

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ประเภทและหลักการถ่ายภาพทางการแพทย์

ภาพถ่ายทางการแพทย์โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากหลักการทางฟิสิกส์เรื่องของการเปลี่ยนรูปพลังงานส่งผ่าน การสะท้อนของรังสี หรือคลื่น รวมทั้งหลักการทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์มาพัฒนาและประยุกต์เพื่อให้เกิดภาพถ่ายร่างกายของมนุษย์ในรูปแบบต่างๆ การถ่ายภาพทางชีวการแพทย์เพื่อวินิจฉัยโรคเฉพาะทางหัวใจ เนื่องมาจากอาการผิดปกติต่างๆที่เป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโรคหัวใจ หรือกล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติ เช่น การพอง การหนาตัวขึ้น รวมทั้งการสะสมของโปรตีน หรือสารต่างๆที่กล้ามเนื้อหัวใจ โดยส่วนใหญ่แล้วความผิดปกติเหล่านี้จะเกิดขึ้นบริเวณหัวใจห้องล่างซ้าย ซึ่งเป็นห้องที่มีความสำคัญที่สุดเพราะทำหน้าที่สูบฉีดเลือดแดงไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย การวินิจฉัยโรคและอาการผิดปกติเหล่านี้จึงพยายามถ่ายภาพเพื่อให้ได้รายละเอียดของกล้ามเนื้อหัวใจบริเวณห้องล่างซ้ายมากที่สุด แต่ละวิธีต่างก็ให้ผลที่เหมาะสมในการวินิจฉัยและมีข้อจำกัดตามแต่ละอาการต่างกันไป วิธีการสำหรับวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวกับหัวใจได้แก่

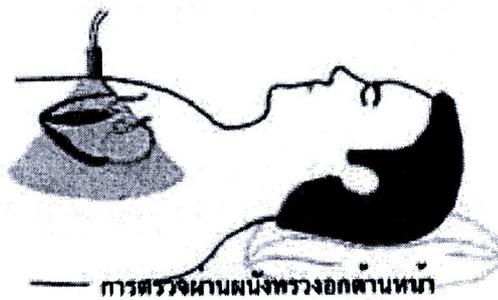
#### 2.1.1 การตรวจด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Echocardiography : Echo)

การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูง เรียกอีกชื่อได้ว่า การอัลตราซาวด์หัวใจ [10] ใช้หลักการเดียวกับการอัลตราซาวด์ทั่วไปแต่นำมาใช้สำหรับตรวจบริเวณหัวใจ โดยมีการปรับปรุงอุปกรณ์และวิธีเพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความละเอียดสูงและชัดเจนกว่า การทำงานจะให้คลื่นเสียงที่มีความถี่อยู่ในช่วงประมาณ 2-10 MHz แต่ที่ใช้บ่อยที่สุดคือประมาณ 2.5-5MHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เราไม่ได้ยินส่งผ่านจากหัวตรวจ (transducer) ไปที่หัวใจ การใช้ความถี่ต่างกันจะมีผลต่อความละเอียดของภาพและความสามารถในการส่งผ่านทะลุเข้าไปในเนื้อเยื่อ คลื่นความถี่ที่สูงกว่าจะให้ความละเอียดของภาพได้มากกว่า แต่ความสามารถในการทะลุเข้าเนื้อเยื่อได้น้อยกว่า คลื่นจะเดินทางเป็นเส้นตรงมีการหักเห และมีการสะท้อนเหมือนคลื่นแสง เมื่อกระทบกับผิววัตถุหรือผ่านอวัยวะต่างๆ จะเกิดสัญญาณสะท้อนกลับ ซึ่งแตกต่างกันระหว่างการผ่านน้ำและผ่านเนื้อเยื่อ คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับ เรียกว่า เอคโค่ (Echo) และมีคลื่นบางส่วนทะลุไป การเคลื่อนที่ของเสียงในเนื้อเยื่อเดียวกันจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากัน ทำให้เราสามารถบอกความหนาของกล้ามเนื้อหัวใจได้ นอกจากนั้นเครื่องมือนี้ยังสามารถติดตามการทำงานของหัวใจแบบเรียลไทม์ (Real time) ได้ด้วย โดยที่ปลายหัวตรวจจะมีสารผลึกแก้วควอตซ์ (Piezoelectric crystals) ซึ่งจะหดและขยายตัวอย่างรวดเร็วเป็นตัวทำให้เกิดคลื่นเสียง ในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่รับคลื่นเสียงด้วย คลื่นเสียงที่สะท้อนกลับจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้สร้างเป็นภาพต่อไป [8, 9]โรคที่สามารถวินิจฉัยด้วยวิธีนี้ได้แก่ โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด

กล้ามเนื้อหัวใจตายพร้อมสามารถบอกตำแหน่งของส่วนกล้ามเนื้อหัวใจที่ตายได้ โรคกล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติ ทั้งชนิดกล้ามเนื้อหัวใจรั่วและตีบซึ่งสามารถบอกความรุนแรงของการตีบและรั่วได้ การตรวจคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูง ทำได้ 2 วิธีคือ

### 1. การตรวจผ่านทางผนังทรวงอกด้านนอก (Transthoracic Echocardiogram: TTE)

เป็นการตรวจที่นิยมทำกันทั่วไป จะวางเครื่องมือบนผนังทรวงอก วิธีการค่อนข้างง่าย ไม่เจ็บตัว ไม่มีอันตรายใดๆ เมื่อตรวจเสร็จเรียบร้อย ท่านจะสามารถทราบผลการตรวจได้ทันที



รูปที่ 2.1 การตรวจหัวใจแบบผ่านทางผนังทรวงอกด้านนอก [8]

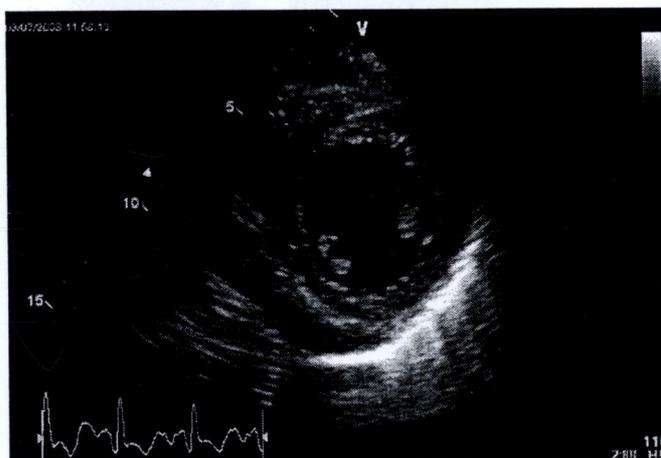
### 2. การตรวจหัวใจผ่านทางหลอดอาหาร (Transesophageal Echocardiogram: TEE)

การตรวจวิธีนี้จะสอดเครื่องมือเข้าไปในหลอดอาหาร การตรวจวิธีนี้จะให้ภาพชัดกว่าการตรวจทางหน้าอก เนื่องจากเครื่องมืออยู่ใกล้หัวใจ และไม่มีปอด กระดูกมาบัง สามารถตรวจโครงสร้างของหัวใจ และหลอดเลือดที่อยู่ด้านหลังหัวใจ เช่น หัวใจห้องซ้ายบน ลิ้นหัวใจ ผนังกันห้องหัวใจ ได้ชัดเจนกว่าวิธีแรก วิธีนี้เหมาะสำหรับผู้ป่วยบางราย เช่น ผนังหน้าอกหนามาก (อ้วน) เป็นต้น แต่การตรวจวิธีนี้ ไม่ได้ใช้ทดแทนการตรวจวิธีแรก จะทำเฉพาะในรายที่มีข้อบ่งชี้เท่านั้น เนื่องจากอาจมีอันตรายต่อหลอดอาหารได้ บางรายอาจมีอาการข้างเคียง เช่น คลื่นไส้ หายใจลำบาก



รูปที่ 2.2 การตรวจหัวใจแบบผ่านทางหลอดอาหาร [8]

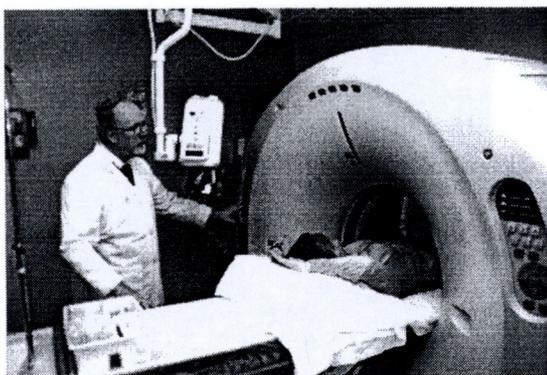
ลักษณะภาพถ่ายหัวใจที่ได้จากการตรวจแบบคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูง แสดงดังรูปที่ 2.3



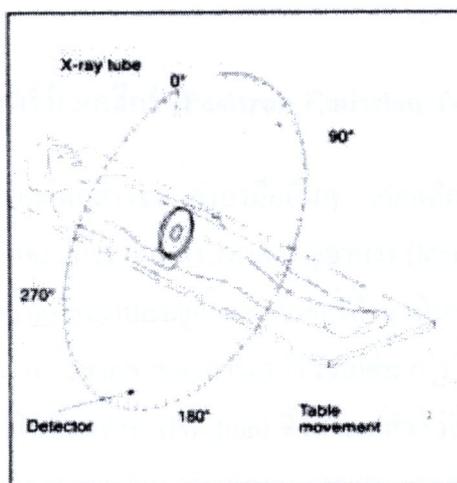
รูปที่ 2.3 ภาพหัวใจห้องซ้ายระยะนาบตัดขวางจากการตรวจแบบคลื่นเสียงสะท้อนความถี่สูง [59]

### 2.1.2 การตรวจเอกซเรย์คอมพิวเตอร์ ( X-ray Computed Tomography : CT)

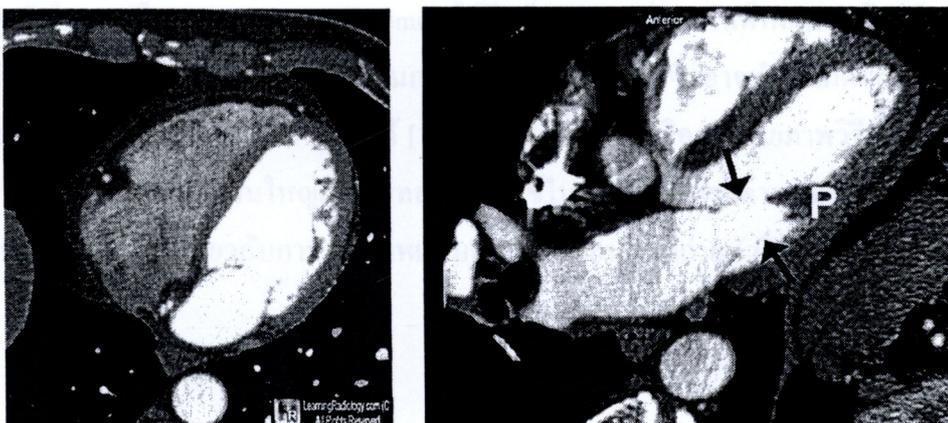
ซีทีสแกนเป็นวิธีการถ่ายภาพที่พัฒนามาจากการเอกซเรย์ อาจจะเรียกอีกชื่อว่า เอกซเรย์คอมพิวเตอร์ การเอกซเรย์โดยปกติทั่วไป ข้อมูลภาพที่ได้ยังให้ความละเอียดไม่ชัดเจนมากพอและข้อจำกัดของการเอกซเรย์ก็ไม่สามารถวินิจฉัยโรคที่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อหัวใจจากภาพเอกซเรย์ได้ทั้งหมด เนื่องจากภาพเอกซเรย์ปกติเป็นภาพลักษณะ 2 มิติ ทำให้ภาพเงาของอวัยวะต่างๆ ซ้อนทับกัน จึงได้มีการคิดค้นวิธีซีทีสแกนเพื่อแก้ไขปัญหาของภาพเอกซเรย์ปกติ การทำสแกนหรือซีทีสแกนจะใช้รังสีเอกซ์ เช่นเดียวกัน แต่แทนที่จะใช้ฟิล์มมารับภาพเงาที่เกิดขึ้น เครื่องซีทีจะมีหัวอ่าน (Detector) หลายสิบตัว อยู่ในเพื่อรับภาพเงาที่เกิดขึ้น และแทนที่ต้นกำเนิดรังสีจะอยู่นิ่ง ระบบจะมีการหมุนต้นกำเนิดรังสีไปโดยรอบเครื่องซีที การทำซีทีเป็นการเก็บภาพเอกซเรย์จากมุมที่แตกต่างกันรอบร่างกายของผู้ป่วย เมื่อการหมุนแต่ละรอบเสร็จสิ้น ภาพตัดขวางหนึ่งภาพก็จะถูกสร้างขึ้นเป็นภาพตัดขวาง 2 มิติโดยใช้คอมพิวเตอร์ และเมื่อเอาภาพตัดขวางเหล่านี้หลาย ๆ ชั้นมาวางซ้อนกันก็จะสามารถสร้างภาพ 3 มิติได้ การทำซีทีสแกนให้รายละเอียดภาพถ่ายในส่วนที่ถูกบังได้ค่อนข้างชัดเจน แต่บางครั้งผู้ป่วยจะได้รับสารบางชนิด ( CT contrast agents ) เช่น ไอโอดีน หรือ แบเรียมซัลเฟต เพื่อทำให้บริเวณที่ต้องการศึกษามีความทึบ และสามารถถ่ายภาพได้ชัดเจนมากขึ้น [11,12] แต่อย่างไรก็ดีวิธีซีทีสแกนนี้มีความเสี่ยงที่จะเกิดอาการข้างเคียงสำหรับผู้ป่วยเมื่อได้รับสารแปลกปลอมและรังสีจากการถ่ายภาพ



รูปที่ 2.4 ลักษณะการถ่ายภาพผู้ป่วยด้วยเครื่องซีที  
(ที่มา: <http://www.fridaydesign.com>)

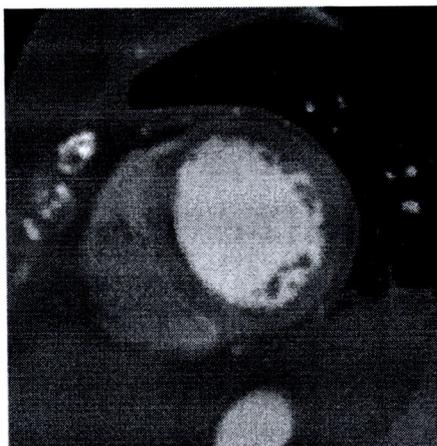


รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่องซีทีที่หัวอ่านจะหมุนไปรอบๆร่างกายเพื่อเก็บข้อมูล [12]



รูปที่ 2.6 ภาพถ่ายหัวใจด้วยวิธีซีที

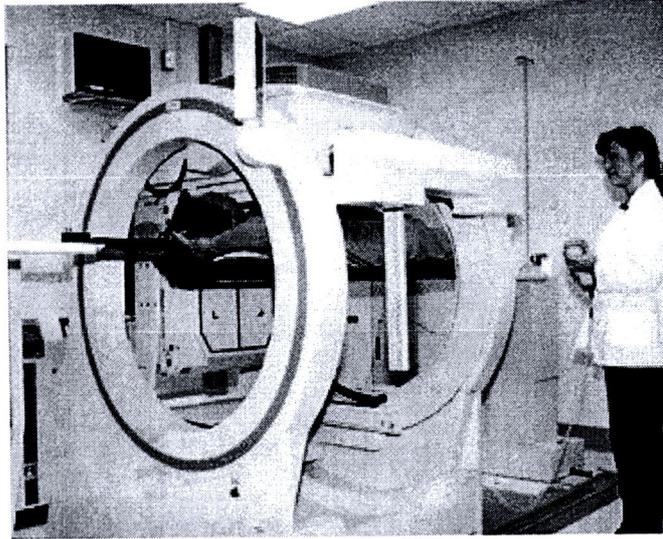
(ที่มา <http://www.learningradiology.com>)



รูปที่ 2.7 ภาพถ่ายหัวใจระนาบตัดขวางด้วยวิธีซีที [13]

### 2.1.3 การตรวจทางเวชศาสตร์นิวเคลียร์ (Positron Emission Tomography: PET Scan)

ข้อมูลที่ได้จากเพ็ทสแกน มีความแตกต่างจากเครื่องมืออื่นๆ อาศัยหลักแนวคิดที่ว่า เนื้อเยื่อที่ผิดปกติ โดยเฉพาะมะเร็งหรือเนื้อร้ายมักจะมีกระบวนการเผาผลาญอาหาร (Metabolism) มากกว่าเนื้อเยื่อปกติ หรือเนื้อเยื่อที่อ่อนแอลงก็มักจะมีกระบวนการเผาผลาญอาหารน้อยลงด้วย เป็นการนำหลักการของเวชศาสตร์นิวเคลียร์มาใช้ถ่ายภาพ[15] การกระจายตัวของสารเภสัชรังสีเช่น การใช้สารกัมมันตรังสี  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$  และ  $^{18}\text{F}$  ที่สลายตัวให้โพสิตรอน (Positron) ซึ่งสารเภสัชรังสีเหล่านี้จะแสดงถึงขบวนการชีววิทยาต่างๆ ในร่างกาย ทำให้เราสามารถตรวจหาขบวนการเผาผลาญของเซลล์ได้ [14] นอกจากนี้สามารถประเมินสภาวะของการแพร่ซึม (Perfusion) และขบวนการเผาผลาญของกล้ามเนื้อหัวใจในโรคหลอดเลือดหัวใจตีบได้อย่างแม่นยำ และยังมีรายงานว่าสามารถใช้เพ็ทสแกน วินิจฉัยอาการโรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (Myocardial ischemia) ได้อีกด้วย [16] แต่การทำเพ็ทสแกนเป็นวิธีการที่ต้องใช้สารกัมมันตภาพรังสี และสารที่บรังสีในการตรวจรังสีวินิจฉัย ซึ่งอาจทำให้เกิดผลข้างเคียงและความเจ็บป่วยแก่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาได้ [14] และเนื่องจากเทคนิคการถ่ายภาพวิธีนี้มีความยุ่งยากทำให้ค่าใช้จ่ายสูงตาม โดยส่วนใหญ่ภาพเพ็ทสแกนจะใช้ในการทำวิจัยโรคต่างๆ มากกว่าการถ่ายภาพเพื่อใช้ในทางคลินิกเช่นเดียวกับการถ่ายภาพแบบอื่นๆ ตัวอย่างภาพถ่ายหัวใจด้วยเพ็ทสแกนดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



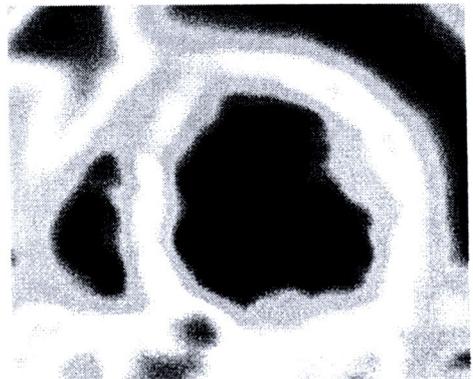
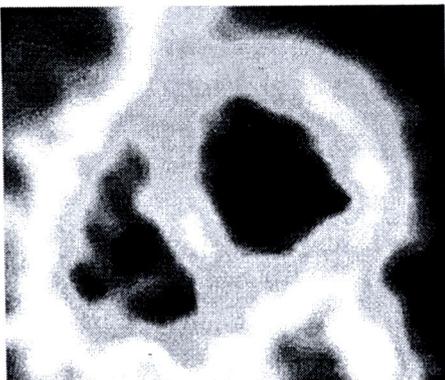
รูปที่ 2.8 การถ่ายภาพระดับชีวะเคมีในเซลล์ด้วยเครื่องเพ็ท

(ที่มา: <http://zybernia.wordpress.com/2009/08/23/be-cancer/>)



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างภาพเพ็ทบริเวณหัวใจ

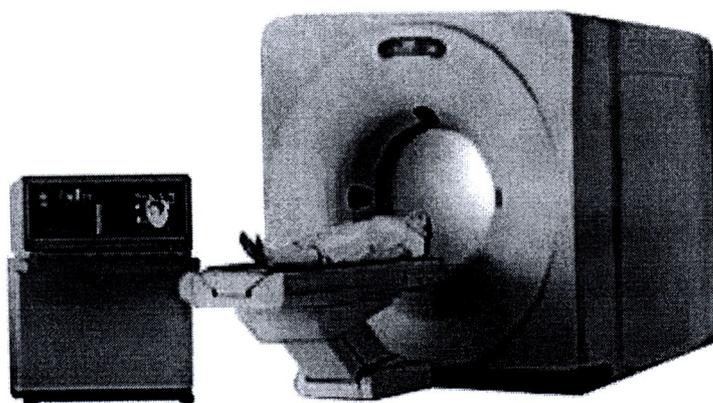
(ที่มา: <http://www.ganfyd.org>)



รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายเพ็ทสแกนอาการกล้ามเนื้อหัวใจพองโตแบบไม่ทราบสาเหตุ [17]

## 2.1.4 การถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ( Magnetic Resonance Imaging : MRI)

จากเทคนิคการถ่ายภาพด้วยซีทีสแกนที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้แพทย์สามารถวินิจฉัยโรคต่างๆ ได้สะดวกมากยิ่งขึ้นแต่อย่างไรก็ดี ภาพของเนื้อเยื่ออ่อนอาจให้รายละเอียดได้ไม่ชัดเจน นอกจากนั้นการถ่ายภาพด้วย ซีทีสแกน มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงแปรผันตามวิธีการที่ยุ่งยาก จากข้อจำกัด ซีทีสแกน จึงได้มีการนำเครื่องถ่ายภาพอวัยวะที่ไม่ได้ใช้หลักการของรังสี แต่มาจากแนวคิดใหม่ที่ว่าร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ จึงใช้การปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าใส่พื้นที่เป้าหมายเพื่อเปลี่ยนแกนของโมเลกุลน้ำ แล้วตรวจจับคลื่นความถี่ที่ถูกปล่อยออกมาในขณะที่โมเลกุลของน้ำคืนตัว และนำสัญญาณข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลจนเป็นภาพของอวัยวะต่างๆ เรียกวิธีนี้ว่า การถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก [20, 22, 23] สามารถให้รายละเอียดเนื้อเยื่ออ่อนได้อย่างชัดเจน ให้รายละเอียดและความคมชัดเสมือนการตัดร่างกายออกเป็นแผ่นๆ ทำให้แพทย์สามารถเห็นรายละเอียดของอวัยวะต่างๆ ได้ดีขึ้น สามารถมองจุดที่ผิดปกติในร่างกายคนเราได้อย่างละเอียด อีกทั้งสามารถถ่ายภาพอวัยวะตามระนาบต่างๆ ได้ทั้งตามแนวยาวหรือตามแนวเฉียง เครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก สามารถตรวจได้ทุกเพศทุกวัย ไม่เว้นแม้แต่เด็กแรกเกิดหรือหญิงมีครรภ์ [18,19]



รูปที่ 2.11 ลักษณะการถ่ายภาพด้วยเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก  
(ที่มา: <http://healthguide.howstuffworks.com>)

### 2.1.4.1 ส่วนประกอบของเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

เครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ

#### 1. แม่เหล็กที่มีกำลังสูงมาก

แม่เหล็กที่นำมาใช้มีหลายแบบ ในปัจจุบันเป็นแม่เหล็กแบบสารตัวนำยิ่งยวด (Superconducting magnet) ทำด้วยโลหะผสม เช่น นิโอเบียม ไททาเนียม : (Niobium Titanium : NbTi) แม่เหล็กประเภท

นี้มีกำลังสูงมาก สามารถสร้างให้มีกำลังสูงถึง 2 เทสลาได้ (1 tesla = 10,000 times of gravity, USA's standard) [20]

## 2. ขดลวดที่ปล่อยสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนระดับได้

ขดลวดนี้บรรจุอยู่ในโพรงของแม่เหล็กที่มีกำลังสูง และอาศัยระบบคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุม สวิตช์ ขดลวดนี้ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กให้แก่เนื้อเยื่อที่ต้องการจะสร้างภาพ โดยการปรับ สนามแม่เหล็กให้สามารถสร้างภาพที่ระนาบหนึ่งระนาบใดตามต้องการ โดยไม่ต้องเปลี่ยนท่าทางของ ผู้ป่วยและสามารถปรับความหนาบางของภาพได้ [20]

## 3. ขดลวดที่ทำหน้าที่ปล่อยและรับคลื่นวิทยุ

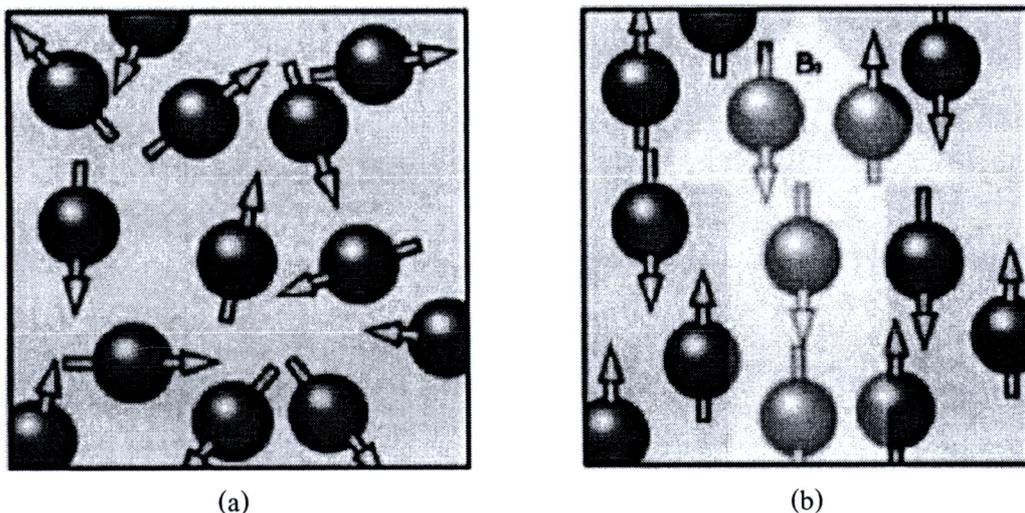
ขดลวดนี้ทำหน้าที่ปล่อยคลื่นวิทยุเพื่อส่งเข้าไปยังบริเวณอวัยวะที่ต้องการถ่ายภาพ เช่น อวัยวะในช่องท้อง และมีการรับคลื่นวิทยุเพื่อนำไปสร้างภาพด้วยระบบคอมพิวเตอร์

## 4. ระบบคอมพิวเตอร์

คอมพิวเตอร์จะทำการนำข้อมูลของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้มาจากการปล่อยของเนื้อเยื่อนำมาสร้าง ภาพ โดยทั่วไปแล้วเครื่องจะทำการสร้างภาพโดยการตรวจรับข้อมูลของคลื่นวิทยุจากเนื้อเยื่อ ประมาณ 256 ค่า

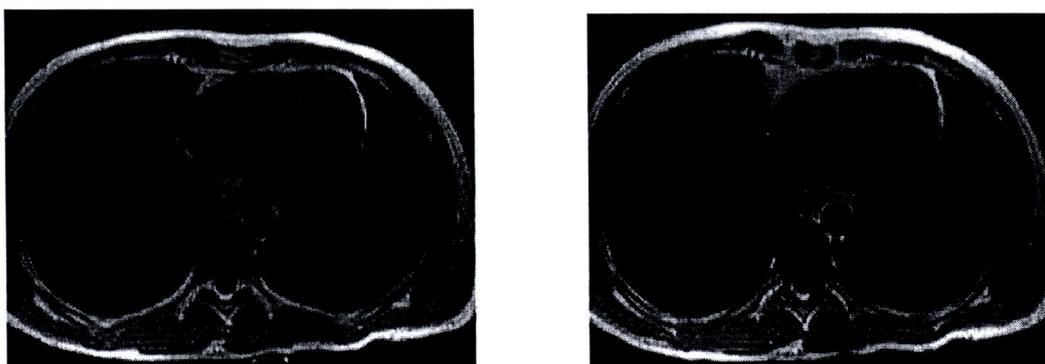
### 2.1.4.2 หลักการทำงาน

ภาพที่ได้จากเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก นั้นเกิดจากอิทธิพลของสนามแม่เหล็กต่อการจัดเรียงตัวของ อะตอมไฮโดรเจนที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ จากคุณสมบัติของร่างกายที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบเกือบทุกส่วนของร่างกาย และโมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน อะตอมของไฮโดรเจนจะประกอบด้วย นิวเคลียสที่มีโปรตอนหนึ่งตัว บางครั้งจึงเรียกนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนว่า โปรตอน [23] ตามปกติแล้วโปรตอนมีการจัดเรียงตัวที่ไม่แน่นอน ดังรูปที่ 2.12 (a) เมื่อผู้รับการตรวจเรโซแนนซ์ แม่เหล็ก เข้าไปอยู่ภายในอุโมงค์ของเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โปรตอนจะ จัดเรียงตัวตามแนวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอย่างเป็นระเบียบดังรูปที่ 2.12 (b) ขดลวดภายในเครื่อง จะทำการปล่อยสัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio frequency) ที่มีความถี่จำเพาะเข้าไป โปรตอนที่ได้รับการ กระตุ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานตามขบวนการทางฟิสิกส์ ที่เรียกว่า การกำทอนหรือเรโซแนนซ์ (Resonance) การจัดเรียงตัวของโปรตอนจะเปลี่ยนแปลง เมื่อหยุดกระตุ้น โปรตอนจะกลับมาเรียงตัว ในสภาพปกติ พร้อมกับปลดปล่อยสัญญาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีความถี่เท่ากับความถี่ของ คลื่นวิทยุที่ปล่อยเข้าไป ขดลวดจะทำหน้าที่รับสัญญาณที่ได้แล้วแปลงเป็นสัญญาณภาพโดยระบบ คอมพิวเตอร์ [19,20]



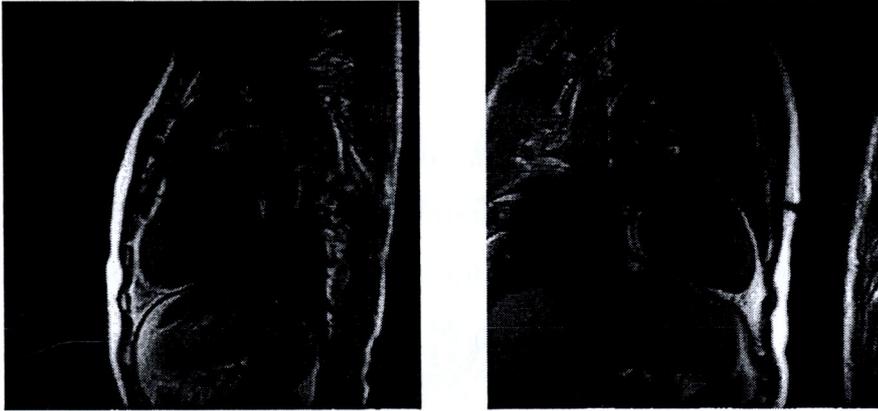
รูปที่ 2.12 การจัดเรียงตัวของอะตอมไฮโดรเจน [22]

เนื้อเยื่อบริเวณใดที่มีโปรตอนน้อยหมายถึงมีน้ำอยู่น้อยหรือมีลักษณะเป็นโพรง เช่น กระดูกและเนื้อเยื่อที่มีความแข็งแรง จะแสดงภาพเป็นสีดำ ส่วนเนื้อเยื่อที่มีโปรตอนมากหรือหมายถึงมีน้ำอยู่มาก เช่น เนื้อเยื่ออ่อน ไขมัน เลือด จะแสดงภาพเป็นสีขาว ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก จึงสามารถแสดงภาพเนื้อเยื่ออ่อนได้ดี นอกจากนี้การถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ยังสามารถสร้างภาพหลอดเลือด หรือทางเดินของเหลวได้โดยไม่ต้องฉีดสี หรือให้สารแปลกปลอมเข้าไปในร่างกายอีกด้วยด้วยภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก จึงมีลักษณะตรงกันข้ามกับภาพจากอัลตราซาวด์หัวใจและภาพซีทีสแกน ในปัจจุบันการถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ได้รับความนิยมในการนำมาวินิจฉัยโรคในทางคลินิกเป็นอย่างมาก [18] ตัวอย่างภาพถ่ายหัวใจดังรูป 2.13 และ 2.14



รูปที่ 2.13 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กของหัวใจตัดระนาบแนวขวางลำตัว [20]





รูปที่ 2.14 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจตัดระนาบหมุนรอบแกนหัวใจ [20]

#### 2.1.4.3 ข้อดีของการถ่ายภาพหัวใจแบบเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

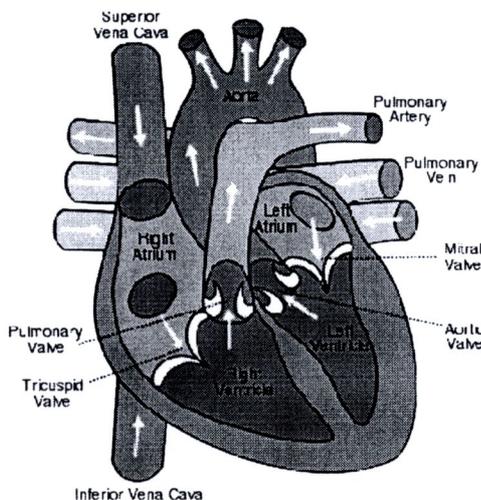
- สามารถให้ภาพที่แยกความแตกต่างระหว่างเนื้อเยื่อ ช่องว่าง ต่างๆ ได้ชัดเจน ทำให้มีความแม่นยำในการวินิจฉัยโรคมามากยิ่งขึ้น อีกทั้งสามารถทำการตรวจได้ในทุกๆ ระนาบ [19]
- สามารถตรวจเส้นเลือดได้โดยไม่ต้องเสี่ยงกับการฉีดสารทึบรังสี มีความปลอดภัยสูงและไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อ เพราะไม่ใช้คลื่นรังสี
- สำหรับการถ่ายภาพหัวใจด้วยวิธีเรโซแนนซ์แม่เหล็ก ให้รายละเอียดได้ชัดเจนเสมือนการตัดร่างกายออกเป็นแผ่น สามารถมองเห็นบริเวณหัวใจห้องซ้าย ห้องขวา กล้ามเนื้อหัวใจเลือด ได้ง่ายและระบุตำแหน่งที่ถูกต้องได้มากอีกด้วย
- ใช้เวลาในการถ่ายภาพรวดเร็ว [2] และไม่มีการใช้สารเคมี หรือรังสีในการถ่ายภาพสร้างความปลอดภัย และสบายใจให้แก่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษา
- วินิจฉัยโรคที่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อหัวใจได้หลากหลายเช่น กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด กล้ามเนื้อหัวใจหนา กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ กล้ามเนื้อหัวใจตาย [3,4] โรคซาร์คอยโดซิส (Sarcoidosis) [2] และโรคแอมิลอยด์โดซิส (Amyloidosis) [25] เป็นต้น

## 2.2 โครงสร้างหัวใจและการวินิจฉัยโรคเกี่ยวกับหัวใจจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กบริเวณหัวใจเท่านั้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงลักษณะโครงสร้างของหัวใจ, การถ่ายภาพหัวใจด้วยวิธีเรโซแนนซ์แม่เหล็กและการวินิจฉัยโรคจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

## 2.2.1. โครงสร้างของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะภายในที่อยู่นอกเหนืออานาการสังการของสมอง วางตัวอยู่ในช่องอกเยื้องไปทางซ้ายเล็กน้อย หรือระหว่างซี่โครงคู่ที่ 3-6 หัวใจมีขนาดประมาณสามในสี่ของกำปั้น ผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพสมบูรณ์ หัวใจจะมีน้ำหนักประมาณ 250 – 350 กรัม [19] มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของหัวใจมนุษย์ [19]

หัวใจประกอบด้วยห้อง 4 ห้อง ได้แก่

- Right atrium (ห้องบนขวา) มีหน้าที่รับเลือดจากหลอดเลือดดำและไหลเข้าหัวใจห้องล่างขวา
- Right ventricle (ห้องล่างขวา) ทำหน้าที่รับเลือดจากหัวใจห้องบนขวา แล้วส่งออกไปยังปอด
- Left atrium (ห้องบนซ้าย) รับเลือดที่ได้รับออกซิเจนจากปอดและส่งให้หัวใจห้องล่างซ้าย
- Left ventricle (ห้องล่างซ้าย) มีผนังหนาที่สุด ทำหน้าที่หลักในการสูบฉีดเลือดไปทั่วร่างกาย

ระหว่างหัวใจห้องข้างบนและล่างจะมีลิ้นหัวใจกันอยู่ ซึ่งเป็นแผ่นของกล้ามเนื้อหัวใจและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยื่นออกมาจากผนังของหัวใจ เพื่อควบคุมทิศทางการไหลของเลือดภายในหัวใจ ให้เป็นไปในทิศทางเดียว โดยอาศัยความแตกต่างของความดันโลหิตในแต่ละห้อง ลิ้นหัวใจที่สำคัญได้แก่

- ลิ้นหัวใจไตรคัสปิด (Tricuspid valve) มีสามกลีบ อยู่ระหว่างหัวใจห้องบนขวาและล่างขวา
- ลิ้นไมทรัล (Mitral valve) บางครั้งเรียกว่า ลิ้นหัวใจไบคัสปิด (bicuspid valve) มีสองกลีบ อยู่ระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและล่างซ้าย
- ลิ้นหัวใจพัลโมนารีเซมิลูนาร์ (Pulmonary semilunar valve) มีสามกลีบ อยู่ระหว่างหัวใจห้องล่างขวาและหลอดเลือดแดงพัลโมนารี

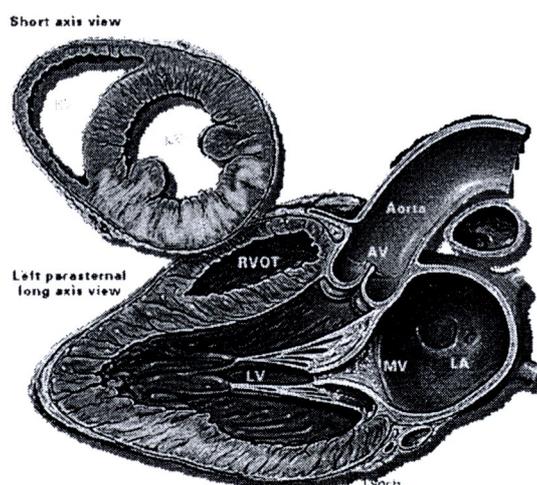
- ลิ้นหัวใจเอออร์ติกเซมิลูนาร์ (Aortic semilunar valve) มีสามกลีบ อยู่ระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายและหลอดเลือดแดงใหญ่ โกลัโคโคนของลิ้นหัวใจนี้จะมีรูเปิดเล็กๆเป็นทางเข้าของเลือดที่จะเข้าสู่ระบบหลอดเลือดหัวใจ

ผนังของหัวใจประกอบด้วยเนื้อเยื่อสามชั้น ได้แก่

- เยื่อหุ้มหัวใจ (Epicardium) เป็นชั้นที่ติดต่อกับเยื่อหุ้มหัวใจด้านที่ติดกับหัวใจประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เหนียวและแข็งแรง
- กล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardium) เป็นชั้นที่มีความหนามากที่สุด และประกอบด้วยกล้ามเนื้อหัวใจเกือบทั้งหมด
- เยื่อบุหัวใจ (Endocardium) เป็นชั้นบางๆที่เจริญมาจากเซลล์เยื่อบุหลอดเลือด

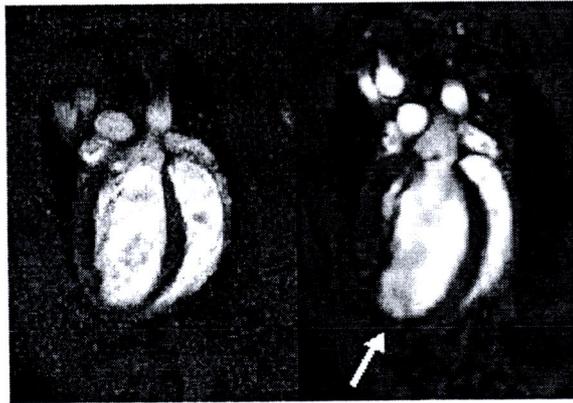
### 2.2.2. ลักษณะการถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

การถ่ายภาพหัวใจด้วยเครื่องเรโซแนนซ์แม่เหล็กสำหรับการวิเคราะห์บริเวณกล้ามเนื้อหัวใจที่ใช้ในทางการแพทย์สามารถทำได้ในหลายลักษณะ หลายระนาบ ที่นิยมในการนำมาวินิจฉัยบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจระหว่างหัวใจห้องซ้ายและขวา มีสองลักษณะ คือ ระนาบตามยาว (Long Axis: LA) และระนาบตัดขวาง (Short Axis: SA) แต่ละระนาบให้ข้อดีข้อเสียที่เหมาะสมตามการวินิจฉัยของแพทย์ [24]

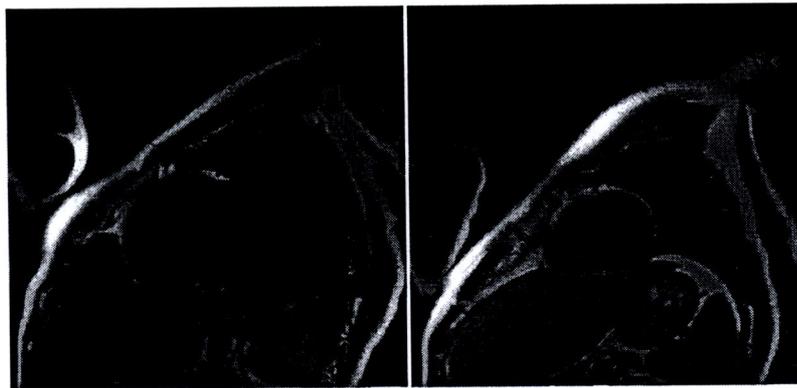


รูปที่ 2.16 การตัดหัวใจระนาบตามยาวและตามขวางเพื่อถ่ายภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็ก

(ที่มา: <http://www.mpoullis.net/dvdecho/not%20included2/yale/>)

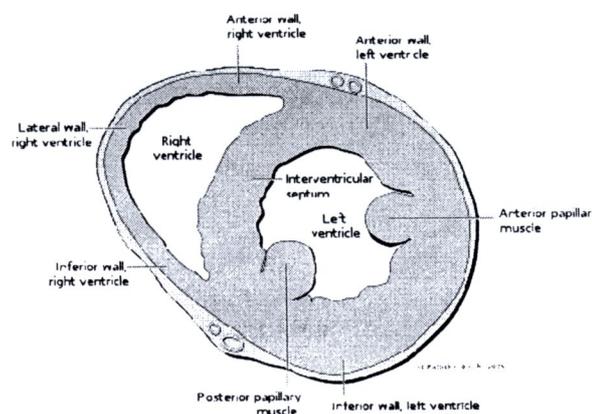


รูปที่ 2.17 ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจระนาบตามยาว  
(ที่มา: <http://www.stemcells.ox.ac.uk/>)



รูปที่ 2.18 ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจระนาบตัดขวาง [20]

สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ภาพระนาบตัดขวาง (Short-axis) ในการวิเคราะห์ซึ่งแสดงรายละเอียดภายในหัวใจ ซึ่งประกอบด้วยหัวใจห้องล่างซ้ายที่มีลักษณะเป็นท่อกกลม ห้องหัวใจล่างขวาเป็นรูปร่างสามเหลี่ยมมนอยู่ติดกับห้องล่างซ้ายโดยมีกล้ามเนื้อหัวใจคั่นระหว่างกลาง



รูปที่ 2.19 ภาพจำลองลักษณะของการตัดตามขวางของหัวใจ  
(ที่มา: <http://en.wikipedia.org/wiki/>)

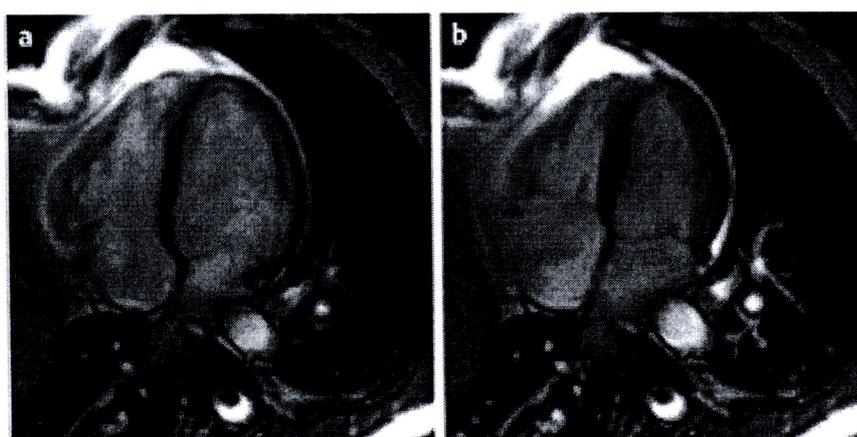
ลักษณะกล้ามเนื้อหัวใจในแต่ละบุคคลไม่เหมือนกัน หัวใจเต้น 1 ครั้งจะประกอบด้วยจังหวะการบีบตัวและการคลายตัวของหัวใจทั้งบนและล่าง ซึ่งโดยปกติ เราจะแบ่งจังหวะการเต้นของหัวใจเป็น 2 จังหวะ โดยยึดตามหัวใจห้องล่างเป็นหลักคือ

- จังหวะการบีบตัว (Systole)

เป็นจังหวะที่ลิ้นหัวใจไตรคัสปิดและลิ้นหัวใจไมตรัลปิด หัวใจห้องล่างขวาและซ้ายบีบตัวเพื่อนำเลือดผ่านลิ้นหัวใจพัลโมนารีและลิ้นหัวใจเอออร์ติกซึ่งจะเปิดออกไปสู่เส้นเลือดแดงพัลโมนารีและเส้นเลือดแดงเอออร์ตา ตามลำดับ

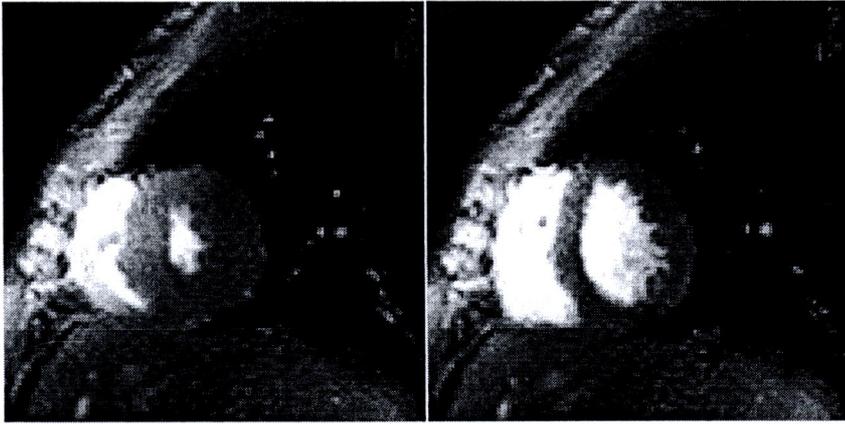
- จังหวะการคลายตัว (Diastole)

เป็นจังหวะที่ลิ้นหัวใจพัลโมนารีและลิ้นหัวใจเอออร์ติกปิด ส่วนลิ้นหัวใจไตรคัสปิดและลิ้นหัวใจไมตรัล จะเปิดออกทำให้เลือดที่อยู่ในหัวใจห้องบนไหลลงสู่หัวใจห้องล่าง ซึ่งเป็นจังหวะเดียวกับ ที่หัวใจห้องล่างทั้งขวาและซ้ายคลายตัวเพื่อรับเลือดนั่นเอง ในช่วงจังหวะปลายของระยะนี้หัวใจห้องบนทั้งขวาและซ้ายจะบีบเค้น เพื่อให้เลือดส่วนที่เหลือออกจากหัวใจห้องบนลงสู่หัวใจห้องล่าง แสดงลักษณะกล้ามเนื้อหัวใจขณะบีบตัวและคลายตัวดังรูปที่ 2.20 และ 2.21



รูปที่ 2.20 ภาพหัวใจระนาบตามยาวขณะบีบตัวและคลายตัว

(ที่มา: <http://www.c2i2.org/>)



รูปที่ 2.21 ภาพหัวใจระนาบตัดขวางขณะบีบตัวและคลายตัว [57]

ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ จะแสดงรายละเอียดและส่วนประกอบภายในหัวใจที่ชัดเจน ช่วยให้แพทย์ประเมินและวินิจฉัยลักษณะของกล้ามเนื้อหัวใจได้ สามารถที่จะอธิบายลักษณะของหัวใจ จากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ได้ดังนี้ บริเวณที่เป็นของเหลวหรือส่วนที่เป็นเลือดภายในห้องหัวใจ จะถูกแสดงออกมาเป็นสีเทาสว่างและขาว เนื่องจากมีองค์ประกอบของไฮโดรเจนเป็นจำนวนมาก และส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ ผนังหัวใจ และองค์ประกอบอื่นที่มีของเหลวน้อยหรือเป็นโพรงจะมีสีเทาดำ หรือดำ จากคุณสมบัติที่กล่าวมานี้ทำให้ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ เหมาะสมที่จะเป็นตัวช่วยให้แพทย์วินิจฉัยโรคและอาการที่เกี่ยวกับกล้ามเนื้อหัวใจ ได้อย่างง่ายดาย

### 2.2.3. การวินิจฉัยโรคจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

จากคุณสมบัติความชัดเจนของภาพและรายละเอียดที่ได้ ทำให้ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ สามารถนำมาวินิจฉัยโรคได้หลายโรคด้วยกัน โดยเฉพาะโรคที่เกิดขึ้นบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ โรคที่เกี่ยวกับกล้ามเนื้อหัวใจแบ่งได้สองประเภท คือ กล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติที่เกิดจากความผิดปกติของหลอดเลือดโคโรนารี (Coronary artery) และกล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติที่ไม่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดโคโรนารี

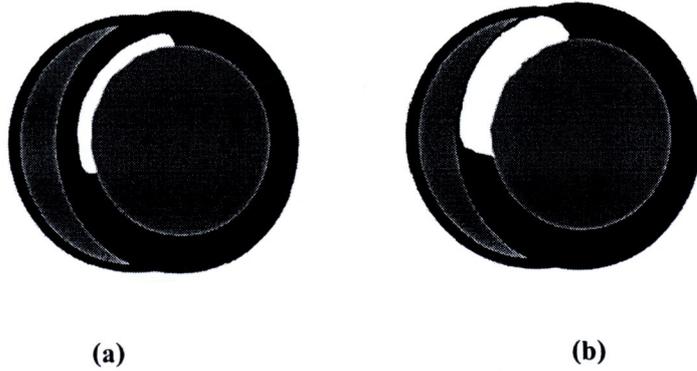
#### 1. กล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติที่เกิดจากความผิดปกติของหลอดเลือดโคโรนารี

##### 1.1 โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (Ischemic cardiomyopathy)

หัวใจมีเส้นเลือดที่ทำหน้าที่ส่งเลือดไปเลี้ยงหัวใจเรียกว่าหลอดเลือดโคโรนารี (Coronary artery) จะอยู่บนกล้ามเนื้อหัวใจด้านนอกและแตกแขนงหลอดเลือดไปเลี้ยงหัวใจด้านใน ถ้าเกิดความผิดปกติของหลอดเลือดโคโรนารี กล้ามเนื้อหัวใจด้านในมีโอกาสขาดเลือดไปเลี้ยงสูงกว่ากล้ามเนื้อหัวใจด้าน

นอกจากเมื่อขาดเลือดอาจเกิดแผลขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจได้ [2] รูปที่ 2.22 คือต้นแบบแสดงการเกิดความผิดปกติที่กล้ามเนื้อหัวใจ ที่เรียกว่า เอชอีแพทเทิร์น (HE patterns) บริเวณสีขาวยุโรปเปรียบเสมือนรอยแผลที่เกิดขึ้นบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ สามารถแบ่งอาการกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดได้สองแบบตามความลึกคือ

- 1.1.1 กล้ามเนื้อใต้เยื่อหัวใจขาดเลือด (Subendocardial infarction)  
หมายถึงกล้ามเนื้อหัวใจด้านใน 1/3 ขาดเลือดไปเสีย
- 1.1.2 กล้ามเนื้อได้ผนังหัวใจขาดเลือด (Transmural infarction)  
หมายถึงกล้ามเนื้อหัวใจตั้งแต่ผิวด้านนอกจนกระทั่งกล้ามเนื้อด้านในขาดเลือดทั้งหมด

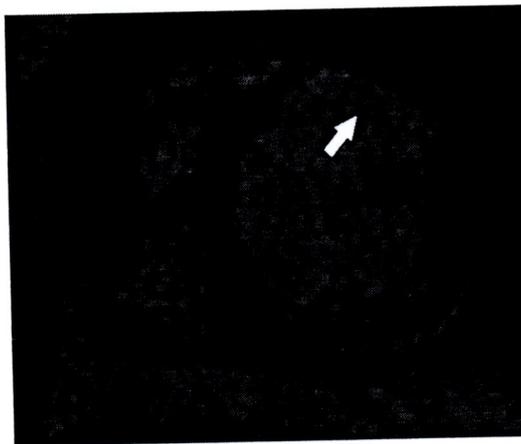


รูปที่ 2.22 ภาพเอชอีแพทเทิร์นของอาการกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด [2]

(a) Subendocardial infarction (b) Transmural infarction



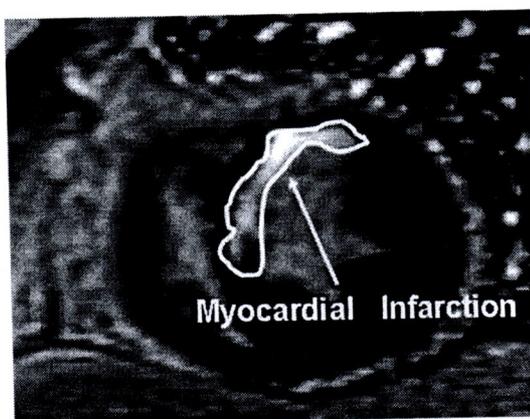
รูปที่ 2.23 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดบริเวณใต้เยื่อหัวใจ [21, 25]



รูปที่ 2.24 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดบริเวณใต้ผนังหัวใจ [25]

## 1.2 โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย (Myocardial infarction)

ในผู้ป่วยที่มีภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดเป็นเวลานานอาจเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจบางส่วนตาย ไม่สามารถนำเลือดไปเลี้ยงได้ ลักษณะของภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กที่แสดงภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตาย ดังรูปที่ 2.25



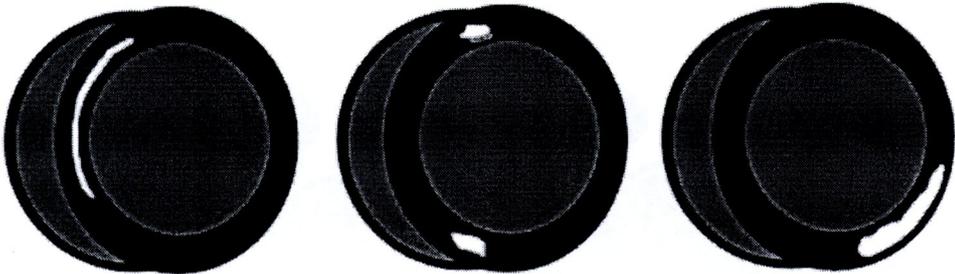
รูปที่ 2.25 กล้ามเนื้อหัวใจของผู้ป่วยที่อยู่ในภาวะกล้ามเนื้อหัวใจตาย [3]

## 2. กล้ามเนื้อหัวใจผิดปกติที่ไม่เกี่ยวข้องกับหลอดเลือดโคโรนารี

คือ อาการผิดปกติที่กล้ามเนื้อหัวใจระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายและขวา โดยที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับการอุดตันเลือดของหลอดเลือดโคโรนารี [4] สามารถแบ่งตามตำแหน่งที่เกิดได้สามส่วน คือ ความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นกลาง (Mid-Wall), บริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้ม (Epicardial)

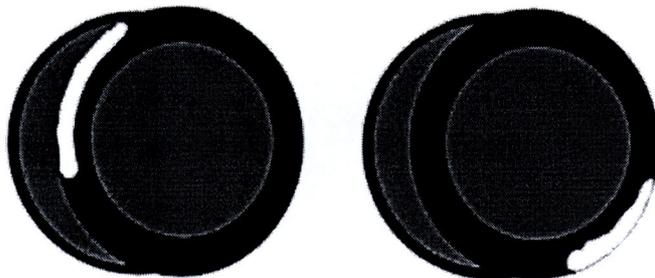
และบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อ (Endocardial) จากภาพต้นแบบแสดงการเกิดความผิดปกติที่กล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้สามส่วน ซึ่งบางอาการสามารถเกิดขึ้นได้เฉพาะบางส่วนแต่บางอาการก็สามารถปรากฏได้ทุกส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ

- ความผิดปกติบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นกลาง (Mid-Wall) ได้แก่ ภาวะกล้ามเนื้อหัวใจพองโต, กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ, กล้ามเนื้อหัวใจหนา, โรคมาร์คอบโคซิส เป็นต้น



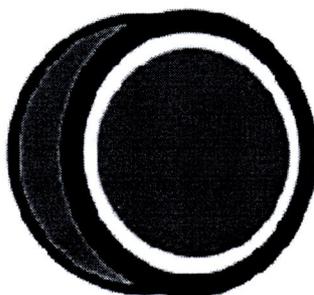
รูปที่ 2.26 ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นกลาง [2]

- ความผิดปกติบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้ม (Epicardial) ได้แก่ กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ, โรคมาร์คอบโคซิส เป็นต้น



รูปที่ 2.27 ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้ม [2]

- ความผิดปกติบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อ (Endocardial) ได้แก่ โรคมาร์คอบโคซิส

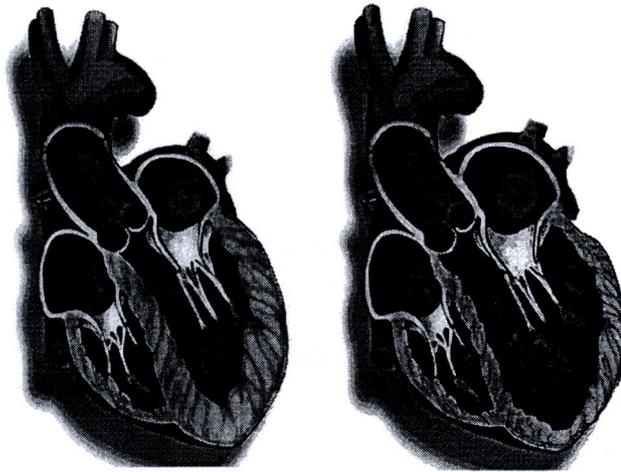


รูปที่ 2.28 ภาพเอชอีแพทเทิร์นความผิดปกติที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อ [2]

อาการของโรคต่างๆที่เกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจ

## 2.1 โรคกล้ามเนื้อหัวใจพอง (Dilated cardiomyopathy)

ความสามารถในการสูบฉีดโลหิตลดลงเพราะหัวใจห้องล่างซ้ายซึ่งเป็นห้องหลักที่มีความสำคัญในการสูบฉีดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆมีอาการพองโต ขยายออกทำให้กล้ามเนื้อหัวใจอ่อนแอ ซึ่งจะเกิดความผิดปกติบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นกลางโดยไม่ทราบสาเหตุ [2,26]



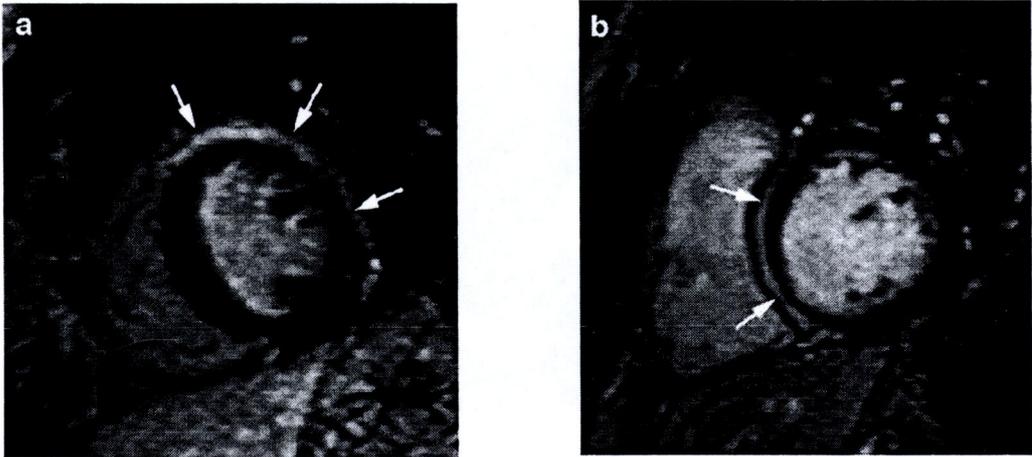
รูปที่ 2.29 ลักษณะภาวะกล้ามเนื้อหัวใจพองโต [4]



รูปที่ 2.30 ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจที่มีภาวะกล้ามเนื้อหัวใจพองโต [26]

## 2.2 กล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ (Myocarditis)

เป็นภาวะการเปลี่ยนแปลงการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ โดยมีการอักเสบเกิดขึ้นเนื่องจากหลายสาเหตุเช่น ติดเชื้อไวรัส เชื้อแบคทีเรีย หรือจากสารพิษ [27, 28]



(a)

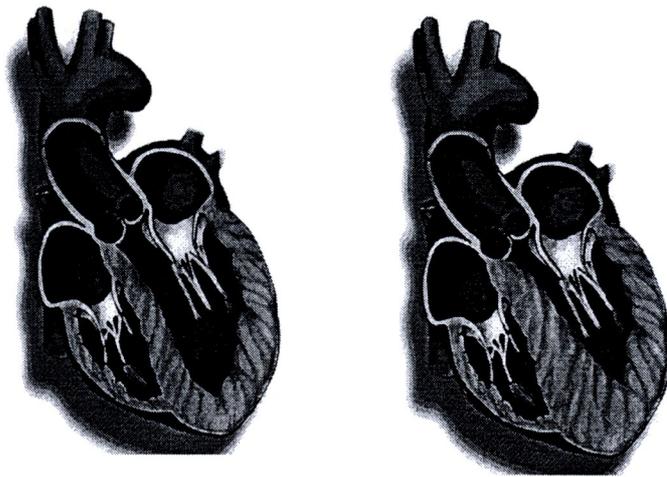
(b)

รูปที่ 2.31 ภาพโรซีแนนซ์แม่เหล็กการเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบบริเวณ

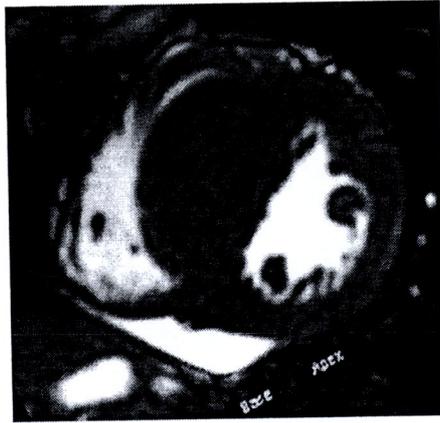
(a) กล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้มและ (b) ชั้นกลาง [28]

### 2.3 กล้ามเนื้อหัวใจหนา (Hypertrophic cardiomyopathy: HCM)

เป็นลักษณะอาการของกล้ามเนื้อหัวใจเกิดการหนาตัวขึ้นเนื่องจากความผิดปกติของการขยายตัวของเซลล์บริเวณกล้ามเนื้อหัวใจโดยเฉพาะห้องล่างด้านซ้าย [26, 29] ซึ่งที่พบกว่า 90 เปอร์เซ็นต์เกิดจากผู้ป่วยที่เป็นโรคความดันโลหิตสูง เป็นเวลานาน แล้วไม่ได้รับการรักษา กล้ามเนื้อหัวใจห้องซ้ายก็จะทำงานหนักและหนาตัวขึ้น นอกจากนั้นอาจเกี่ยวเนื่องจากพันธุกรรมทำให้กล้ามเนื้อหัวใจห้องซ้ายล่างมีความหนากว่าปกติโดยไม่มีสาเหตุมาตั้งแต่เกิด



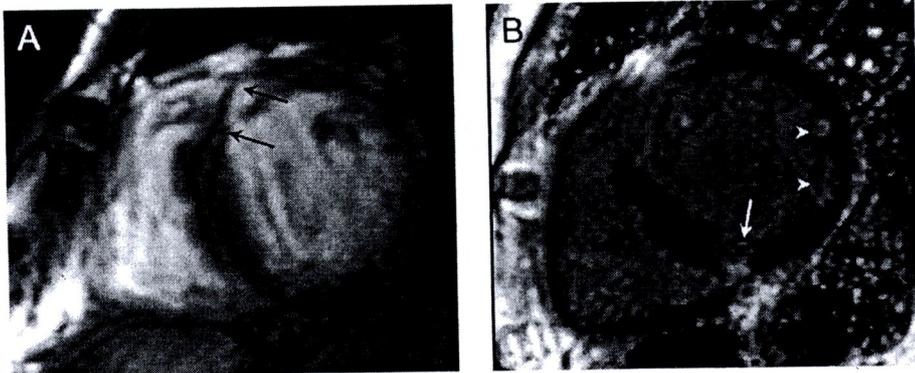
รูปที่ 2.32 การเกิดภาวะกล้ามเนื้อหัวใจหนา [2]



รูปที่ 2.33 ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจที่มีภาวะหนา [26]

#### 2.4 โรคซาร์คอยโดซิส

เป็นอาการของโรคเรื้อรังที่มีสาเหตุมาจากการสะสมของ Lymphocytes และ non-caseating granulomas ในเนื้อเยื่อปอดแล้วเกิดการแทรกซึมของโรคมายังกล้ามเนื้อหัวใจ [21, 30]



รูปที่ 2.34 ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจที่มีภาวะซาร์คอยโดซิส [2]

#### 2.5 โรคแอมิลอยด์โดซิส (Amyloidosis)

เป็นกลุ่มของโรคที่เกิดจากการสะสมโปรตีนที่ผิดปกติโดยเฉพาะ ที่เรียกว่าโรคแอมิลอยด์ (Amyloid) [25] ในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย รวมทั้งบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อ



รูปที่ 2.35 ภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กกล้ามเนื้อหัวใจชั้นเยื่อหุ้มที่มีภาวะแอมิโลยด์โดซิส [21, 25]

นอกจากโรคที่เกิดบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจแล้ว ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ยังสามารถใช้เพื่อวินิจฉัยโรคอื่นๆได้อีก เช่น

- 2.6 ใช้ประเมินการอุดตันของหลอดเลือดหัวใจโดยไม่ต้องฉีดสารทึบรังสี
- 2.7 ตรวจสอบภาวะการส่งเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardial perfusion)
- 2.8 วิเคราะห์คุณภาพการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ (Myocardial function)
- 2.9 ตรวจสอบความเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อหัวใจ (wall motion)
- 2.10 ประเมินภาวะหัวใจล้มเหลว
- 2.11 ตรวจสอบภาวะการผิดปกติของหัวใจแต่กำเนิด

### 2.3 ระบบสารสนเทศในการจัดเก็บภาพถ่ายทางการแพทย์

เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามามีบทบาทในทางการแพทย์เป็นอย่างมาก แต่เดิมภาพถ่ายต่างๆจะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของแผ่นฟิล์ม แต่ปัญหาจากข้อมูลผู้ป่วยที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาการจัดเก็บ ค้นหา การสูญหาย และทำให้เกิดความล่าช้าของการรายงานผล บางครั้งเราอาจจะพบว่ามี การสูญหายของฟิล์มเอ็กซเรย์ ซึ่งมีความจำเป็นในการใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของโรค และการให้การรักษา ต่อเนื่อง จึงต้องมีระบบเพื่อช่วยจัดการกับข้อมูลสารสนเทศทางการแพทย์ ในรูปแบบของภาพดิจิทัล ซึ่งก็คือ PACS ย่อมาจากคำว่า Picture Archiving and Communication System คือ ระบบที่ใช้ในการจัดเก็บรูปภาพทางการแพทย์ (Medical images) [32, 33] และรับ-ส่งข้อมูลภาพ ในรูปแบบดิจิทัล PACS จัดการรับส่งข้อมูล ผ่านทางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ตามมาตรฐาน DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)

### 2.3.1 Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)

เป็นมาตรฐานที่กำหนดโดย National Electrical Manufacturers Association (NEMA) โดยมีจุดประสงค์เพื่อการเผยแพร่ ภาพทางการแพทย์ เช่น ซีทีสแกน, เรโซแนนซ์แม่เหล็ก, อัลตราซาวด์ และภาพทางการแพทย์อื่นๆ ซึ่งได้มีการกำหนดรูปแบบของไฟล์ที่ใช้ให้เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อที่จะสามารถแลกเปลี่ยนภาพถ่ายกันได้ระหว่างเครื่องมือหรือซอฟต์แวร์ทางการแพทย์ ทำให้สามารถอ่านข้อมูลของคนที่มาจากเครื่องมือต่างชนิดหรือต่างบริษัทได้ DICOM เป็นมาตรฐานที่อุปกรณ์ทางการแพทย์ระบบดิจิทัลรุ่นใหม่ๆ ต้องสนับสนุนมาตรฐานนี้ สำหรับข้อมูลภาพ DICOM จะมีส่วนที่เก็บรายละเอียดต่างๆ ของภาพ ได้แก่ ข้อมูลคนไข้ จำนวนระนาบ ค่าต่างๆ ที่มีความจำเป็น ซึ่งจะเก็บไว้ในส่วนหัวที่เรียกว่า เฮดเดอร์ (Header)

```

First 128 bytes: unused by DICOM format
Followed by the characters 'D','I','C','M'
This preamble is followed by extra information e.g.:

0002,0000,File Meta Elements Group Len: 132
0002,0001,File Meta Info Version: 256
0002,0010,Transfer Syntax UID: 1.2.840.10008.1.2.1.
0008,0000,Identifying Group Length: 152
0008,0060,Modality: MR
0008,0070,Manufacturer: MRicro
0018,0000,Acquisition Group Length: 28
0018,0050,Slice Thickness: 2.00
0018,1020,Software Version: 46\64\37
0028,0000,Image Presentation Group Length: 148
0028,0002,Samples Per Pixel: 1
0028,0004,Photometric Interpretation: MONOCHROME2.
0028,0008,Number of Frames: 2
0028,0010,Rows: 109
0028,0011,Columns: 91
0028,0030,Pixel Spacing: 2.00\2.00
0028,0100,Bits Allocated: 8
0028,0101,Bits Stored: 8

```

รูปที่ 2.36 ตัวอย่างข้อมูลส่วนหัวของ DICOM [32]

## 2.4 การประเมินและวินิจฉัยอาการผิดปกติจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ

การวินิจฉัยอาการของโรคที่เกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อหัวใจจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจนั้น จะพิจารณาจากปริมาตรหัวใจห้องล่าง (Ventricular volume) ซึ่งประกอบด้วย ปริมาตรเลือดที่อยู่ในหัวใจห้องล่างซ้ายในช่วงหัวใจคลายตัวเต็มที่ (End – Diastolic Volume : EDV) และปริมาตรเลือดที่ถูกฉีดออกจากหัวใจในช่วงหัวใจบีบตัว เต็มที่ (End – Systolic Volume: ESV) และพิจารณาจากค่า Ejection Fraction : EF ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ความสามารถในการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ [34, 36]

$$EF(\%) = \left[ \frac{(EDV-ESV)}{EDV} \right] \times 100 \quad (2.1)$$

- เมื่อ EF = Ejection fraction (%)
- EDV = End – Diastolic Volume (cc.)
- ESV = End – Systolic Volume (cc.)

ค่า EF ของหัวใจปกติอยู่ที่ประมาณร้อยละ 55-70 ซึ่งถ้าหัวใจมีค่า EF ที่น้อยกว่าร้อยละ 40 จะระบุได้ว่ามีอาการผิดปกติของการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ และถ้าค่า EF มากเกินจะเกิดอาการผิดปกติของการคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ [35,36] เราสามารถหาปริมาตรภายในหัวใจได้โดยหาพื้นที่ภายในโพรงหัวใจซึ่งก็คือการคำนวณจำนวนจุดภาพตั้งแต่ขอบเข็มนูหัวใจเข้าไปทั้งหมดและคูณด้วยค่าเฉพาะสองค่า คือ ค่าขนาดของจุดภาพต่อ 1 จุดภาพ ( pixel spacing) และ ค่าความหนาของสไลด์ (Slice Thickness) ซึ่งทั้งสองค่านี้เป็นค่าเฉพาะที่ต่างกันตามการถ่ายภาพผู้ป่วยแต่ละคน สามารถหาค่าทั้งสองนี้ได้จากส่วนหัวของ DICOM ของชุดภาพถ่ายชุดนั้นๆ

$$V = \text{number of pixel} \times (\text{pixel spacing -- mm})^2 \times (\text{Slice Thickness -- mm}) \quad (2.2)$$

- เมื่อ V = Volume (cc.)

ImagePresentationGroupLength	210	210	210
SamplesPerPixel	1	1	1
PhotometricInterpretation	'MONOCHROME2'		
Rows	224	224	224
Columns	224	224	224
PixelSpacing	[1.2500;1.2500]	1.2500	1.2500
BitsAllocated	16	16	16
BitsStored	12	12	12
HighBit	11	11	11
PixelRepresentation	0	0	0
WindowCenter	883.4288	883.42...	883.42...
WindowWidth	1.9049e+03	1.9049...	1.9049...

รูปที่ 2.37 การเลือกค่าขนาดของจุดภาพจากส่วนหัว DICOM

ScanOptions	'CG'		
SequenceName	''		
SliceThickness	8	8	8
RepetitionTime	3.4308	3.4308	3.4308
EchoTime	1.7150	1.7150	1.7150
NumberOfAverages	1	1	1
ImagingFrequency	63.8903	63.8903	63.8903
ImagedNucleus	'1H'		

รูปที่ 2.38 การเลือกค่าความหนาสไลด์จากส่วนหัว DICOM

นอกจากการหาปริมาตรและความสามารถบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจแล้ว ในการวิเคราะห์กล้ามเนื้อหัวใจยังพิจารณาถึงน้ำหนักของเนื้อหัวใจห้องซ้ายอีกด้วย การหาค่าน้ำหนักของหัวใจสามารถหาได้จากสมการ

$$LV \text{ mass} = [V_{Epi} - V_{Endo}] \times D_{Myo} \quad (2.3)$$

เมื่อ	LV mass	=	Left ventricular mass (g.)
	$V_{Epi}$	=	Epicardial volume (cc.)
	$V_{Endo}$	=	Endocardial volume (cc.)
	$D_{Myo}$	=	The specific density of myocardial tissue (usually taken as 1.05 g/mL) [37]

จากสมการการหาน้ำหนักหัวใจก็คือการหาค่าความแตกต่างระหว่างปริมาตรภายในขอบเขตเยื่อหุ้มหัวใจทั้งหมด และปริมาตรภายในขอบเขตเยื่อหัวใจ คูณด้วยค่าความหนาแน่นของกล้ามเนื้อหัวใจ สำหรับกล้ามเนื้อหัวใจมีค่าความหนาแน่นเฉพาะที่ใช้ในงานวิจัยกันปกติทั่วไปเท่ากับ 1.05 กรัมต่อมิลลิลิตร [37]

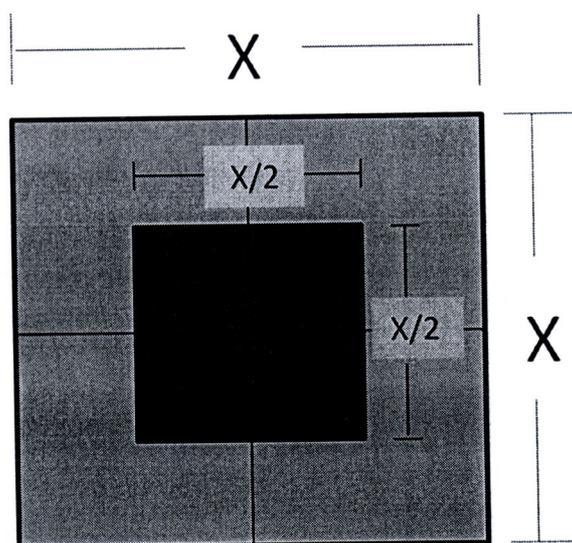
## 2.5 การประมวลผลภาพทางการแพทย์

การประมวลผลภาพทางการแพทย์ เป็นการนำเทคนิคหรือวิธีการต่าง ๆ ของการประมวลผลภาพ มาใช้กับภาพทางการแพทย์ โดยการเลือกใช้เทคนิคต่าง ๆ กับภาพทางการแพทย์นี้ จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์นั้น ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ ที่ช่วยให้แพทย์สามารถวิเคราะห์ภาพเหล่านั้นได้สะดวกและรวดเร็วมากขึ้น โดยเทคนิคของการประมวลผลภาพมีมากมายหลายวิธีการ ซึ่งส่วนใหญ่แล้ว ในการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์มักจะใช้หลาย ๆ วิธีการร่วมกัน เพื่อให้ได้สิ่งที่ต้องการตามเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ภาพทางการแพทย์นั้นๆ เทคนิคของการประมวลผลภาพที่สำคัญ ๆ มีดังตัวอย่างต่อไปนี้

### 2.5.1 การเลือกพื้นที่เป้าหมาย

ภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ประกอบด้วยองค์ประกอบหลายส่วนได้แก่ หัวใจห้องซ้าย ห้องขวา กล้ามเนื้อหัวใจ ปอด เนื้อเยื่อส่วนต่าง และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ตามลักษณะการถ่ายภาพที่ต่างกัน ทำให้ข้อมูลภาพที่เราใช้ในการประมวลผลมีข้อมูลส่วนที่เราไม่ต้องการ ข้อมูลส่วนเกินเหล่านี้มีผลต่อ

การวิเคราะห์หาตำแหน่งเป้าหมายอย่างมาก เพื่อลดปัญหาการประมวลผลในส่วนที่ไม่ต้องการ จึงทำการเลือกเฉพาะบริเวณที่มีพื้นที่เป้าหมายอยู่เท่านั้น หัวใจมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาตามอัตราการหายใจ แต่เนื่องจากการบีบและคลายตัวของหัวใจมีลักษณะเป็นคาบ คือ กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัวเพื่อให้เลือดไหลเข้าสู่ห้องหัวใจจนเต็มและบีบตัวเพื่อผลักให้เลือดออกจากห้องหัวใจ และเป็นในลักษณะเช่นนี้ตลอดเวลา ซึ่งภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ ขณะหัวใจบีบและคลายตัวจะอยู่ในบริเวณครึ่งหนึ่งของภาพต้นฉบับ โดยเริ่มวัดจากจุดศูนย์กลางของภาพไปจนถึงขอบของภาพทุกด้าน



รูปที่ 2.39 ขอบเขตการเลือกพื้นที่เป้าหมาย (Region of Interest: ROI)

## 2.5.2 การแปลงภาพให้เป็นภาพไบนารี

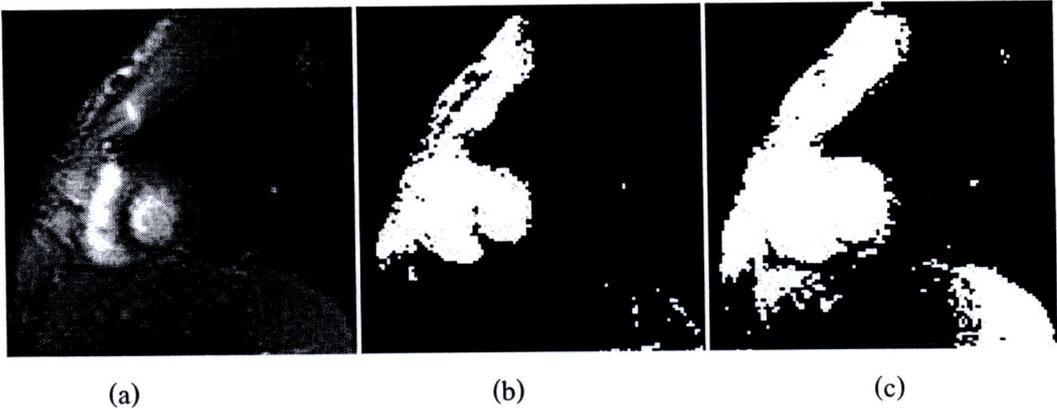
ภาพไบนารีเป็นภาพดิจิทัลที่แต่ละจุดภาพมีได้เพียงแค่ 2 ค่าเท่านั้น หรือเรียกว่า ภาพสองระดับ (Bi-level), ภาพขาวดำ (Black-and-White) หรือภาพโมโนโครม (Monochrome) การแปลงภาพเป็นภาพไบนารี เป็นการแยกส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพที่เราสนใจออกมาจากภาพ โดยส่วนใหญ่ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการประมวลผลภาพทางการแพทย์ เนื่องจากภาพที่ได้มักจะมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการคิดมาด้วย วิธีการแยกส่วนภาพ จะใช้เงื่อนไขในการพิจารณาโดยดูว่า จุดภาพที่กำลังพิจารณาอยู่นั้น จัดเป็นของวัตถุ (Objects) ใดในภาพ หรือจัดเป็นฉากหลัง (back ground) การแปลงภาพระดับสีเทา (Grayscale) ที่มีระดับสีระหว่าง 0-255 เป็นภาพไบนารี ที่มีระดับสีระหว่าง 0-1 สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าเทรชโฮลด์ [6, 38]

เทรชโฮลด์ เป็นค่าที่เป็นจำนวนเต็มมีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 ใช้หลักการแปลงเป็นภาพไบนารี คือ ถ้าค่าความเข้มแสงที่จุดภาพตำแหน่งใดมีค่าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ ให้ค่าจุดภาพใน

ตำแหน่งนั้นมีค่าเป็น 0 เปลี่ยนเป็นดำมืด และถ้าจุดภาพใดมีค่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ ให้จุดภาพนั้นมีค่าเป็น 1 หรือเปลี่ยนเป็นด้านสว่าง อธิบายตามสมการได้ดังนี้

$$G[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } F[i,j] \geq T \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

เมื่อ	$F[i,j]$	คือ	เมตริกซ์ของภาพต้นแบบระดับสีเทา (Grayscale)
	$G[i,j]$	คือ	ภาพไบนารีที่ได้จากการตัดเทรชโฮลด์
	$T$	คือ	ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold)



รูปที่ 2.40 การแปลงภาพระดับสีเทา (a) เป็นภาพไบนารี (b) โดยการใช้ค่าเทรชโฮลด์เท่ากับ 128 และ (c) ใช้ค่าเทรชโฮลด์อัตโนมัติจาก Otsu's thresholding [38]

### 2.5.3 การแปลงภาพโดยใช้วิธีดับเบิลเทรชโฮลด์ (Double threshold)

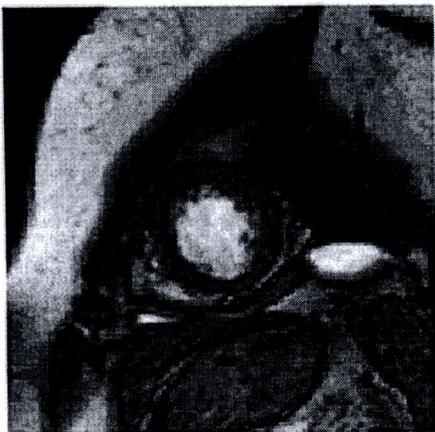
คือการกำหนดค่าเทรชโฮลด์สองระดับ [1] เนื่องจากภาพถ่ายเรโซแนนซ์แม่เหล็กเป็นภาพระดับสีเทาที่มีความเข้มแต่ละจุดภาพหลายระดับและส่วนที่เป็นของเหลว ได้แก่ บริเวณภายในของห้องหัวใจทั้งห้องซ้ายและขวา มีค่าความเข้มแสงสูงมาก การแปลงให้เป็นภาพไบนารีแบบปกติ สามารถแยกข้อมูลส่วนที่มีค่าความเข้มแสงแตกต่างกันมากออกได้เป็นสองบริเวณ แต่บริเวณพื้นที่เป้าหมายคือบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งอยู่ระหว่างหัวใจห้องซ้ายและขวานั้นมีค่าความเข้มแสงที่ใกล้เคียงกับพื้นหลัง และค่าในแต่ละจุดภาพมีความแปรปรวนมาก เมื่อทำการแปลงภาพข้อมูลส่วนนี้จึงถูกกลืนไปกับพื้นหลัง การแปลงภาพไบนารีแบบปกติ จึงไม่สามารถใช้หาพื้นที่เป้าหมายได้ จากงานวิจัยการหาขอบด้านนอกของกล้ามเนื้อหัวใจ [1] โดยใช้วิธีดับเบิลเทรชโฮลด์

$$F_2[i,j] = F[i,j] * G_{\text{MASK}} \quad (2.5)$$

$$G_2[i,j] = \begin{cases} 1 & \text{if } F_2[i,j] \geq T_2 \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (2.6)$$

เมื่อ	$F_2[i,j]$	คือ	เมตริกซ์ของภาพต้นแบบที่เอาบริเวณจุดภาพที่มีความเข้มแสงสูงออกแล้ว
	$G_{\text{MASK}}$	คือ	ภาพส่วนกลับหรือหน้ากากของภาพ $G[i,j]$
	$G_2[i,j]$	คือ	ภาพไบนารี
	$T_2$	คือ	ค่าเทรชโฮลด์ (Threshold)

กำจัดบริเวณจุดภาพที่มีความเข้มแสงสูงออกจากพื้นที่โดยการสร้างภาพส่วนกลับ  $G_{\text{MASK}}$  ของภาพไบนารี  $G[i,j]$  หรือกล่าวอีกนัย คือ สร้างภาพหน้ากากของภาพไบนารีนั่นเอง และนำภาพต้นฉบับมาลบกับภาพส่วนกลับจะได้ภาพต้นฉบับที่บริเวณจุดภาพที่มีความเข้มแสงสูงมีค่าเท่ากับ 0 คือ เมตริกซ์ของภาพ  $F_2[i,j]$  เมื่อทำการแปลงภาพไบนารีอีกครั้งจะได้ภาพ  $G_2[i,j]$  ที่บริเวณพื้นที่เป้าหมายมีความชัดเจนขึ้น ดังรูปที่ 2.41



รูปที่ 2.41 ผลจากการแปลงภาพไบนารีด้วยวิธีกำหนดค่าเทรชโฮลด์สองระดับ [1]

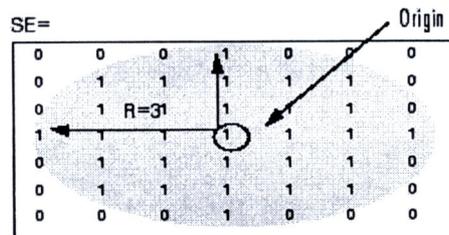
#### 2.5.4 การกระทำกับโครงสร้างพื้นฐาน (Morphological Operation)

คือการกระทำทางคณิตศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้น ระหว่างภาพดั้งเดิมที่เป็นภาพระดับสีเทา กับตัวประกอบโครงสร้าง (Structure Element) [42] โดยที่ขนาดของภาพเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง จุดประสงค์เพื่อกำจัดจุดภาพที่เราไม่ต้องการหรือเพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกจากพื้นที่เป้าหมาย สมการโครงสร้างพื้นฐาน [42] อธิบายได้ดังนี้

$$B_n = F * d_n \quad (2.7)$$

เมื่อ	$F$	คือ	เมตริกซ์ของภาพดั้งเดิม
	$d_n$	คือ	ตัวประกอบโครงสร้าง
	$B_n$	คือ	ภาพที่ถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดย $d_n$
	*	คือ	ตัวกระทำระหว่างภาพดั้งเดิมกับตัวประกอบโครงสร้าง

จากสมการที่ 2.7  $B_n$  จะเปลี่ยนแปลงไปตามตัวประกอบโครงสร้าง  $d_n$  โดยที่ตัวประกอบโครงสร้างคือเมตริกซ์ที่มีขนาดเล็กกว่าภาพที่นำเข้าสู่สร้างขึ้นเป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้ เช่น งาน สีเหลี่ยมขนมเปียกปูน รูปแบนแปดด้าน เส้น หรือ สีเหลี่ยม เป็นต้น ตัวอย่างตัวประกอบโครงสร้างแบบงานดังรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 ตัวประกอบโครงสร้างรูปงานขนาด 3 หน่วย

(ที่มา: <http://www.mathworks.com>)

ตัวกระทำระหว่างภาพกับตัวประกอบโครงสร้าง (\*) มีตัวกระทำสองลักษณะใหญ่ๆคือ

### 1. การขยาย (Dilation)

เป็นการขยายขอบเขตโดยรอบของวัตถุในภาพ เพื่อจุดประสงค์ เช่น ปิดรูเล็ก ๆ ในวัตถุ หรือเพื่อช่วยให้วัตถุ สองวัตถุที่ไม่มีสมาชิกร่วมกันแต่อยู่ใกล้กันสามารถเชื่อมต่อกันได้ เป็นต้น การขยายขนาดทำได้โดยการวางตัวประกอบโครงสร้างทับไปกับภาพแล้วเลื่อนตัวประกอบโครงสร้างไปที่ละหนึ่งจุดภาพ ทำการ Union (or) โดยกำหนดเงื่อนไข [40] ดังนี้

- 1.1 ถ้าจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '0' ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนตัวประกอบโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
- 1.2 ถ้าจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '1' ในภาพ ให้ดำเนินการด้วยตัวดำเนินการทางตรรกะ Union (or) ระหว่างภาพกับสมาชิกโครงสร้าง

ตัวอย่างการใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้นในการขยายโครงสร้างของภาพดังรูปที่ 2.43



รูปที่ 2.43 การขยายวัตถุภายในภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ  
โดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น

## 2. การกร่อน หรือ เซาะ (Erosion)

เป็นการย่อเนื้อที่ของวัตถุในภาพให้เล็กลง ทำเช่นเดียวกับการขยายภาพ แต่ดำเนินการต่างกัน โดยมีหลักการว่าสำหรับทุกตำแหน่งที่เลื่อนตัวประกอบโครงสร้างไปบนภาพจะมีการเปรียบเทียบกับข้อมูลภาพ โดยกำหนดเงื่อนไข[40] ดังนี้

- 2.1 ถ้าจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '0' ในภาพ ไม่ต้องดำเนินการใด ๆ และให้เลื่อนตัวประกอบโครงสร้างไปยังจุดภาพถัดไป
  - 2.2 ถ้าจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างตรงกับค่า '1' ในภาพ ให้พิจารณาว่า
    - a. ถ้าค่าในตัวประกอบโครงสร้างเหมือนกับค่าในภาพทุกตำแหน่ง จะทำการกำหนดค่าข้อมูลภาพในตำแหน่งที่ตรงกับจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างให้มีค่าเท่ากับ '1'
    - b. ถ้ามีค่าในข้อมูลภาพที่ตำแหน่งใดไม่ตรงกับค่าในตัวประกอบโครงสร้างจะทำการกำหนดค่าข้อมูลภาพในตำแหน่งที่ตรงกับจุดศูนย์กลางของตัวประกอบโครงสร้างให้มีค่าเท่ากับ '0'
- ดังนั้นวัตถุในภาพต้นฉบับจะมีโครงสร้างข้อมูลในภาพลดลงตามลักษณะของตัวประกอบโครงสร้าง ดังรูปที่ 2.44 ตัวอย่างการใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้นในการกร่อนโครงสร้างของภาพ



รูปที่ 2.44 การกร่อนวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบเส้น

จากตัวกระทำการสองลักษณะใหญ่ๆ ได้แก่การขยาย (Dilation) และการกร่อน (Erosion) สามารถนำตัวกระทำการสองแบบนี้มาใช้ร่วมกันบนภาพไบนารี ทำให้เกิดการกระทำการอีกสองลักษณะ คือ การปิด (Closing operation) และการเปิด (Opening operation)

### 3. การปิด (Closing operation)

เป็นกระบวนการที่ใช้ปิดบริเวณที่เกือบจะเชื่อมต่อกัน ให้เชื่อมต่อถึงกัน อาจใช้สำหรับกำจัดสิ่งรบกวนหรือบริเวณที่ไม่ต้องการที่มีขนาดเล็กกว่าตัวประกอบโครงสร้าง โดยรวมวิธีการของการขยายภาพและการกร่อนภาพไว้ด้วยกัน[42] คือ ทำการขยายวัตถุก่อนที่จะทำการกร่อนวัตถุ เพื่อที่จะปิดส่วนที่เกือบจะเชื่อมกันก่อนแล้วจึงลดความพองของภาพให้เท่าเดิมดังแสดงในรูป 2.45



รูปที่ 2.45 ภาพตัวอย่างการปิดวัตถุ

(ที่มา: <http://jainpoojith.blogspot.com/>)



รูปที่ 2.46 การปิดวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบงาน

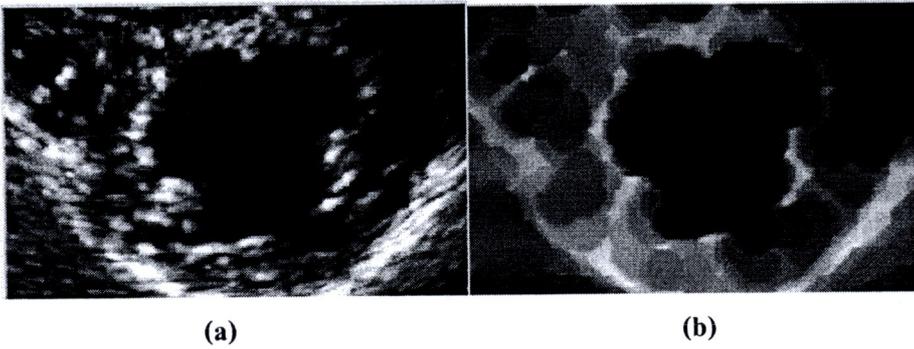
#### 4. การเปิด (Opening operation)

เป็นกระบวนการที่ตรงกันข้ามกับการปิด ใช้สำหรับลบบางส่วนของจุดภาพบริเวณขอบ หรือใช้เพื่อลบมุม ลบส่วนที่ยื่นออกมาจากข้อมูลภาพ อาจใช้ลบบริเวณที่ไม่ต้องการที่มีขนาดเล็กกว่าตัวประกอบโครงสร้าง โดยรวมวิธีการของการกร่อนภาพและตามด้วยการขยายภาพ [42] การปิดเหมือนกับการกร่อนภาพ แต่ขนาดในการลบจุดภาพจะน้อยกว่า แสดงในรูป 2.47



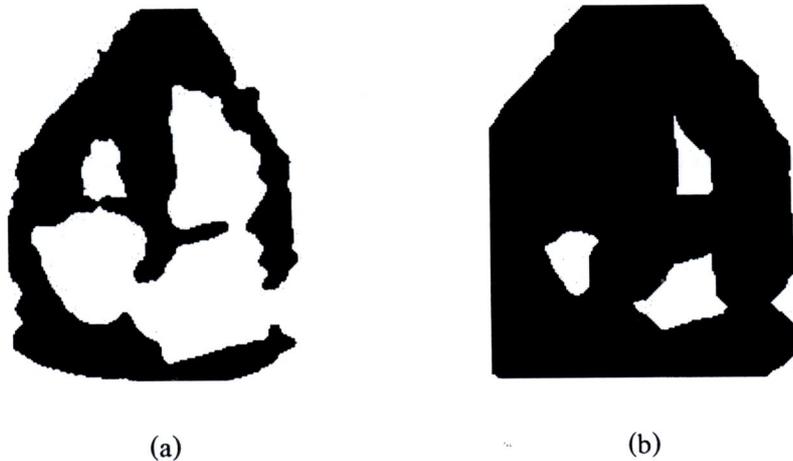
รูปที่ 2.47 การเปิดวัตถุบนภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจโดยใช้ตัวประกอบโครงสร้างแบบงาน

M. do C. dos Reis [43] เสนอการใช้ การกระทำโครงสร้างแบบปิดบนภาพระดับสีเทา ในการหาขอบของหัวใจห้องซ้ายจากภาพถ่ายคลื่นเสียงความถี่สูงในระนาบตัดขวาง



รูปที่ 2.48 ผลจากการปิดภาพระดับสีเทาบนภาพถ่ายคลื่นเสียงความถี่สูง [43]

Cheng, J. [44] เสนองานวิจัยเพื่อหาพื้นที่เป้าหมายและจุดศูนย์กลางของหัวใจห้องล่างซ้ายบนภาพคลื่นสะท้อนความถี่สูงโดยใช้การแยกบริเวณที่ลุ่ม (Watershed) ขั้นตอนของ Cheng, J. ใช้การกร่อนภาพหลังจากการแปลงภาพไบนารีแล้ว ดังรูปที่ 2.49

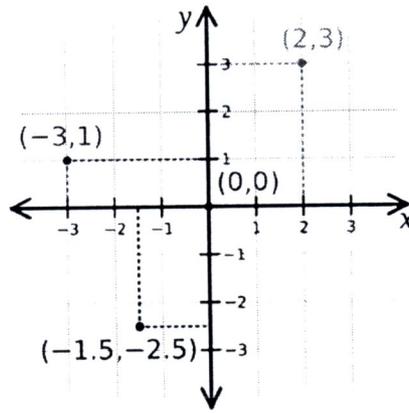


รูปที่ 2.49 ผลจากการกร่อนภาพไบนารี [44]

### 2.5.5 การจัดเรียงภาพระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนและพิกัดเชิงขั้ว (Rearrange Image)

#### - ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian coordinate system)

เป็นระบบที่ใช้กำหนดตำแหน่งของจุดแต่ละจุดบนระนาบโดยอ้างถึงตัวเลข 2 จำนวน ซึ่งแต่ละจำนวนเรียกว่า พิกัดเอ็กซ์ (X) และ พิกัดวาย (Y) ของจุดนั้น และเพื่อที่จะกำหนดพิกัดของจุด จะต้องมีเส้นแกนสองเส้นตัดกันเป็นมุมฉากที่จุดกำเนิด ได้แก่ แกนเอ็กซ์ และ แกนวาย ซึ่งเส้นแกนดังกล่าวจะมีหน่วยบ่งบอกความยาวเป็นระยะ



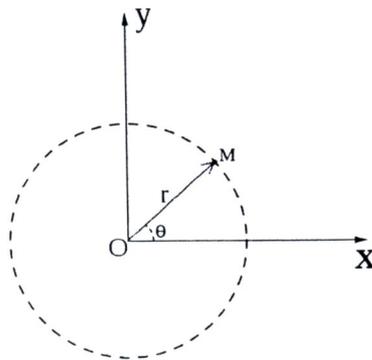
รูปที่ 2.50 ระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/>)

- ระบบพิกัดเชิงขั้ว (polar coordinate system)

ในวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการแปลงพิกัดเชิงขั้วในลักษณะสองมิติ ซึ่งสามารถอธิบายให้เข้าใจได้ง่าย โดยใช้พิกัดวงกลม มีจุดตรงหรือขั้ว คือจุดกำเนิด  $o$  รังสีที่ลากจากขั้วเข้ากับทิศทางตรงคือแกนเชิงขั้ว ระยะทางจากขั้วถึงจุด  $M$  ใดใดเรียกว่าพิกัดรัศมีหรือรัศมี เขียนแทนได้ด้วยคู่อันดับ  $(r, \theta)$  โดยที่

- พิกัด  $r$  คือระยะทางจากจุดกำเนิดไปยังจุด  $M$  ซึ่งจะได้  $r \geq 0$
- พิกัด  $\theta$  คือขนาดของมุมที่อยู่ระหว่างแกนเชิงขั้ว กับส่วนของเส้นตรงที่เชื่อมต่อกับจุดกำเนิดกับจุด  $M$  หรือรัศมี โดยปกติจะวัดทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะได้  $0^\circ \leq \theta < 360^\circ$



รูปที่ 2.51 ระบบพิกัดเชิงขั้วสองมิติ หรือวงกลม

(ที่มา: <http://th.wikipedia.org/>)

ในการแปลงพิกัดระหว่างพิกัดคาร์ทีเซียนและเชิงขั้วสามารถกระทำได้ตามสมการ

$$r = \sqrt{(x^2 + y^2)} \quad (2.8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (2.9)$$

และ

$$x = r \cos \theta \quad (2.10)$$

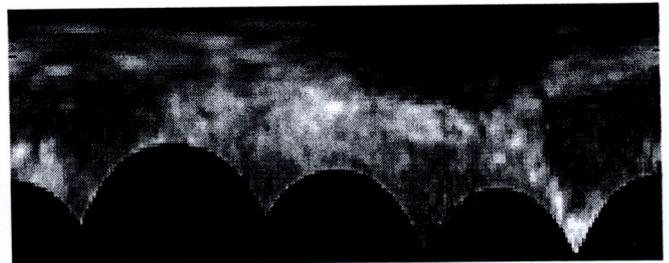
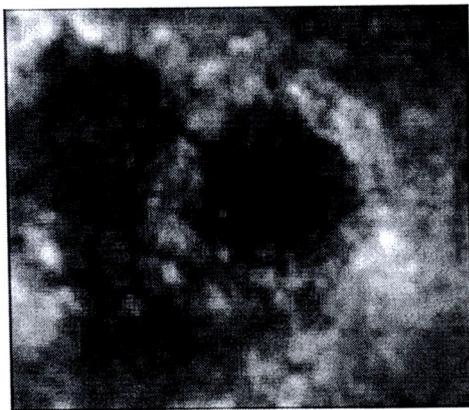
$$y = r \sin \theta \quad (2.11)$$

เมื่อ

r คือ รัศมี

 $\theta$  คือ ขนาดของมุม

จากงานวิจัย R. Juang [45] ได้เสนอการแบ่งส่วนโครงหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพอัลตราซาวด์โดยใช้สมมาตรรัศมีทำการแปลงภาพให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว ช่วยให้ง่ายต่อการนำไปประมวลผลในส่วนของวิธีอื่นๆต่อไป

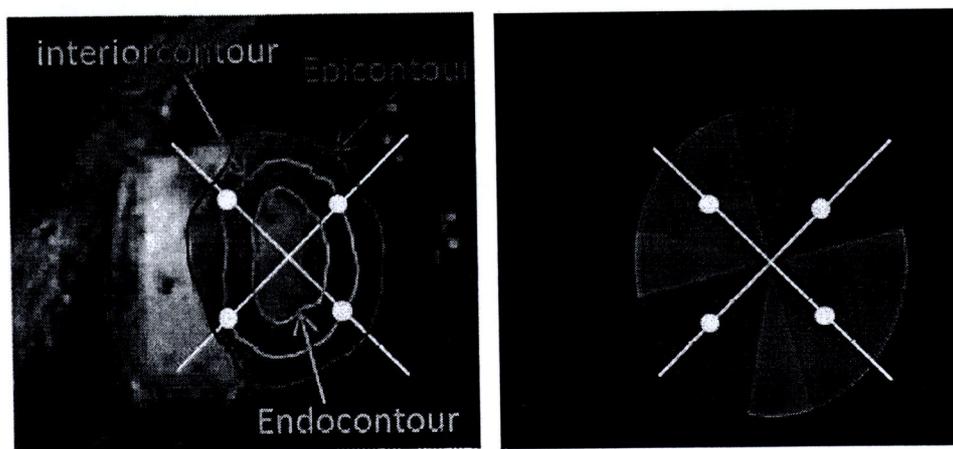


รูปที่ 2.52 การแปลงภาพอัลตราซาวด์หัวใจจากพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว [45]

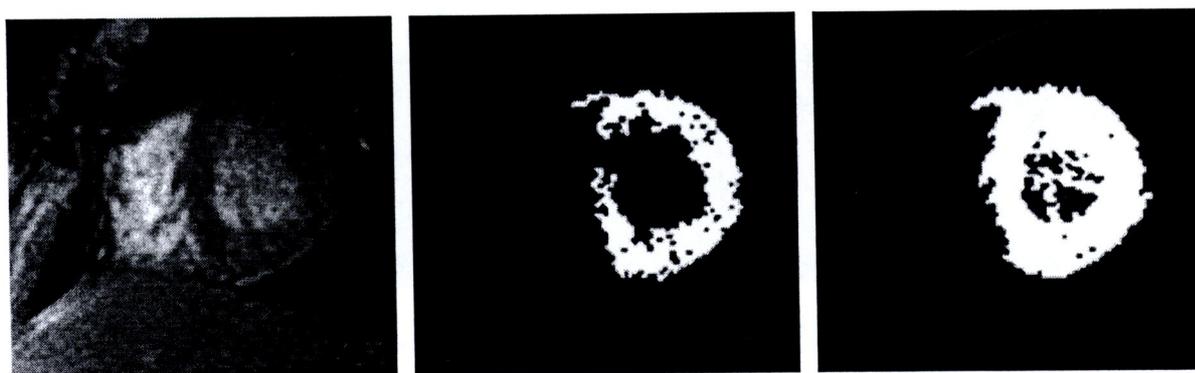
### 2.5.6 การขยายจุดภาพ (Region growing)

วิธีนี้คือการนำจุดภาพข้างเคียงมาพิจารณาเพื่อทำการจัดกลุ่มจุดภาพที่มีค่าความเข้มของจุดภาพใกล้เคียงกันหรือเท่ากันเข้าไว้ด้วยกัน โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบ แล้วระบุว่าเป็นส่วนเดียวกันหรือไม่ จากจุดภาพเริ่มต้นจะขยายจุดภาพไปยังจุดภาพข้างเคียงโดยทำการเปรียบเทียบว่าจุดภาพข้างเคียงนั้นเป็นพื้นที่ส่วนเดียวกันหรือไม่โดยเทียบกับพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้น เมื่อจุดภาพใดเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ แล้วเกินจากค่าที่กำหนดไว้ จุดภาพนั้นจะถูกตัดสินว่าเป็นคนละพื้นที่กัน [46] วิธีขยายจุดภาพช่วยในการประเมินพื้นที่ที่เป็นส่วนเดียวกันบนภาพระดับสีเทา ข้อที่ควรตระหนักถึงสำหรับการใช้วิธีนี้คือการกำหนดจุดเริ่มต้นที่ดีที่สุดและการกำหนดค่าพารามิเตอร์

เนื่องจากภาพถ่ายบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างซ้ายที่มีลักษณะ โครงสร้างเหมือนวงแหวนมีความแปรปรวนของค่าในแต่ละจุดภาพค่อนข้างมาก พื้นที่ที่ได้จากการขยายจุดภาพมีความไม่ต่อเนื่อง จากงานวิจัยของ Mustafa A. Alattar [5] ได้เสนอการกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายจุดภาพเพื่อหาพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจจากภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กโดยวิธี Multi-Seeded Region Growing (MSRG) โดยกำหนดจุดเริ่มต้นบริเวณวงภายในพื้นที่ (Interior contour) จากภาพ 2.53 บริเวณจุดสีขาวสี่จุด คือจุดเริ่มต้นสำหรับการขยายจุดภาพ บนภาพระดับสีเทา โดยเปรียบเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้น



รูปที่ 2.53 การกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับการขยายจุดภาพ โดยวิธี Multi-Seeded Region Growing [5]



(a)

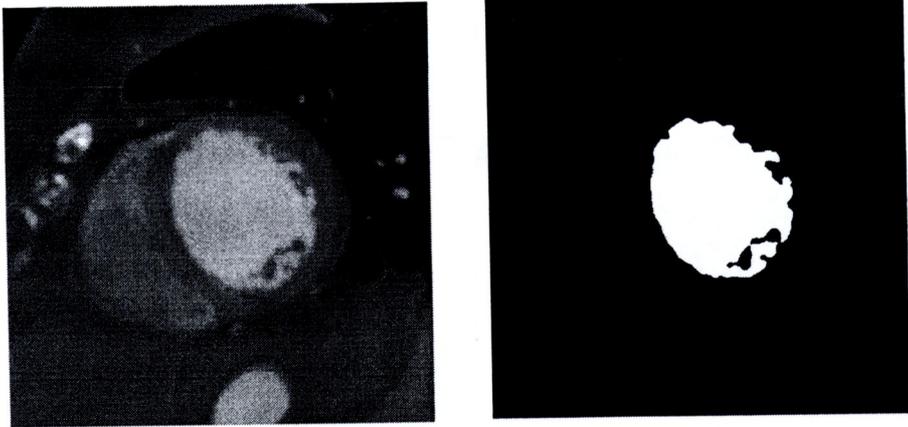
(b)

(c)

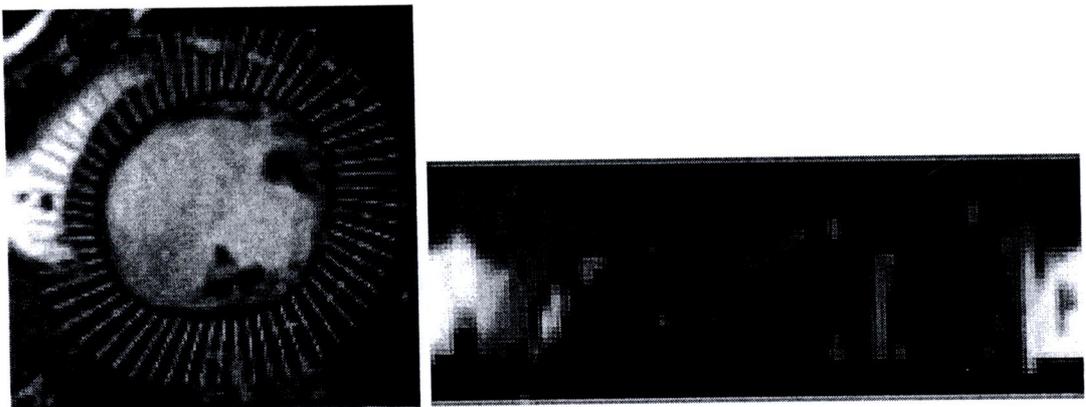
รูปที่ 2.54 ผลการทดลองจากวิธี Multi-Seeded Region Growing ในกรณีที่มีความเข้มแสงในแต่ละจุดภาพมีความแปรปรวน

ผลจากวิธี MSRG ให้ผลที่ดีสำหรับการขยายจุดภาพบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจ แต่เนื่องจากการขยายจุดภาพบนภาพสีเทา จะให้ผลที่ไม่ดีเมื่อความเข้มแสงมีความแปรปรวนดังภาพที่ 2.54 การใช้วิธี

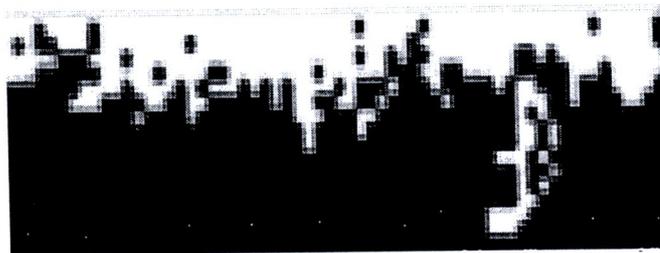
นี้ความสำคัญจึงอยู่ที่การกำหนดค่า สำหรับเปรียบเทียบนั่นเอง งานวิจัยของ Tsai I-C [13] ได้ใช้การขยายจุดภาพเพื่อหาพื้นที่โพรงของหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพซีที ดังรูปที่ 2.55 นอกจากนี้ Ying Li Lu [47] ได้เสนอการขยายจุดภาพ เพื่อหาบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจจากภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กบนพิกัดเชิงขั้ว เพื่อให้ได้พื้นที่ที่มีความต่อเนื่อง และการกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายพื้นที่ที่สามารถทำได้ง่ายกว่าโดยเริ่มต้นจากขอบบนสุดของภาพ



รูปที่ 2.55 การหาโพรงหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพซีทีโดยใช้การขยายจุดภาพ [13]

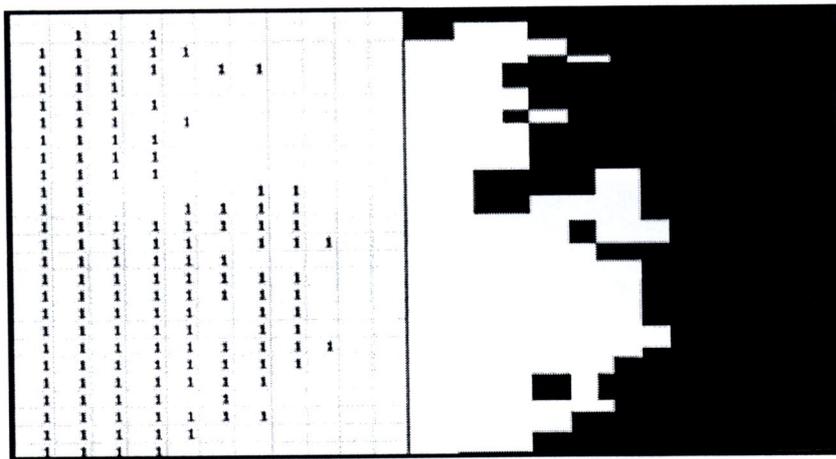


รูปที่ 2.56 การแปลงภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ จากพิกัดคาร์ทีเซียนเป็นพิกัดเชิงขั้ว [47]



รูปที่ 2.57 ผลจากการขยายจุดภาพ [47]

ในงานวิจัยฉบับนี้ นำเสนอวิธีการขยายจุดภาพเพื่อแยกบริเวณกล้ำเนื้อหัวใจที่ต้องการ โดยทำการขยายจุดภาพบนภาพไบนารีที่อยู่พิกัดเชิงขั้ว ซึ่งมีแค่เพียงสองระดับความสว่างคือ มีด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 และสว่าง ที่มีค่าเท่ากับ 1 เท่านั้น ดังรูปที่ 2.58 พื้นที่เป้าหมายมีค่าในจุดภาพเท่ากับ 1 หรือแสดงเป็นสีขาว การขยายจุดภาพจึงทำการพิจารณาเปรียบเทียบแค่เพียงว่าจุดภาพข้างเคียงว่ามีค่าเท่ากับจุดภาพขณะปัจจุบันหรือไม่ การขยายพื้นที่บนภาพไบนารีจึงลดขั้นตอนการเปรียบเทียบ และตัดปัญหาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดออกไป จะช่วยให้ความซับซ้อนของอัลกอริทึมลดน้อยลง



รูปที่ 2.58 ลักษณะการขยายจุดภาพโดยใช้วิธีขยายจุดภาพบนภาพไบนารี

ส่วนการกำหนดจุดเริ่มต้น ใช้จุดภาพของเยื่อหัวใจเป็นจุดเริ่มต้นเพื่อให้ได้พื้นที่ที่มีความต่อเนื่อง และมั่นใจได้ว่าจุดเริ่มต้นเป็นจุดภาพของพื้นที่เป้าหมายจริง

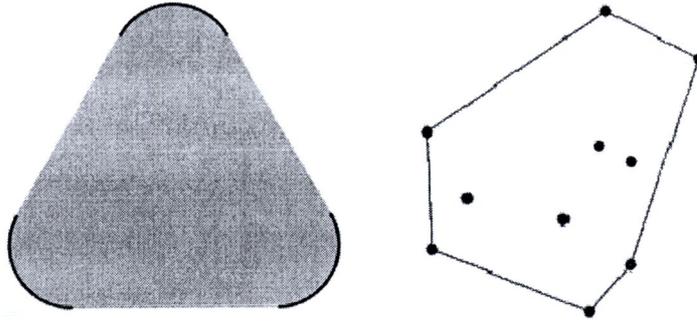
### 2.5.7 คอนเวกซ์ ฮัล (Convex Hull)

คือการกำหนดขอบเขตที่ครอบคลุมสมาชิกทั้งหมด สามารถอธิบายนิยามและสมการได้ว่า

**นิยาม** ถ้า  $S$  เป็น Convex Set , สำหรับ  $P_1, P_2, \dots, P_N$  ที่อยู่ใน  $S$  และ  $\lambda_j \geq 0$  หรือ  $\sum_{j=1}^N \lambda_j = 1$  แล้ว  $\sum_{j=1}^N \lambda_j P_j$  จะอยู่ใน  $S$  ด้วย [49, 50]

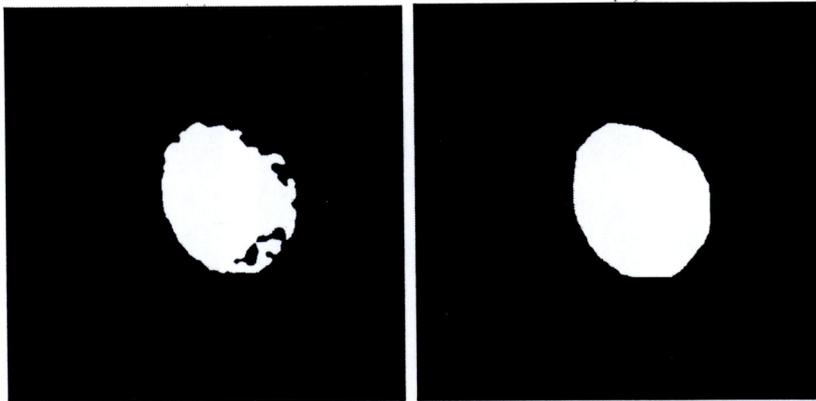
$$C = \left\{ \sum_{j=1}^N \lambda_j P_j \right\} \quad (2.12)$$

เมื่อ  $C$  คือ Convex hull

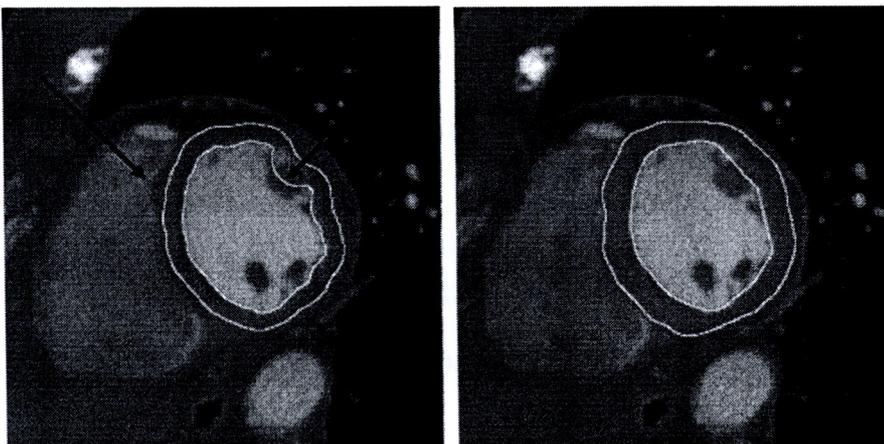


รูปที่ 2.59 บริเวณของคอนเวกซ์ เซ็ต จะถูกล้อมด้วยคอนเวกซ์ ฮัล [48,50]

งานวิจัยของ Tsai I-C [13] เสนอการใช้คอนเวกซ์ ฮัล เพื่อหาขอบเขตที่ครอบคลุมโพรงหัวใจห้องล่างซ้าย จากการหาพื้นที่ภายในโพรงบนภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์หรือซีที ด้วยวิธีการขยายจุดภาพ ดังรูปที่ 2.60



รูปที่ 2.60 ผลจากการทำคอนเวกซ์ ฮัล ของพื้นที่โพรงหัวใจห้องซ้าย [13]

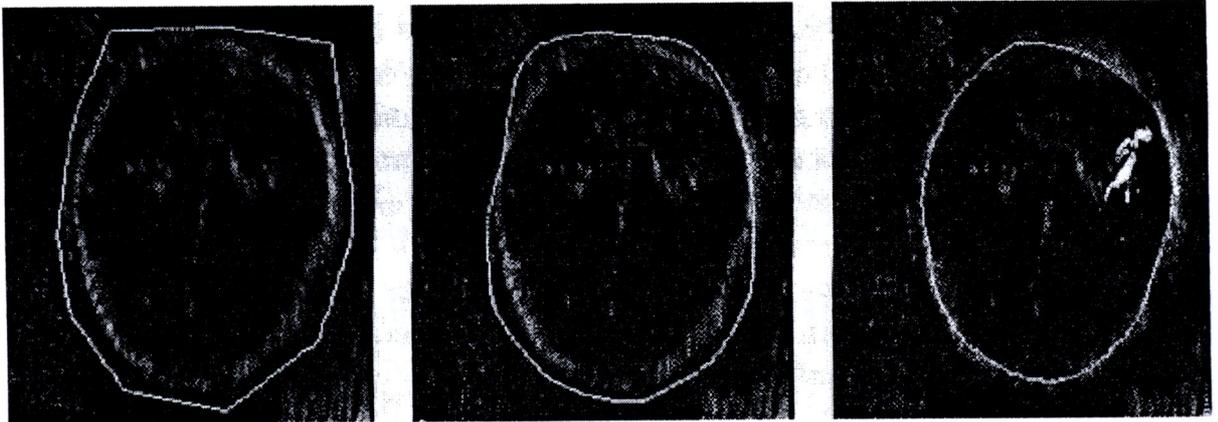


รูปที่ 2.61 เส้นขอบระหว่างผลการขยายจุดภาพเพียงอย่างเดียวกับการทำคอนเวกซ์ ฮัล [13]

จากผลการทำคอนเวกซ์ ฮัล สามารถหาพื้นที่ได้ครอบคลุมบริเวณภายในทั้งหมด จากรูปที่ 2.60 บริเวณที่เป็นลึนหัวใจหรือเนื้อเยื่อที่ผนัง ซึ่งก็อยู่ในส่วนของโพรงหัวใจ จึงถือว่ายังอยู่ในส่วนที่ต้องการให้ครอบคลุม

### 2.5.8 แอ็กทีฟคอนทัวร์โมเดล (Active Contour Model : Snake)

จุดประสงค์ของสเนค เพื่อหารูปร่างของวัตถุจากการประมาณขอบของวัตถุ โดยเป็นลักษณะเส้นโค้งวงปิดที่สามารถเคลื่อนที่ให้เข้าใกล้หรือผลัดออกให้ใกล้เคียงกับวัตถุจริงมากที่สุด ภายใต้ค่าพลังงานจากภายในและภายนอกที่กระทำกับเส้นโค้ง หลักการของสเนค คือ วางเส้นโค้งวงปิดหรือเรียกว่าสเนค ให้ใกล้กับรูปร่างวัตถุที่สนใจ ในระหว่างกระบวนการวนซ้ำ สเนค จะมีแรงดึงดูดกับรูปร่างของวัตถุ โดยมีค่าพลังงานที่คอยควบคุมรูปร่างและตำแหน่งของสเนค [52] ลักษณะการทำงานของสเนค [51] แสดงดังรูปที่ 2.62



รูปที่ 2.62 แสดงหลักการทำงานของสเนค [51]

$$c(s) = (x(s), y(s)) \quad (2.13)$$

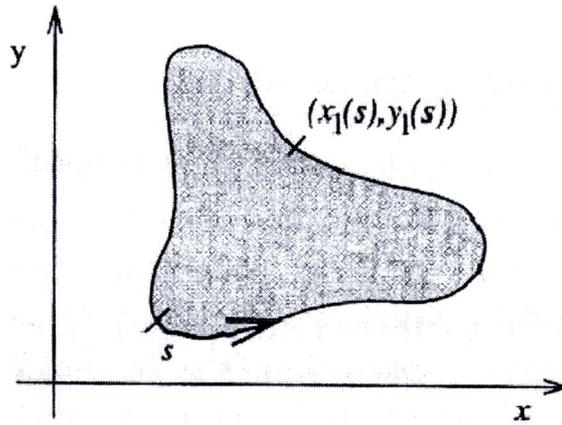
เมื่อ

$c(s)$  คือ รูปร่างของสเนค

โดยที่

$x(s)$  และ  $y(s)$  คือ พิกัดของสเนค

$s$  คือ สมาชิกของเซต  $[0,1]$



รูปที่ 2.63 พารามิเตอร์อธิบายรูปร่างสเนค [51]

สเนค มีพลังงานที่คอยควบคุมการเปลี่ยนรูปร่าง การถูกผลักออก หรือการดึงเข้าหารูปร่างของวัตถุ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการ

$$E = \int (\alpha(s)E_{\text{count}} + \beta(s)E_{\text{curv}} + \gamma(s)E_{\text{image}}) ds \quad (2.14)$$

โดยที่  $\alpha(s)$ ,  $\beta(s)$  และ  $\gamma(s)$  คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมการยืดหยุ่น ความโค้งงอ และจะมีค่าแตกต่างกันตามรูปร่างของสเนค  $c(s)$  พลังงานที่ควบคุมสเนค แบ่งได้เป็นสองส่วนใหญ่

$E_{\text{external}}$  คือ พลังงานภายนอกที่จะทำให้เกิดแรงผลักดันเส้นรูปร่างเข้าใกล้ขอบวัตถุมากที่สุด จากสมการอยู่ในเทอมของ  $E_{\text{image}}$

$E_{\text{internal}}$  คือ พลังงานจากภายในที่รักษารูปร่าง สเนค ประกอบด้วยพลังงานอีกสองส่วนย่อย อยู่ในพจน์ของ  $E_{\text{cont}}$  คือ แรงที่ทำให้สเนค มีความยืดหยุ่น  
 $E_{\text{curv}}$  คือ แรงที่ทำให้เส้นรูปร่าง สเนค มีความโค้งงอ

การหาค่าในแต่ละพจน์

$E_{\text{cont}}$  หาได้จากการหาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ สเนค  $c(s)$

$$E_{\text{cont}} = \left\| \frac{dc}{ds} \right\|^2 \quad (2.15)$$

$E_{\text{curv}}$  หาได้จากการหาอนุพันธ์อันดับสองของ สเนค  $c(s)$

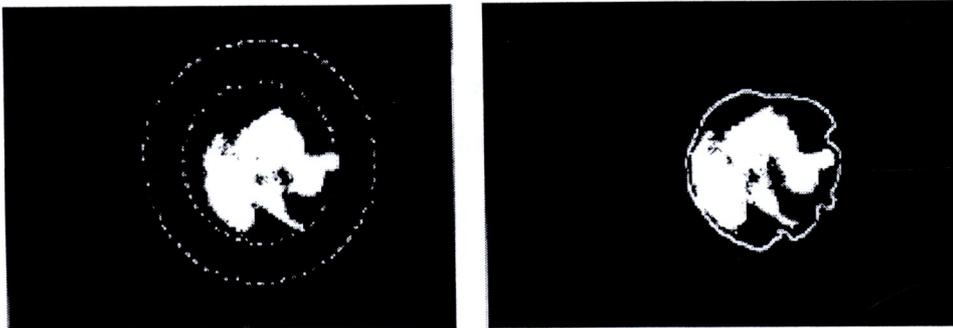
$$E_{\text{curv}} = \left\| \frac{d^2c}{ds^2} \right\|^2 \quad (2.16)$$

$E_{\text{image}}$  หาได้จากค่าสัมบูรณ์ของเกรเดียนท์ของความเข้มแสงในแต่ละจุดสเนค และ  $E_{\text{image}}$  จะมีค่าน้อยมากเมื่อสเนคเริ่มต้นอยู่ใกล้ขอบของวัตถุมากที่สุด

$$E_{\text{image}} = -\|\nabla I\| \quad (2.17)$$

เมื่อ  $\nabla I$  คือ ค่าเกรเดียนท์ของความเข้มแสงในแต่ละจุด สเนค

งานวิจัยของ Charnchai P. [52] ได้เสนอวิธี Stochastic Active Contour Scheme (STAC) ในการหาส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ โดยใช้ STAC หลังจากหาคำแหน่งวงกลมที่ครอบคลุมพื้นที่ของช่องหัวใจห้องล่างซ้ายได้แล้ว จุดเริ่มต้นสำหรับการทำ STAC ถ้าอัลกอริทึมในการหาจุดเริ่มต้นมีประสิทธิภาพสามารถหาขอบเขตของจุดเริ่มต้นได้ใกล้เคียงพื้นที่จริง ผลจากการทำ STAC จะได้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น การทำงานของ STAC ดังรูปที่ 2.64



รูปที่ 2.64 ภาพแสดงขั้นตอนการหาเยื่อหัวใจด้วยวิธี

Stochastic Active Contour Scheme (STAC) [52]

อัลกอริทึมของสเนค มีผลแปรเปลี่ยนตามค่าพารามิเตอร์ในหลายพจน์ และขอบเขตเริ่มต้นซึ่งการกำหนดขอบเขตเริ่มต้นที่ไม่เหมาะสมจะทำให้การประมวลผลใช้เวลาเพิ่มขึ้น รวมทั้งในการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากๆยังทำให้ต้องใช้ทรัพยากรเพิ่มมากขึ้นอีก [53] ในงานวิจัยนี้ต้องการคุณสมบัติในการหารูปร่างวัตถุที่ดิซของสเนค แต่ในส่วนของกำหนดขอบเขตเริ่มต้น เพื่อให้อัลกอริทึมใช้เวลาประมวลผลน้อยที่สุด จึงเสนอการใช้สเนค หลังจากหาขอบของข้อมูลได้แล้วและให้ขอบของข้อมูลไบนารีที่ได้นั้นเป็นขอบเขตเริ่มต้น เนื่องจากการหาขอบของกล้ามเนื้อหัวใจในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ได้กระทำบนภาพไบนารี ซึ่งขอบของข้อมูลที่ได้ อาจมีความไม่สม่ำเสมอ บางส่วนอาจเกินจากข้อมูลจริงและบางส่วนอาจขาดหาย

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระบุบริเวณที่เป็นกล้ามเนื้อหัวใจที่มีความแม่นยำที่สุดคือการระบุตำแหน่งโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเกี่ยวกับภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กหัวใจ หรือแพทย์ผู้วินิจฉัย โดยอาศัยการตรวจสอบทางกายภาพและความชำนาญของแต่ละบุคคล วิธีการนี้ให้ผลที่ถูกต้องเกือบทั้งหมดเพราะแพทย์หรือผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเป็นผู้วินิจฉัย สามารถระบุขอบเขตพื้นที่ได้โดยทันทีว่าบริเวณนั้นถูกหรือผิด [54] แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์หาพื้นที่ของกล้ามเนื้อหัวใจเพื่อระบุอาการของโรคโดยนั้น จำเป็นต้องวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลาในการดำเนินการตรวจสอบค่อนข้างมาก และไม่สามารถระบุเวลาการทำงานที่แน่นอนได้ เพราะขึ้นอยู่กับความชำนาญของแต่ละบุคคล

P.Pongpaopattanakul [1] เสนอวิธีดับเบิลเทรซโซลด์ เพื่อกำจัดบริเวณจุดภาพที่มีความเข้มแสงสูงออกจากพื้นที่โดยการสร้างภาพส่วนกลับของภาพไบนารีและนำภาพต้นฉบับมาลบกับภาพส่วนกลับจะได้ภาพต้นฉบับที่บริเวณจุดภาพที่มีความเข้มแสงสูงมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อทำการแปลงภาพไบนารีอีกครั้งจะได้ภาพที่บริเวณพื้นที่เป้าหมายซึ่งก็คือบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจมีความชัดเจน

M. do C. dos Reis [43] เสนอวิธีการกระทำกับโครงสร้างสัณฐานแบบปิด (Morphological closing) บนภาพระดับสีเทาในการหาขอบของหัวใจห้องซ้ายจากภาพถ่ายคลื่นเสียงความถี่สูงในระนาบตัดขวาง

R. Juang [45] ได้เสนอการแบ่งส่วนโครงหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพอัลตราซาวด์โดยใช้สมมาตรรีสมิทำการแปลงภาพให้อยู่ในพิกัดเชิงขั้ว แล้วใช้กราฟคัท (Graph cut) เพื่อหาบริเวณของกล้ามเนื้อหัวใจ

Mustafa A. Alattar [5] ได้เสนอการกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายจุดภาพเพื่อหาพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจจากภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กโดยวิธี Multi-Seeded Region Growing (MSRG) โดยกำหนดจุดเริ่มต้นบริเวณภายในวงของพื้นที่กล้ามเนื้อหัวใจ

Tsai I-C [13] ได้เสนอการใช้วิธีขยายจุดภาพ เพื่อหาพื้นที่โครงหัวใจห้องล่างซ้ายจากภาพซีที และใช้คอนเวกซ์ ฮัล เพื่อหาขอบเขตที่ครอบคลุมโครงหัวใจห้องล่างซ้ายทั้งหมด

Ying Li Lu [47] ได้เสนอวิธีขยายจุดภาพเพื่อหาบริเวณกล้ามเนื้อหัวใจจากภาพเรโซแนนซ์แม่เหล็กบนพิกัดเชิงขั้ว ทำให้ได้พื้นที่ที่มีความต่อเนื่อง และการกำหนดจุดเริ่มต้นสำหรับขยายพื้นที่ที่สามารถทำได้ง่ายกว่าโดยเริ่มต้นจากขอบบนสุดของภาพ

Charnchai P. [52] ได้เสนอวิธี Stochastic Active Contour Scheme (STAC) ในการหาส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ โดยใช้ STAC หลังจากหาตำแหน่งวงกลมที่ครอบคลุมพื้นที่ของช่องหัวใจห้องล่างซ้ายได้แล้ว จุดเริ่มต้นสำหรับการทำ STAC ถ้าอัลกอริทึมในการหาจุดเริ่มต้นมีประสิทธิภาพ สามารถหาขอบเขตของจุดเริ่มต้นได้ใกล้เคียงพื้นที่จริง ผลจากการทำ STAC จะได้ค่าที่มีความแม่นยำมากขึ้น