. Rankin SC. CT and MRI. Surgery (Oxford). 2005;23:162-165.
30. Shetty SK, Lev MH. MDCT Perfusion in Acute Stroke. In: Saini S, Rubin GD, Kalra MK, editors. MDCT A Practical Approach. Milan: Springer, 2006. p. 167-181.
31. Rubin GD, Kalra MK. MDCT Angiography of the Thoracic Aorta. In: Saini S, Rubin GD, Kalra MK, editors. MDCT A Practical Approach. Milan: Springer, 2006. p. 111-121.
32. Rubin GD, Kalra MK. MDCT Angiography of the Peripheral Arterial Disease. In: Saini S, Rubin GD, Kalra MK, editors. MDCT A Practical Approach. Milan: Springer, 2006. p. 136-148.
33. Holmes JF, Akkinepalli R. Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: a meta-analysis. J Trauma. 2005;58:902-905.
34. Mathen R, Inaba K, Munera F, et al. Prospective evaluation of multislice computed tomography versus plain radiographic cervical spine clearance in trauma patients. J Trauma. 2007;62:1427-1431.
35. Kaewlai R, Avery LL, Asrani AV, Novelline RA. Multidetector CT of blunt thoracic trauma. Radiographics. 2008;28:1555-1570.
36. Mancini MC. Blunt Chest Trauma. [online] Available: <http://emedicine.medscape.com/article/428723-overview> [accessed March 2nd, 2013]
37. Hassan R, Abd Aziz A. Computed Tomography (CT) Imaging of Injuries from Blunt Abdominal Trauma: A Pictorial Essay. Malays J Med Sci. 2010;17:29-39.
38. Soto JA, Anderson SW. Multidetector CT of blunt abdominal trauma. Radiology. 2012;265:678-93.
39. Salimi J, Bakhtavar K, Solimani M, Khashayar P, Meysamie AP, Zargar M. Diagnostic accuracy of CT scan in abdominal blunt trauma. Chin J Traumatol. 2009;12:67-70.
40. Moore EE, Cogbill TH, Jurkovich GJ, et al. Organ injury scaling: spleen and liver (1994 revision). J Trauma 1995;38:323-324.
41. Halvorsen. MDCT of Abdominal Trauma. In: Saini S, Rubin GD, Kalra MK, editors. MDCT A Practical Approach. Milan: Springer, 2006. p. 185-195.
42. Stuhlfaut JW, Soto JA, Lucey BC, et al. Blunt abdominal trauma: performance of CT without oral contrast material. Radiology. 2004;233:689-694.
43. O'Connor OJ, McWilliams S, Maher MM. Imaging of acute pancreatitis. AJR Am J Roentgenol. 2011; 197:W221-225.
44. Halligan S, Altman DG, Taylor SA, et al. CT colonography in the detection of colorectal polyps and cancer: systematic review, meta-analysis, and proposed minimum data

- set for study level reporting. *Radiology*. 2005;237:893-904.
45. Stein PD, Fowler SE, Goodman LR, et al. Multidetector computed tomography for acute pulmonary embolism. *N Engl J Med*. 2006;354:2317-327.
  46. Kavanagh JJ, Lake DR, Costello P. Pulmonary Embolism Imaging with MDCT. In: Saini S, Rubin GD, Kalra MK, editors. *MDCT A Practical Approach*. Milan: Springer, 2006. p. 122-135.
  47. Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med*. 2008;359:2324-2336.
  48. Takakuwa KM, Keith SW, Estepa AT, Shofer FS. A meta-analysis of 64-section coronary CT angiography findings for predicting 30-day major adverse cardiac events in patients presenting with symptoms suggestive of acute coronary syndrome. *Acad Radiol*. 2011;18:1522-1528.
  49. Shrimpton PC, Hiller MC, Lewis MA, Dunn M. National survey of doses from CT in the UK: 2003. *Br J Radiol* 2006;79:968-980.
  50. Shrimpton PC, Hiller MC, Lewis MA, Dunn M. NRPB-W67 Doses from Computed Tomography (CT) Examinations in the UK - 2003 Review. [online] Available: [http://www.biophysicssite.com/Documents/NRPB\\_W67/NRPB\\_W67.pdf](http://www.biophysicssite.com/Documents/NRPB_W67/NRPB_W67.pdf) [accessed March 2nd, 2013]
  51. Martin CJ. The application of effective dose to medical exposure. *Radiat Prot Dosimetry*. 2008;128:1-4.
  52. Kapoor V, McCook BM, Torok FS. An introduction to PET-CT imaging. *Radiographics*. 2004;24:523-543.
  53. Jackson JE, Allison DJ, Meaney J. Angiography: Principles, Technique (Including CTA and MRA) and Complications. In: Adam A, Dixon A, editors. *Grainger and Allison's Diagnostic Radiology. A Textbook of Medical Imaging*. 5th ed. Cherrchill, Livingstone: Elsevier, 2008. p. 109-128.
  54. ACR-SIR- Practice guideline for performance arteriography. [online] Available: <http://www.acr.org/~media/4EC2087D99BF45E189F1ED93D7AF2C1B.pdf> [accessed March 2nd, 2013]
  55. Cosgrove DO, Meire HB, Lim A, Eckersley RJ. Ultrasound: General Principles. In: Adam A, Dixon A, editors. *Grainger and Allison's Diagnostic Radiology. A Textbook of Medical Imaging*. 5th ed. Cherrchill, Livingstone: Elsevier, 2008. p. 55-77.
  56. Dente CJ, Rozycki GS. Ultrasound for Surgeons. In: Townsend CM, Beauchamp RD, Evers BM, Mattox KL, editors. *Sabiston Textbook of Surgery: The Biological Basis of Modern Surgical Practice*. 18th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier, 2008. p. 280-298.
  57. Wisher DB. Abdominal ultrasound: The basic principles. In: Harness JK, Wisher DB, editors. *Ultrasound in Surgical Practice: Basic Principles and Clinical Applications*.

- Danvers: Wiley-Liss, 2001. p. 33- 120.
58. Kavia S, Rottenberg G. Ultrasound in Surgery. Surgery (Oxford). 2005;23:165-167.
  59. Radwan MM, Abu-Zidan FM. Focussed Assessment Sonography Trauma (FAST) and CT scan in blunt abdominal trauma: surgeon's perspective. Afr Health Sci. 2006; 6:187-190.
  60. Cheung KS, Wong HT, Leung LP, Tsang TC, Leung GK. Diagnostic accuracy of Focused Abdominal Sonography for Trauma in blunt abdominal trauma patients in a trauma centre of Hong Kong. Chin J Traumatol. 2012;15:273-278.
  61. Holmes G, Romero J, Waxman K, Diaz G. FAST enough? A validation study for focused assessment with sonography for trauma ultrasounds in a Level II trauma center. Am Surg. 2012;78:1038-1040.
  62. Fleming S, Bird R, Ratnasingham K, Sarker SJ, Walsh M, Patel B. Accuracy of FAST scan in blunt abdominal trauma in a major London trauma centre. Int J Surg. 2012; 10:470-474.
  63. Gottlieb RH, Widjaja J. Clinical outcomes of untreated symptomatic patients with negative findings on sonography of the thigh for deep vein thrombosis: our experience and a review of the literature. AJR Am J Roentgenol. 1999;172:1601-1604.
  64. Fraser JD, Anderson DR. Deep venous thrombosis: recent advances and optimal investigation with US. Radiology. 1999;211:9-24.
  65. Lockhart ME, Sheldon HI, Robbin ML. Augmentation in lower extremity sonography for the detection of deep venous thrombosis. AJR Am J Roentgenol. 2005;184:419-422.
  66. Pooley RA. AAPM/RSNA physics tutorial for residents: fundamental physics of MR imaging. Radiographics. 2005; 25:1087-1099.
  67. ACR Practice guideline for performance and interpreting Magnetic Resonance Imaging (MRI) [online] Available: <http://www.acr.org/~media/ACR/Documents/PGTS/guidelines/MRI.pdf> [accessed March 2nd, 2013]
  68. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, et al. ACR guidance document for safe MR practices: 2007. AJR Am J Roentgenol. 2007;188:1447-1474.
  69. Thomsen HS, Morcos SK. MRI contrast media in chapter 2 Intravascular contrast media for radiology CT and MRI. In: Adam A, Dixon A, editors. Grainger and Allison's Diagnostic Radiology. A Textbook of Medical Imaging. 5th ed. Charchill, Livingstone: Elsevier, 2008. p. 41-53.
  70. Hagmann P, Jonasson L, Maeder P, Thiran JP, Wedeen VJ, Meuli R. Understanding diffusion MR imaging techniques: from scalar diffusion-weighted imaging to diffusion tensor imaging and beyond. Radiographics. 2006; 26 Suppl 1:S205-223.
  71. Seale MK, Catalano OA, Saini S, Hahn PF, Sahani DV. Hepatobiliary-specific MR



- contrast agents: role in imaging the liver and biliary tree. *Radiographics*. 2009;29:1725-1748.
72. Wood JC, Enriquez C, Ghugre N, et al. MRI R2 and R2\* mapping accurately estimates hepatic iron concentration in transfusion-dependent thalassemia and sickle cell disease patients. *Blood*. 2005;106:1460-1465.
  73. Gold GE, Chen CA, Koo S, Hargreaves BA, Bangerter NK. Recent advances in MRI of articular cartilage. *AJR Am J Roentgenol*. 2009;193:628-638.
  74. Ishida M, Kato S, Sakuma H. Cardiac MRI in ischemic heart disease. *Circ J*. 2009;73:1577-1588.
  75. Deshpande A, Pakkal M, Agrawal B, Raj V. Cardiac magnetic resonance imaging of non-ischaemic cardiomyopathy. *Postgrad Med J*. 2012;88:38-48.
  76. Belloni E, De Cobelli F, Esposito A, et al. MRI of cardiomyopathy. *AJR Am J Roentgenol*. 2008;191:1702-1710.