

บทที่ 2

หลักการทํางานของหัวใจ

ในทางการแพทย์ หัวใจนับเป็นอวัยวะที่สำคัญส่วนหนึ่งของร่างกาย ดังนั้นการตรวจสอบความผิดปกติในการทํางานของหัวใจนับว่าเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งวิธีการในการตรวจสอบความผิดปกติในการทํางานของหัวใจที่นิยมกันมาในปัจจุบันมีอยู่ 2 วิธีคือการวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และการวัดสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ เนื่องจากเป็นวิธีการที่สะดวกในการวัดและวินิจฉัยของแพทย์นั่นเอง ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของลักษณะทางกายวิภาคของหัวใจ กระบวนการในการเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และคลื่นเสียงหัวใจ ลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ และสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ และมาตรฐานในการตรวจวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสัญญาณคลื่นเสียงหัวใจ

1. ลักษณะกายวิภาคของหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ (muscle organ) มีลักษณะเป็นรูปกรวยสั้น (coneshaped) กว้างประมาณ 3.5 นิ้ว ยาวประมาณ 5 นิ้ว ในวัยรุ่นชายจะมีน้ำหนักประมาณ 250-390 กรัม ในหญิงจะหนักประมาณ 200-275 กรัม ตั้งอยู่บริเวณกึ่งกลางของช่องอกอยู่ระหว่างปอดทั้งสองข้าง 2 ใน 3 ส่วนของหัวใจจะอยู่ทางด้านซ้ายของเส้นกึ่งกลางลำตัว ส่วนฐานของหัวใจอยู่ในระดับใต้กระดูกซี่โครงซี่ที่ 2 ส่วนยอดของหัวใจหรือเรียกว่า apex อยู่ในระดับช่องซี่โครงซี่ที่ 5 โดยเฉียงมาทางด้านซ้ายและชี้ไปทางด้านหน้าตรงกับเส้นกึ่งกลางกระดูกไหปลาร้าซึ่งตำแหน่งของ apex นี้อาจเปลี่ยนแปลงได้เล็กน้อยขณะหัวใจบีบตัวและคลายตัว ส่วนบริเวณฐานของหัวใจจะไม่เคลื่อนไหวเนื่องจากถูกยึดติดกับหลอดเลือดขนาดใหญ่ หัวใจทำหน้าที่บีบตัวดันเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายและคลายตัวให้เลือดที่ไหลไปเลี้ยงส่วนต่างๆ แล้วกลับเข้าสู่หัวใจ พร้อมกับส่งและรับเลือดไปที่ปอด เพื่อทำการแลกเปลี่ยนแก๊สออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ หัวใจทำหน้าที่เหมือนปั๊ม (pump) นั่นเอง

เราสามารถแบ่งหัวใจออกตามลักษณะ (กายวิภาค) และตามหน้าที่ได้ ดังนี้

1.1 เยื่อหุ้มหัวใจ

เป็นเยื่อบางๆ ใสๆ ห่อหุ้มหัวใจไว้ เป็นสาเหตุของโรคบางชนิด เช่น เยื่อหุ้มหัวใจอักเสบ ติดเชื้อ มะเร็งแพร่กระจาย มายังเยื่อหุ้มหัวใจ เป็นต้น เยื่อหุ้มหัวใจเป็นอวัยวะที่สำคัญแต่ไม่จำเป็นถึงชีวิต ในกรณีที่เป็นโรค เราอาจทำการผ่าตัดเลาะ เยื่อหุ้มหัวใจทิ้งได้

1.2 หลอดเลือดหัวใจ

จะอยู่บริเวณภายนอกหัวใจ (เยื่อหุ้มหัวใจ) ส่งแขนงเล็กๆลงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจ หลอดเลือดหัวใจมีเส้นใหญ่ๆ อยู่ 2 เส้น คือ ขวา (right coronary artery) เลี้ยงหัวใจด้านขวา และซ้าย (left coronary artery) เลี้ยงหัวใจด้านซ้ายเป็นส่วนใหญ่ ด้านซ้ายจะแตกแขนงใหญ่ๆ 2 แขนง คือ left anterior descending artery และ left circumflex artery ซึ่งจะมีแขนงเล็กๆ อีกมากมาย



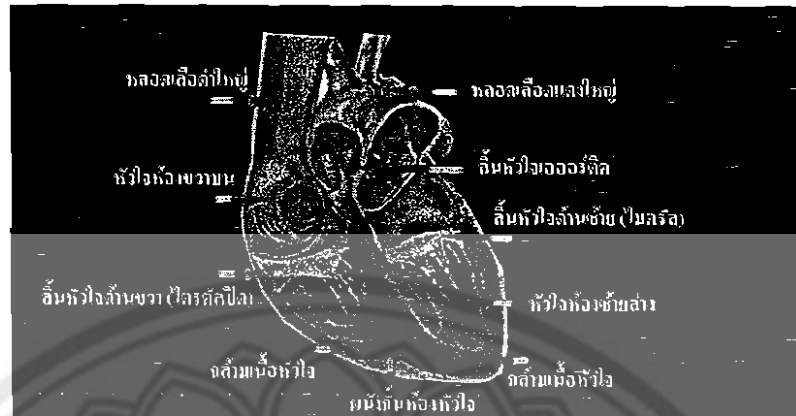
ภาพ 2 แสดงลักษณะของหลอดเลือดหัวใจ

1.3 กล้ามเนื้อหัวใจ

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการบีบตัวไล่เลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย และขยายตัวเพื่อรับเลือดกลับเข้าสู่หัวใจ จึงเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างมาก หากกล้ามเนื้อหัวใจบีบตัวหรือคลายตัวผิดปกติแล้ว ก็จะทำให้เกิดปัญหาต่างๆตามมา ซึ่งส่วนมากอาจไม่สามารถแก้ไขให้กลับเป็นปกติได้ การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจต้องอาศัยพลังงานที่ได้จากสารอาหารที่ถูกนำมาโดย หลอดเลือดหัวใจ ดังนั้นโรคของหลอดเลือดหัวใจจึงมีผลต่อกล้ามเนื้อหัวใจ โดยตรง

1.4 ลิ้นหัวใจ และ ผนังกันห้องหัวใจ

หัวใจคนเรามี 4 ห้องแบ่ง ซ้าย-ขวา โดยผนังของกล้ามเนื้อหัวใจ และแบ่งห้อง บน-ล่าง โดยลิ้นหัวใจ เลือดระหว่างห้องซ้าย-ขวาจึงไม่ปะปนกัน ในบางครั้งการสร้างผนังกันห้องหัวใจไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นรูโหว่ขึ้นได้ เป็นชนิดหนึ่งของโรคหัวใจพิการแต่กำเนิด ลิ้นหัวใจทำหน้าที่ให้เลือดไหลผ่านและไม่ไหลย้อนกลับ ดังนั้นหากลิ้นหัวใจผิดปกติ เช่น ตีบ ฉีกขาด ปิดไม่สนิท(รั่ว) ก็ย่อมทำให้เกิดโรคต่างๆขึ้น โรคลิ้นหัวใจที่เป็นปัญหามากที่สุดคือลิ้นหัวใจพิการรูมาติค ซึ่งเป็นผลจากการติดเชื้อคอคอกัสเสบ



ภาพ 3 แสดงลักษณะของลิ้นหัวใจ

2. คุณสมบัติการทำงานของหัวใจ

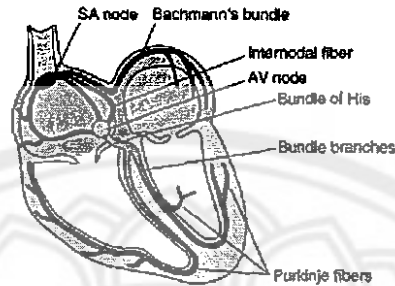
หัวใจมีคุณสมบัติหลายอย่างซึ่งเป็นลักษณะพิเศษดังต่อไปนี้

2.1 กล้ามเนื้อหัวใจสามารถทำงานได้ด้วยตนเอง (Automatically) เนื่องจากมีศักยภาพการทำงาน (Action Potential)

2.2 การทำงานมีความต่อเนื่อง (Continuous) คุณสมบัติเช่นนี้เป็นลักษณะธรรมชาติของกล้ามเนื้อหัวใจ การบีบตัวของหัวใจเรียกว่าซิสโตล (Systole) และการคลายตัวเรียกว่า ไดแอสโตล (Diastole) แล้วตามด้วยระยะพัก การทำงานครบวงจร เช่นนี้เรียกว่า วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac Cycle)

2.3 มีสภาพนำ (Conductivity) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่มีคุณสมบัติอยู่ระหว่างคุณสมบัติของกล้ามเนื้อและประสาท ทำหน้าที่นำคำสั่งไปยังส่วนต่างๆ ของหัวใจ เพื่อให้การทำงานเป็นจังหวะและพร้อมเพรียงกัน ถึงแม้ว่ากล้ามเนื้อหัวใจจะทำงานได้เอง แต่ในร่างกายจะต้องมีระบบสื่อ นำเป็นตัวเริ่มทำให้เกิดพลังประสาท ดังแสดงในภาพ 4 ระบบสื่อ นำที่กล่าวนี้ ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์อยู่ที่บริเวณหัวใจห้องบนขวา (Right Atrium) ใกล้กับรูเปิดของหลอดเลือดซูปรีเวนาคาวา (Superior Vena Cava) เรียกว่า ซิโน-เอเทรียลโนด (Sinoatrial Node: SA Node) ทำหน้าที่สร้างคลื่นไฟฟ้ากระตุ้นเพื่อให้เกิดการบีบตัวของหัวใจห้องบนและนำคลื่นไฟฟ้าส่งต่อไปยังกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle) เรียกว่าเอเทรโอเวนตริคูลาร์โนด (Atrioventricular Node: AV Node) โดยที่กลุ่มเซลล์นี้มีส่วนของเนื้อเยื่อที่เรียกว่า บันเดิลออฟฮิส (Bundle of His) และส่วนของเส้นใยพิเศษเรียกว่า เพอร์คินจ์ (Purkinje Fibers) ทำหน้าที่เป็นสื่อ นำสัญญาณจากกลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาผ่านไปยังกล้ามเนื้อหัวใจห้อง

ล่าง ระบบื่อนำตั้งแต่กลุ่มเซลล์ที่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องล่างขวาลงมาเรียกว่า ระบบเพอร์คินจ์ (Purkinje' s System)



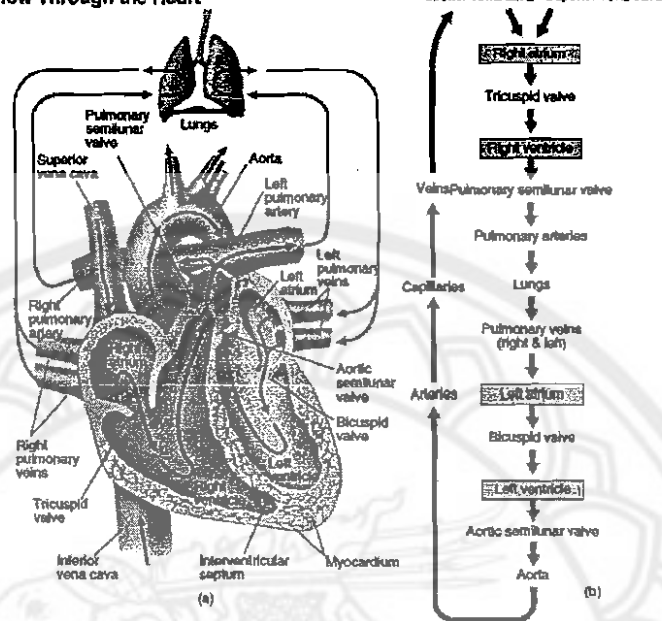
ภาพ 4 แสดงระบบื่อนำของหัวใจ

2.4 กล้ามเนื้อหัวใจมีระยะดื้อนาน ในระยะบีบตัวกล้ามเนื้อยังอยู่ในภาวะดีโพลาไรส์ (Depolarise) ซึ่งเป็นระยะแรกที่เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจถูกกระตุ้นและรีโพลาไรส์ (Repolarise) เป็นช่วงที่กลับคืนสู่สภาวะปกติ จึงยังไม่สนองต่อการกระตุ้นระยะนี้เรียกว่า ระยะแอบโซลูทรีแฟรคทอรี (Absolute Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.25 วินาที แต่ต่อมาในระยะต้นของการคลายตัวนั้น กล้ามเนื้อหัวใจมีการสนองต่อการกระตุ้น (Excitability) มากขึ้น แต่ก็ยังดื้ออยู่ ต้องทำการกระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่แรงมากพอจึงสามารถตอบสนองได้เรียกระยะนี้ว่าระยะรีเลทีฟรีแฟรคทอรี (Relative Refractory Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 0.05 วินาที

3. ลักษณะการทำงานเชิงกลของหัวใจ (Mechanical Operation of Heart)

ในการทำงานเลือดดำจากส่วนต่างๆ ของร่างกายจะไหลกลับเข้าสู่หัวใจผ่านหลอดเลือดดำอินฟีเรียร์เวนาคาวา (Inferior Vena Cava) และซูปีเรียร์เวนาคาวา เข้าสู่หัวใจห้องบนขวา (Right Atrial, RA) จากนั้นหัวใจห้องบนขวาจะบีบตัวส่งเลือดให้ไหลลงสู่หัวใจห้องล่างขวา (Right Ventricle, RV) และถูกฉีดออกไปสู่ออดเพื่อทำการรับออกซิเจนให้เปลี่ยนเป็นเลือดดี แล้วส่งกลับเข้ามายังหัวใจห้องบนซ้าย (Left Atrial, LA) ทางหลอดเลือดแดงพัลโมนารีเวน (Pulmonary Vein) และไหลผ่านลงสู่หัวใจห้องล่างซ้าย (Left Ventricle, LV) โดยการบีบตัวของหัวใจห้องบนซ้าย ต่อจากนั้นเลือดแดงจะถูกฉีดไปเลี้ยงร่างกายผ่านทางเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta) ดังแสดงในภาพ 5

► Blood Flow Through the Heart



ภาพ 5 แสดงลักษณะการทำงานเชิงกลของหัวใจ

การทำงานของหัวใจแบ่งได้เป็นช่วงจังหวะต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 ช่วงที่การบีบตัวส่งเลือดออกไปของหัวใจสิ้นสุดลง และกำลังรอจังหวะการบีบตัวครั้งต่อไป ช่วงนี้เป็นช่วงที่เลือดไหลเข้าสู่หัวใจ สภาพหัวใจขณะนี้จะถือว่าเป็นสภาวะพัก (Resting State) ของหัวใจ

3.2 เป็นช่วงที่เกิดขึ้นหลังจากระยะพักเสร็จสิ้นลง ในช่วงนี้หัวใจห้องบน (Atrial) เริ่มหดตัว ทำให้ความดันภายในหัวใจห้องบนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และด้วยความดันนี้จะทำให้เลือดไหลจากหัวใจห้องบนเข้าสู่หัวใจห้องล่าง (Ventricle)

3.3 เมื่อความดันในหัวใจห้องล่าง เพิ่มขึ้นจะทำให้ลิ้น (valve) ที่กั้นระหว่างหัวใจห้องบนกับห้องล่างทั้งด้านขวา (Tricuspid Valve) และ ด้านซ้าย (Mitral Valve) ปิด ดังนั้นปริมาตรของหัวใจห้องล่างจะไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่หัวใจห้องล่างเริ่มหดตัวนั้นความดันในเส้นเลือดดำจากหัวใจห้องบนขวา (Pulmonary Artery) เท่ากับ 7 มิลลิเมตรปรอท ขณะที่ในเส้นเลือดแดงใหญ่ซึ่งนำเลือดจากหัวใจห้องล่างซ้ายส่งไปยังร่างกายมีความดันเท่ากับ 80 มิลลิเมตรปรอท ลิ้นปิด-เปิดของเส้นเลือดแดงใหญ่ (Aorta Valve) และเส้นเลือดดำใหญ่ (Pulmonary Valve) จะปิดอยู่จนกระทั่งความดันเพิ่มขึ้นจนเพียงพอ

3.4 เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างซ้ายเพิ่มขึ้นจนมากกว่าความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่ ลิ้นหัวใจของเส้นเลือดแดงใหญ่จะเปิด และหัวใจห้องล่างซ้ายจะสูบฉีดเลือดผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่ เข้าสู่ระบบไปเลี้ยงร่างกาย ความดันจะขึ้นถึงจุดสูงสุดประมาณ 125 มิลลิเมตรปรอท หลังจากเลือดส่วนใหญ่ถูกขับออกไปสู่ร่างกายแล้ว กล้ามเนื้อของหัวใจห้องล่างซ้ายจะหดลง ความดันในหัวใจห้องล่างและในเส้นเลือดแดงใหญ่จะเริ่มตกลง

3.5 เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงจนถึงค่าหนึ่ง ความดันในเส้นเลือดแดงใหญ่และเส้นเลือดดำใหญ่จะมากกว่าความดันในห้องหัวใจ (Chambers) ลิ้นปิด-เปิดของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำจะปิด ที่จุดนี้การสูบฉีดเลือดออกจากหัวใจจะหยุดลงขณะที่หัวใจห้องล่างกำลังพองตัว ความดันจะยังคงตกลงเรื่อยๆ

3.6 เมื่อความดันในหัวใจห้องล่างตกลงต่ำกว่าความดันในหัวใจห้องบน ลิ้นหัวใจจะเปิดและเลือดจะเริ่มไหลเข้าสู่หัวใจห้องล่าง อย่างรวดเร็ว และจะช้าลงเมื่อหัวใจห้องล่างเริ่มเพิ่มขนาดขึ้นสูงสุดขณะนี้ในช่วงของ ระยะพักของหัวใจ ดังที่กล่าวไว้ในข้อ (3.1) และครบวงจรการเต้นของหัวใจ วงจรต่อไปก็จะเริ่มใหม่อีก

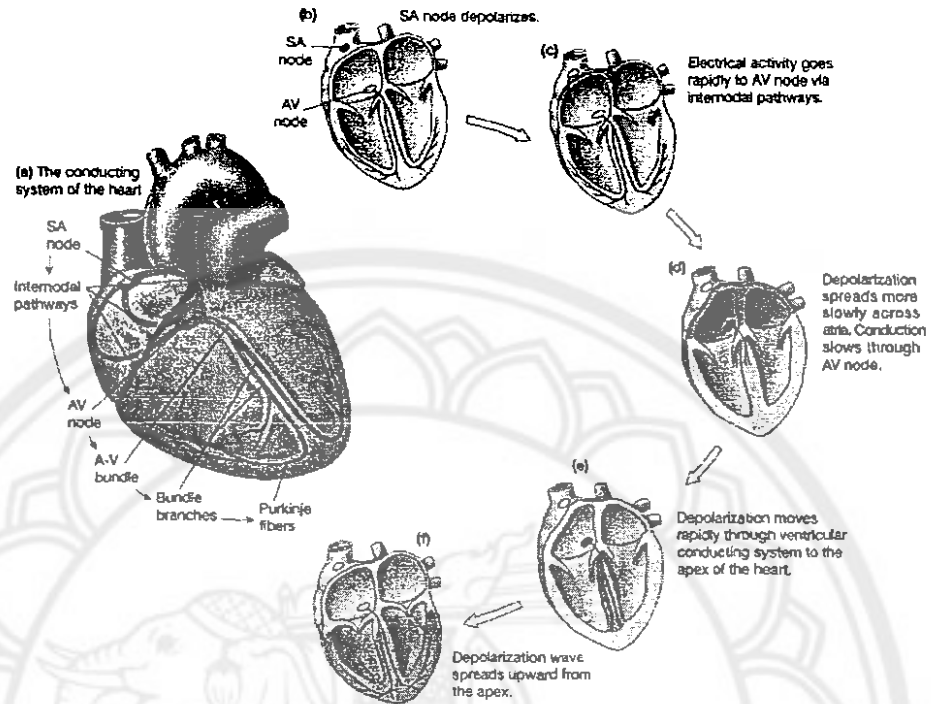
4. วงจรการทำงานของหัวใจ (Cardiac cycle)

วงจรการทำงานของหัวใจคือ การที่หัวใจบีบตัว (systole) 1 ครั้ง และคลายตัว (diastole) 1 ครั้ง เท่ากับ 1 รอบการทำงานของหัวใจ ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ

4.1 Atrial systole เมื่อศักย์ไฟฟ้าเกิดขึ้นที่ SA node กระจายมาถึง atrium ทั้ง 2 ข้าง จะส่งผลให้เกิด atrial depolarization และการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้ง 2 ข้าง ซึ่งช่วงนี้ถ้าวัด ECG จะได้รูปเป็น P-wave และได้ยินเสียงหัวใจเสียงที่ 4

4.2 Ventricular systole ศักย์ไฟฟ้าจาก SA node จะวิ่งผ่าน AV node, bundle of His Purkinje cell และ ventricular cell ส่งผลให้ ventricular depolarization และมีการหดตัวของหัวใจ ห้องล่างทั้ง 2 ห้อง ระยะนี้มีการทำงานของหัวใจซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ Isovolumetric contraction, rapid ejection และ reduced ejection ซึ่งจะตรงกับ ECG ช่วง QRS wave และได้ยินเสียงของหัวใจเสียงที่ 1 และ 2 ซึ่งเป็นเสียงของ A-V valve และ Pulmonary valve ปิดตามลำดับ ช่วงนี้หัวใจห้องบนก็เกิดการคลายตัวด้วย

4.3 Ventricular diastole เป็นช่วงหัวใจห้องล่างคลายตัว ประกอบด้วย 3 ช่วง คือ isovolumetric relaxation, rapid filling และ reduced filling ซึ่งจะตรงกับ T-wave และได้ยินเสียงหัวใจเสียงที่ 3



ภาพ 6 แสดงวัฏจักรการทำงานของหัวใจ

5. คลื่นไฟฟ้าหัวใจ

สัญญาณไฟฟ้าหัวใจเกิดจากการทำงานของหัวใจ ซึ่งมีเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้ออยู่พิจารณาหัวใจเป็นเสมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งบรรจุอยู่ในก้อนตัวนำคือร่างกาย ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะกระจายออกจากขั้วบวกไปตามส่วนต่างๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายและเข้าที่ขั้วลบสามารถวัดศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมระหว่างจุดใดๆ ที่อยู่บนผิวหนังของร่างกายได้ ศักย์ไฟฟ้าจากหัวใจที่วัดได้ระหว่างจุดต่างๆ จะไม่เหมือนกันขึ้นอยู่กับมุมและระยะทางของตำแหน่งที่วัดกระทำต่อแกนหัวใจ ศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้นี้เรียกว่า คลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) หรือ ECG

5.1 การเกิดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

พิจารณาการเกิดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เริ่มจาก SA node (Sinoatrial node) มีตำแหน่งอยู่บริเวณส่วนบนของหัวใจห้องบนขวา SA node นี้เป็นเสมือนวงจรสร้างคลื่นไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์คือ จะเกิดคลื่นไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่อง สำหรับผู้ใหญ่ในขณะที่พักผ่อนจะให้อัตราประมาณ 70 ครั้งต่อนาที คลื่นไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจาก SA node จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามสิ่งเร้าภายนอก เช่นถ้ามีการตกใจ SA node ก็จะทำให้อัตราของคลื่นไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็นต้น คลื่นไฟฟ้าที่เกิด

จาก SA node นี้จะแผ่ผ่านเส้นประสาทของหัวใจจากส่วนบนลงไปยังส่วนล่าง เมื่อคลื่นไฟฟ้าแผ่ออกรอบๆ SA node ผ่านกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนก็จะทำให้เกิดการบีบตัวของหัวใจส่วนบนและคลื่นไฟฟ้าจะส่งมาที่ AV node (Atrioventricular node) แล้วส่งผ่านไปตาม Bundle of His Perkinje Fibers และในที่สุดมาถึงกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทำให้หัวใจห้องล่างบีบตัว ช่วงเวลาที่ใช้ในการส่งผ่านคลื่นจาก SA node ถึง AV node เรียกว่า Atrioventricular conduction time โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 0.12 – 0.22 วินาที

เมื่อ SA node อยู่ที่บริเวณสูงสุดทางขวาของหัวใจ การกระตุ้นหัวใจห้องบนของ SA node จึงแผ่ส่งสู่ข้างล่างและบางส่วนแผ่ไปทางซ้าย หัวใจห้องบนมีโครงสร้างของผนังที่บางกว่าและมีมวลของกล้ามเนื้อน้อยกว่า จึงทำให้การแผ่ทางคลื่นไฟฟ้าที่เกิดจากดีโพลาไรเซชันของมัน ปรากฏเพียงเล็กน้อย ทิศทางการแผ่ทางไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้งหมดจะพุ่งลงล่างเยื้องไปทางซ้าย โดยปกติจะมีทิศทางเข้าสู่ขั้วบวกทั้ง Lead I และ aVF แต่ปริมาณทางคลื่นไฟฟ้าทั้งหมดจะมีค่าไม่มากนัก เพราะวากกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนมวลน้อย ดังนั้นคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับจะมีการเบี่ยงเบนขึ้นบนเพียงเล็กน้อย ซึ่งได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่าคลื่น P (P wave)

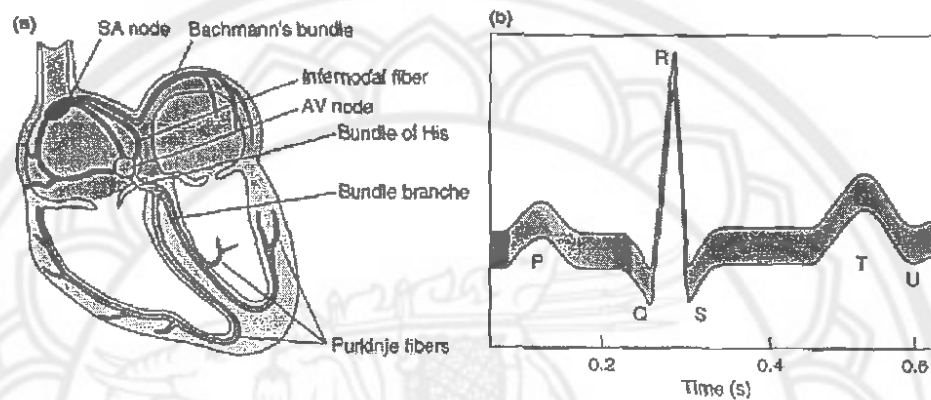
ต่อมาเมื่อคลื่นของดีโพลาไรส์มาถึง AV Node จะมีการหน่วงเวลา ระหว่างช่วงเวลานี้ ปรากฏการณ์ทางคลื่นไฟฟ้าจากหัวใจห้องบนเคลื่อนผ่าน AV Node ช้ามาก และจากนั้นจะเข้าสู่ระบบสื่อนำของหัวใจห้องล่าง (Ventricular conduction system) ได้แก่ Common bundle of His และ Bundles branches ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างของ Common bundle of His มีขนาดเล็กจึงไม่สามารถมองเห็นการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าได้

เมื่อคลื่นไฟฟ้าของดีโพลาไรส์ผ่าน AV Node , His bundle และช่วงต้นๆ ของ Bundle branches ไปแล้ว ช่วงแรกของดีโพลาไรส์ของหัวใจห้องล่างเกิดขึ้นที่กล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังร่วมของหัวใจห้องซ้ายและขวาซึ่งอยู่ภายในหัวใจ ทิศทางของคลื่นไฟฟ้ามีทิศทางจากซ้ายไปขวาและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับดีโพลาไรส์ ที่เกิดจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนที่เป็นผนังอิสระด้านนอก จากการตรวจหาคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิวหนังปรากฏว่า ที่ Lead I คลื่นไฟฟ้ามีการเบี่ยงเบนลงล่างเล็กน้อยได้รูปคลื่นไฟฟ้าหัวใจเรียกว่า คลื่น Q (Q wave) ส่วนที่ Lead aVF มีการเบี่ยงเบนขึ้นเล็กน้อย

จากนั้นดีโพลาไรส์จะแผ่ไปตามระบบสื่อนำของหัวใจในที่สุดก็ถึงกล้ามเนื้อหัวใจที่เป็นผนังอิสระทั้งห้องซ้ายและขวา โดยทั่วไปดีโพลาไรส์ของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างทั้งสองจะเกิดขึ้นพร้อมกัน หัวใจห้องล่างซ้ายซึ่งมีมวลมากกว่าจึงมีการกระทำทางไฟฟ้ามากกว่า ดังนั้นผลรวมทางคลื่นไฟฟ้าจึงมีทิศทางลงล่างเยื้องไปทางซ้ายและเนื่องจากกล้ามเนื้อหัวใจส่วนนี้มีมวลมากทำให้ได้

รับคลื่นไฟฟ้าเบี่ยงเบนขึ้นบนได้มากทั้งใน Lead I และ aVF ได้รูปคลื่นไฟฟ้าเรียกว่า คลื่น R (R Wave)

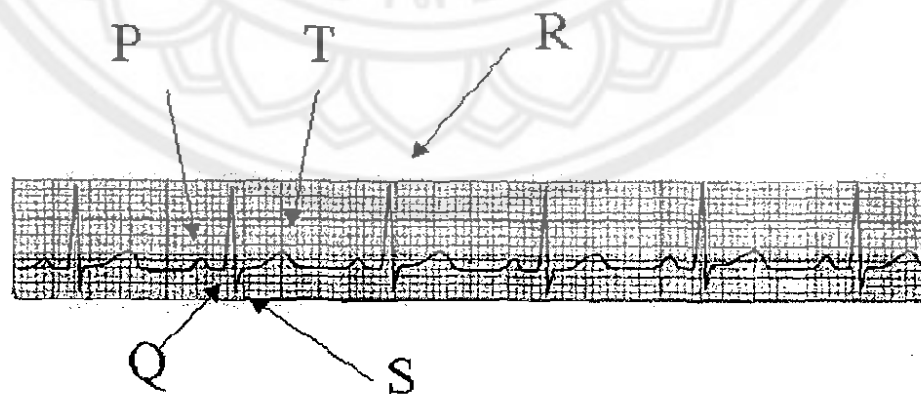
ดีโพลาไรส์ยังคงแผ่ต่อไปในส่วนที่เหลือของหัวใจห้องล่างทั้งสองข้างบริเวณสุดท้ายที่จะมีปฏิกิริยาก็คือตำแหน่งสูงสุดของผนังหัวใจอิสระห้องล่างซ้ายหรือบริเวณที่โหดใหญ่จากหัวใจห้องล่างขวา



ภาพ 7 แสดงระบบสื่อ นำให้เกิดคลื่นไฟฟ้าของหัวใจ

5.2 รูปร่างลักษณะของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

ลักษณะของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ปกติแสดงได้ดังภาพ 8 ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้ จะเริ่มตั้งแต่ก่อนการบีบตัวของหัวใจจนกระทั่งมีการคลายตัวในแต่ละครั้ง ดังนั้นจึงเกิดสัญญาณขึ้นเป็นจังหวะโดยมีความถี่เท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจ



ภาพ 8 แสดงรายละเอียดของคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่เป็นปกติ

ภาพคลื่นไฟฟ้าหัวใจในแต่ละจังหวะประกอบด้วยคลื่นไฟฟ้าย่อย 3 คลื่นคือ

1. ช่วงคลื่น P เป็นผลรวมทางไฟฟ้าขบวนการดีโพลาร์ไรส์ที่เกิดขึ้นที่หัวใจห้องบนทั้งซ้ายและขวา ซึ่งเกิดก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการบีบตัว

2. ช่วงคลื่น QRS เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาร์ไรส์ของหัวใจห้องล่างด้านซ้ายและขวาซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองข้างจะมีการบีบตัว โดยที่ขนาดของคลื่นสัญญาณ R สำหรับการทำการงานปกติของหัวใจมีค่าประมาณ 1 มิลลิโวลต์

3. ช่วงคลื่น T เป็นผลรวมทางไฟฟ้าจากขบวนการดีโพลาร์ไรส์ของหัวใจห้องล่างด้านซ้ายและขวาซึ่งเกิดขึ้นก่อนที่หัวใจทั้งสองห้องจะมีการคลายตัว โดยขนาดของสัญญาณ T มีค่าประมาณ $1/3$ ของขนาดของสัญญาณ R

สำหรับขบวนการรีโพลาร์ไรส์ของหัวใจห้องบน อาจเกิดขึ้นในช่วงระหว่างที่หัวใจห้องล่างมีการบีบตัว แต่ค่าขนาดจะไม่ปรากฏเนื่องจากค่าของสัญญาณช่วงคลื่น QRS มีค่ามากกว่า

5.3 การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจ

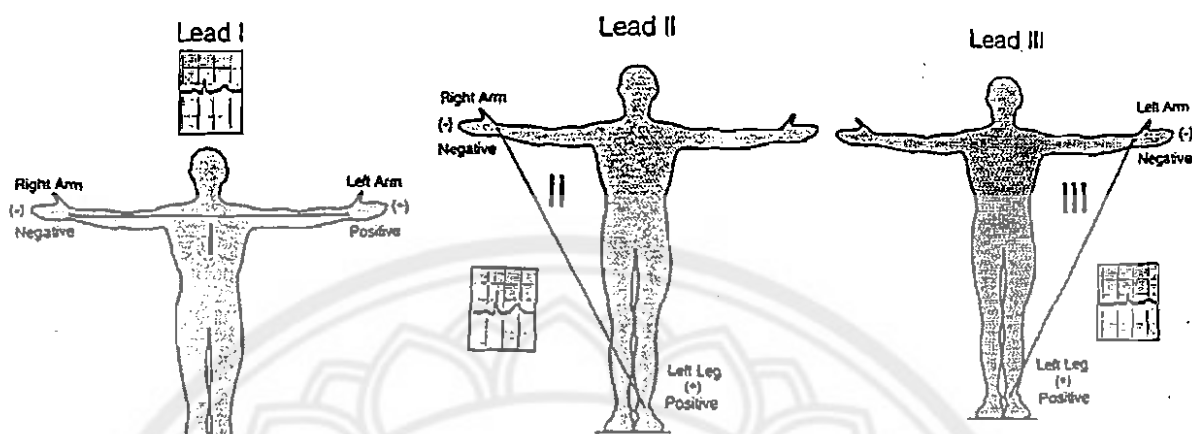
การวัดสัญญาณคลื่นไฟฟ้าหัวใจมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

5.3.1 Bipolar recording เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจ โดยการติดขั้วบันทึกซึ่งเป็น active หรือ exploring electrode 2 ขั้วบนแขนหรือขาที่ต้องการบันทึก คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้เรียกว่า bipolar limb lead หรือ standard limb lead ซึ่งประกอบด้วย Lead I, II และ III โดยมีขั้วบันทึกในตำแหน่งต่างๆ ดังนี้

Lead I เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจระหว่างแขนขวากับแขนซ้าย โดยมีขั้วลบอยู่แขนขวาและขั้วบวกอยู่แขนซ้าย

Lead II เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจระหว่างแขนขวากับขาซ้าย โดยมีขั้วลบอยู่แขนขวาและขั้วบวกอยู่ขาซ้าย

Lead III เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจระหว่างแขนซ้ายกับขาซ้าย โดยมีขั้วลบอยู่แขนซ้ายและขั้วบวกอยู่ขาซ้าย



ภาพ 9 Bipolar recording

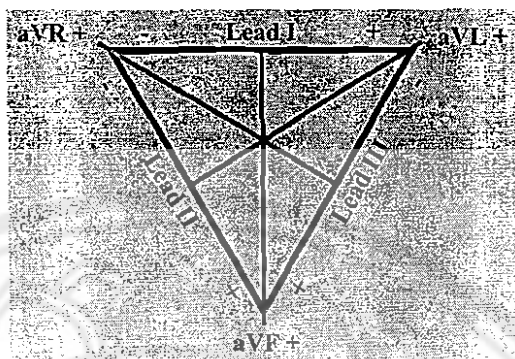
5.3.2 Unipolar recording เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจโดยขั้วบันทึกซึ่งเป็น active หรือ exploring electrode (ขั้วบวก) วางลงบนบริเวณที่ต้องการบันทึก ส่วนอีกขั้วหนึ่ง (ขั้วลบ) ต่อกับ indifference electrode คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่บันทึกได้เรียกว่า unipolar lead ซึ่งประกอบด้วย 3 unipolar limb lead และ 6 unipolar chest lead ซึ่งมีตำแหน่งบันทึกต่างๆ ดังนี้

5.3.2.1 Unipolar limb lead มี 3 lead คือ

- aVR (Augment voltage right) เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจ บริเวณแขนขวาโดยวาง exploring electrode บริเวณแขนขวา ส่วน indifference electrode ต่อกับ แขนซ้ายและขาซ้าย

- aVL (Augment voltage left) เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของ หัวใจ บริเวณแขนซ้ายโดยวาง exploring electrode บริเวณแขนซ้าย ส่วน indifference electrode ต่อกับ แขนขวาและขาซ้าย

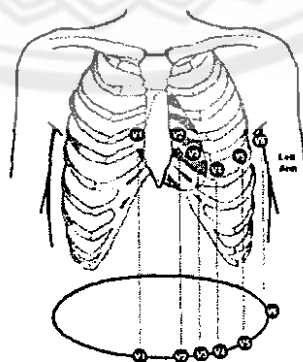
- aVF (Augment voltage foot) เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจ บริเวณขาซ้ายโดยวาง exploring electrode บริเวณขาซ้าย ส่วน indifference electrode ต่อกับ แขนขวาและแขนซ้าย



ภาพ 10 Unipolar limb lead

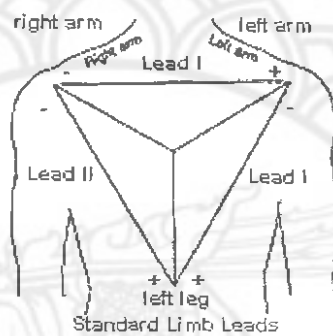
5.3.2.2 Unipolar chest lead เป็นการบันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจใน ส่วนต่างๆ ในแนวตัดขวาง (horizontal plane) ในระดับหัวใจกลางหัวใจซึ่งอยู่ประมาณระดับ AV node โดยต่อขั้วลบเข้ากับ neutral reference lead ซึ่งเกิดจากการต่อ limb lead ทั้ง 3 lead เข้าด้วยกัน ส่วนขั้วบวกหรือ exploring electrode จะติดกับบริเวณต่างๆ บนผนังทรวงอกซึ่งสามารถ บันทึกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าของหัวใจในส่วนต่างๆ ได้ unipolar chest lead มี 6 lead คือ

- V₁ บริเวณ intercostal space ที่ 4 ติดขอบ sternum ด้านขวา
- V₂ บริเวณ intercostal space ที่ 4 ติดขอบ sternum ด้านซ้าย
- V₃ บริเวณกึ่งกลางระหว่าง V₂ กับ V₄
- V₄ บริเวณ intercostal space ที่ 5 ติดกับ left mid clavicular line
- V₅ บริเวณ left anterior axillary line ระดับเดียวกับ V₄
- V₆ บริเวณ left mid axillary line ระดับเดียวกับ V₄

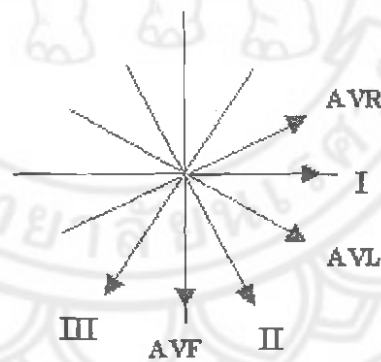


ภาพ 11 unipolar chest lead

ใน standard limb lead เป็นการบันทึกในแนว frontal plane สามารถนำทิศทางและแนวแรงของ lead I lead II และ lead III มาเขียนเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าเรียกว่า Einthoven's triangle ดังภาพ ซึ่งตาม Einthoven's law ขนาดของแนวแรงใน lead II จะเท่ากับ lead I + III และแนวแรงของ standard limb lead ทั้งหมดสามารถนำมาเขียนเป็น hexaxial system ได้ทั้ง Einthoven's triangle และ hexaxial system มีประโยชน์ในการหาแกนไฟฟ้าของหัวใจ (mean electrical axis)



ภาพ 12 Einthoven's triangle

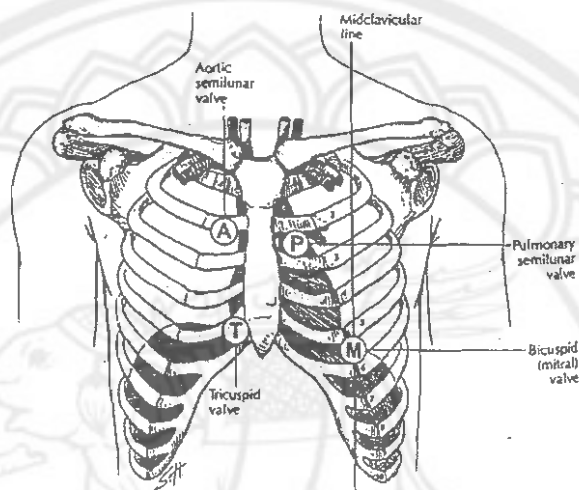


ภาพ 13 Einthoven hexaxial system

6. เสียงหัวใจ

เลือดที่ผ่านไปมาในหัวใจต้องมีการกระทบกับโครงสร้าง ที่อยู่รอบๆ เช่น ผนังห้องหัวใจ ลิ้นหัวใจ หรือหลอดเลือดที่ต่อจากหัวใจ เป็นต้น แรงสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบางครั้งอาจส่งต่อขึ้นมาถึงผนังทรวงอก ทำให้ได้ยินเป็นเสียงได้ นอกจากนี้การเพิ่มหรือลดความเร็วเลือดอย่างฉับพลัน จะทำให้มี turbulent flow เกิดเป็นเสียงได้เช่นกัน เสียงที่เกิดจากการทำงานของหัวใจ เรียกว่า เสียง

หัวใจ (Heart sound) ปกติอาจได้ยินเสียงหัวใจโดยใช้หูฟัง (stethoscope) หรือโดย phonocardiography คือ ใช้ microphone และเครื่องขยายเสียง กราฟของ heart sound ในภาพ 15 เป็น Phonocardiogram ซึ่งในภาวะปกติจะแยกได้ 4 เสียงดังนี้



ภาพ 14 ตำแหน่งที่สามารถฟังเสียงหัวใจต่างๆ ได้ชัดเจน



ภาพ 15 แสดงลักษณะของสัญญาณเสียงหัวใจ

6.1 เสียงหนึ่ง (first heart sound , S₁)

เสียงหนึ่งเกิดร่วมกับการปิดของ A-V valve และใช้เป็นเครื่องหมายอันหนึ่งของการเริ่มระยะ systole เสียงนี้เป็นเสียงความถี่ต่ำ (เสียงทุ้ม) และได้ยินอยู่นานกว่าเสียงสอง เสียงหนึ่งมิได้เกิดจากการที่ส่วนของลิ้นหัวใจมากระทบกันจนเกิดการสั่นสะเทือน แต่เกิดจาก ventricle หดตัวดันเลือดไปกระทบ A-V valve ให้ยื่นเข้าไปใน atrium chordae tendinae ที่ยึดลิ้นหัวใจไว้จะทำให้ลิ้นหัวใจหยุดเคลื่อนเข้าไปด้าน atrium โดยทันที เลือดจึงสะท้อนกลับจากลิ้นหัวใจไปกระทบผนัง

ventricle กลับไปกลับมา เกิดเป็นแรงสั่นสะเทือนขึ้น ดังนั้นถ้า ventricle หดตัวแรงหรือเร็ว จะทำให้การสั่นสะเทือนเกิดแรงขึ้น เสียงหนึ่งจะดังขึ้น ในบางภาวะอาจได้ยินเสียงหนึ่งเป็น เสียง 2 ได้ แต่ปกติจะฟังเสียงแยกกันไม่ชัด

6.2 เสียงสอง (second heart sound , S_2)

เสียงสอง เกิดร่วมกับการปิดของ semilunar valve และการสิ้นสุดระยะ systole เกิดจากการสั่นสะเทือนของเลือดที่สะท้อนไปมาระหว่างลิ้นหัวใจและผนังของ aorta กับ pulmonary artery เป็นส่วนใหญ่ เสียงสองจะมีระดับเสียงสูงกว่าและระยะเวลาที่เกิดเสียงสั้นกว่าเสียงหนึ่ง ในคนส่วนใหญ่สามารถฟังเสียงสองแยกได้เป็น 2 เสียง เรียกการฟังเสียงสองได้แยกกันว่า physiologic splitting of the second heart sound ถ้าหายใจเข้าจะทำให้เสียงสองแยกกันชัดเจนยิ่งขึ้น เพราะการหายใจเข้าทำให้เลือดกลับเข้าสู่ right atrium และ ventricle ได้มากขึ้น ในทางตรงข้ามขณะหายใจออกจะได้ยินเสียงสองแยกกันไม่ชัดเจน

ในคนปกติการฟังโดย stethoscope จะได้ยินเพียงเสียงหนึ่งและเสียงสองเท่านั้นระยะเวลาระหว่างเสียงหนึ่งถึงเสียงสองคือระยะ systole ระยะระหว่างเสียงสองถึงเสียงหนึ่งคือ diastole ในคนที่อัตราการเต้นของหัวใจปกติ ระยะ diastole จะนานกว่าระยะ systole

6.3 เสียงสาม (third heart sound , S_3)

เสียงสามนี้อาจได้ยินโดยใช้ stethoscope ฟังในคนหนุ่มสาวปกติ แต่ถ้าได้ยินในคนอายุมากกว่า 40 ปี ถือเป็นผิดปกติ เช่น มีไข้ หรือภาวะหัวใจวาย เป็นต้น เสียงสามมีความถี่ต่ำมาก

6.4 เสียงสี่ (fourth heart sound , S_4)

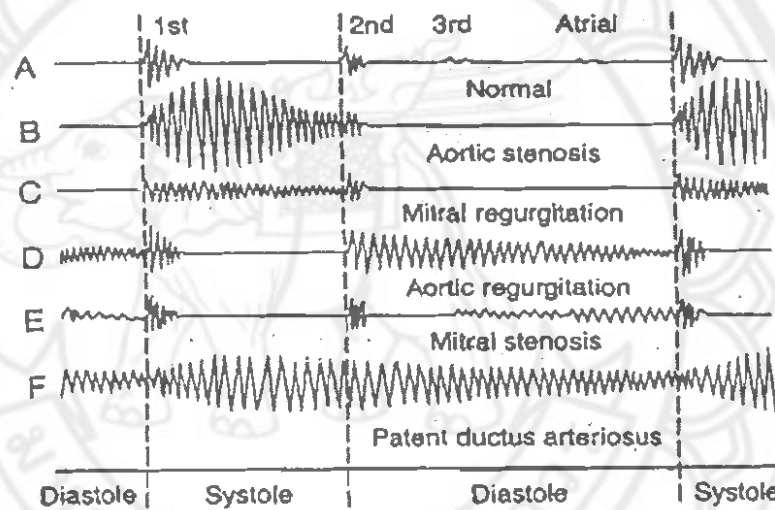
เกิดพร้อมกับการบีบตัวของ atrium ทำให้เลือดไหลเข้ามาอย่างรวดเร็วใน ventricle เสียงนี้มีความถี่ต่ำเช่นกัน และในภาวะปกติจะไม่สามารถได้ยินโดยใช้ stethoscope

6.5 Cardiac Murmurs

Cardiac Murmurs คือ เสียงที่ผิดปกติซึ่งเกิดจากมีการรบกวนการไหลเวียนของเลือด อาจเกิดจากการอุดตันของทางเดินของเลือด ทำให้การไหลของเลือดไม่สะดวก หรืออัตราการไหลเร็วขึ้น ทำให้เกิดกระแสไหลวน (turbulent flow) ซึ่งเรียกเสียงที่เกิดขึ้นนี้ว่า murmurs สาเหตุของความผิดปกตินี้ส่วนใหญ่เกิดจากความผิดปกติของลิ้นหัวใจ หรืออาจเกิดจากการรั่วของผนังลิ้น

หัวใจ ความผิดปกติของลิ้นหัวใจอาจเกิดจากการตีบแคบ (stenosis) ทำให้เลือดไหลผ่านไม่สะดวก หรือเกิดจากการปิดไม่สนิทของลิ้นหัวใจ (regurgitation หรือ insufficiency) ซึ่งโดยทั่วไปเรียกว่า ลิ้นหัวใจรั่ว ทำให้เลือดย้อนสู่ต้นทางได้ เสียง murmurs นี้ สามารถแบ่งตามระยะเวลาที่เกิดได้ดังนี้ คือ ถ้า murmurs เกิดขึ้นในช่วงหัวใจหดตัวเรียกว่า systolic murmurs ถ้า murmurs เกิดขึ้นในช่วงหัวใจคลายตัวเรียกว่า diastolic murmurs และ murmurs ที่ได้ยินตลอดเวลาทั้งในช่วงที่หัวใจหดตัวและคลายตัว เรียกว่า continuous murmurs

อาศัยวงจรการทำงานของหัวใจ ร่วมกับช่วงเวลาการเกิดของ murmurs สามารถบอก ตำแหน่งและชนิดความผิดปกติของลิ้นหัวใจได้ว่า มีการตีบหรือรั่วตามตารางที่ 1



ภาพ 16 Phonocardiogram ของหัวใจปกติ และผิดปกติ

ตาราง 1 แสดงความผิดปกติของลิ้นหัวใจและเสียง Murmurs ที่เกิดขึ้น

ลิ้นหัวใจ	ช่วงเวลาที่เกิดเสียง	ชนิดของความผิดปกติ
Aortic,Pulmonary valve	Systolic	Stenosis
	Diastolic	Regurgitation
Mitral,Tricuspid valve	Systolic	Regurgitation
	Diastolic	Stenosis