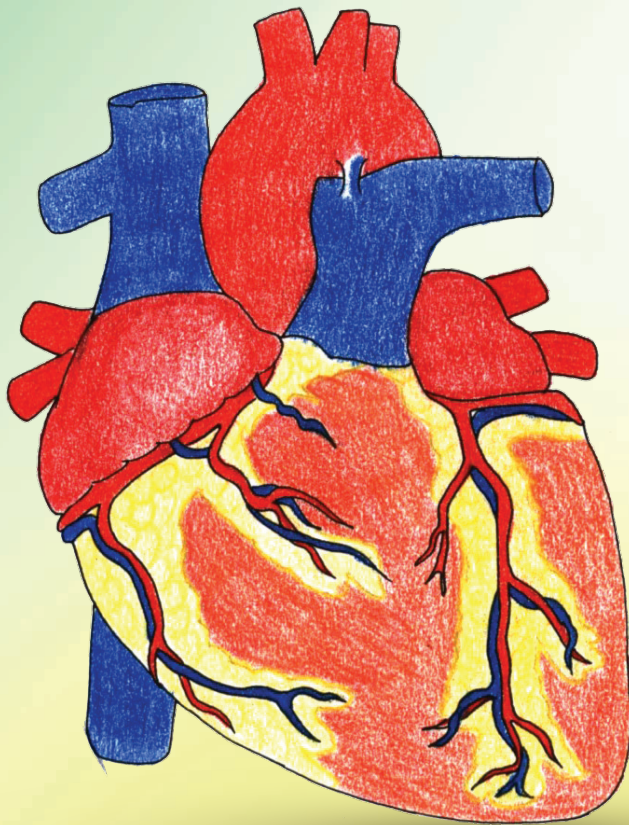




สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ระบบหัวใจและหลอดเลือด



คณะผู้เขียน
ศุภเกต แสันทวีสุข
อมรณัฐ กับเป็ย
ดร.อนงค์นาฏ จามจรียาวัตร
ดร.นันทิยา สมภาร
ดร.อัจฉราพร แก้วหมอ

บรรณาธิการ
ศุภเกต แสันทวีสุข

ระบบหัวใจและหลอดเลือด

Cardiovascular System

โครงการหนังสือวิชาการที่น่าพิมพ์ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ให้จัดพิมพ์และจำหน่ายในราคาเยียมเยา



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

ระบบหัวใจและหลอดเลือด

Cardiovascular System

คณะผู้เขียน

ศุภเกตต์ แสนทวีสุข

อมรณัฐ ทับเปีย

ดร.อนงค์นาฏ งามจริยาวัตร

ดร.นันทิยา สมภาร

ดร.อัจฉราพร แก้วหมอ

บรรณาธิการ

ศุภเกตต์ แสนทวีสุข

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2563

ระบบหัวใจและหลอดเลือด/ศุภเกต แสนทวิสุข... [และคนอื่นๆ]

1. การพัฒนาการ. 2. มหกายวิภาคศาสตร์. 3. จุลกายวิภาคศาสตร์. 4. สรีรวิทยา. 5. การรักษาด้วยยา.

WG100

ISBN 978-616-314-613-7

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-619-9

ลิขสิทธิ์ของ ศศ.ศุภเกต แสนทวิสุข ศศ.อมรณัฐ ทับเปีย

ศศ.ดร.อนงค์นาฏ งามจริยาวัตร ศศ.ดร.นันทิยา สมภาร

ดร.อัคราพร แก้วหมอ

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนกรกฎาคม 2563

จำนวน 20 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) สิงหาคม 2563

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://www.thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: unipress@tu.ac.th

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาพปก: ศศ.ศุภเกต แสนทวิสุข

แบบปก: ชนิสรา นานอม

ราคาเล่มละ 440.- บาท

สารบัญ

สารบัญตารางและรูป	(8)
คำนำ	(12)

บทที่ 1 การพัฒนาของระบบหัวใจและหลอดเลือด	1
บทนำ	2
1. การพัฒนาของหัวใจ	4
2. การพัฒนาของผนังกันหัวใจ	13
3. การพัฒนาลิ้นเอทรีโอเวนทริคูลาร์	17
4. การพัฒนาระบบการนำกระแสประสาทของหัวใจ	23
5. การพัฒนาหลอดเลือด	23
6. ระบบการไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์และทารกหลังคลอด	41
7. การเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดหลังคลอด	43
8. ระบบน้ำเหลือง	44
บทสรุป	44
คำถามท้ายบทและเฉลย	48
บรรณานุกรม	50

บทที่ 2 มหกายวิภาคศาสตร์ของหัวใจและหลอดเลือด	51
บทนำ	52
1. ทรวงอก	52
2. ช่องอก	53
3. เมดิแอสติเนียม	54
4. เยื่อหุ้มหัวใจ	56
5. หัวใจ	60
6. ลิ้นหัวใจ	66
7. โครงร่างของหัวใจ	67
8. บริเวณสำหรับฟังเสียงหัวใจ	68
9. ระบบนำไฟฟ้าหัวใจ	70
10. หลอดเลือดแดงที่เลี้ยงหัวใจ	72

11. หลอดเลือดดำของหัวใจ	76
12. ระบบน้ำเหลืองของหัวใจ	79
13. เส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ	79
14. การไหลเวียนเลือดในร่างกาย	82
บทสรุป	88
คำถามท้ายบทและเฉลย	90
บรรณานุกรม	92

บทที่ 3 จุลกายวิภาคศาสตร์ของระบบไหลเวียน **94**

บทนำ	95
1. ลักษณะทั่วไปทางจุลกายวิภาคของระบบไหลเวียนเลือด	97
2. หัวใจ	98
3. โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของหัวใจ	100
4. ระบบหลอดเลือด	112
5. โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของผนังหลอดเลือด	115
6. ระบบหลอดเลือดแดง	116
7. โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดง	117
8. Capillary Bed	125
9. โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดฝอย	126
10. ระบบหลอดเลือดดำ	129
11. โครงสร้างทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดดำ	130
12. ลิ่มของหลอดเลือดดำ	133
13. การเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดเพื่อทำหน้าที่พิเศษ	137
14. ระบบหลอดน้ำเหลือง	138
15. เลือด	142
บทสรุป	150
คำถามท้ายบทและเฉลย	166
บรรณานุกรม	170

บทที่ 4 สรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือด	171
บทนำ	172
1. สรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือด	173
2. คุณสมบัติของกล้ามเนื้อหัวใจ	176
3. วงรอบการทำงานของหัวใจ	185
4. เสียงหัวใจ	187
5. คลื่นไฟฟ้าหัวใจ	189
6. เส้นประสาทที่เลี้ยงหัวใจ	198
7. ปริมาตรเลือดส่งออกจากหัวใจต่อนาที	200
8. ความดันเลือดแดง	205
9. การควบคุมความดันเลือดแดง	207
10. การไหลเวียนของเลือดที่ระดับจุลภาค	211
บทสรุป	212
คำถามท้ายบทและเฉลย	214
บรรณานุกรม	216
 บทที่ 5 ยาที่ใช้ในโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด	 217
บทนำ	218
1. ยาที่ใช้ในการรักษาโรคความดันโลหิตสูง	218
2. ยาที่ใช้ในการรักษาอาการปวดแสบหัวใจ	232
3. ยาที่ใช้ในภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ	239
4. ยาที่ใช้ในภาวะหัวใจล้มเหลว	246
บทสรุป	253
คำถามท้ายบทและเฉลย	257
บรรณานุกรม	259
 ดัชนี	 261

สารบัญตารางและรูป

ตารางที่ 1-1	ส่วนของหัวใจที่พัฒนามาจาก heart tube	8
ตารางที่ 1-2	แสดงโครงสร้างที่พัฒนามาจาก aortic arches	26
ตารางที่ 2-1	แสดงตำแหน่งฟังเสียงหัวใจ	68
ตารางที่ 3-1	ลักษณะและหน้าที่สำคัญของหลอดเลือดแดง หลอดเลือดฝอย หลอดเลือดดำ และหลอดน้ำเหลือง	154
ตารางที่ 3-2	แสดงลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆ	163
ตารางที่ 5-1	การจำแนกโรคความดันโลหิตสูงตามความรุนแรงในผู้ใหญ่อายุ 18 ปีขึ้นไป	220
ตารางที่ 5-2	ผลดีและผลเสียของ organic nitrates ต่อการรักษา angina pectoris	236
ตารางที่ 5-3	Organic nitrates ที่นิยมใช้รักษา angina pectoris	237
ตารางที่ 5-4	ผลของ Organic nitrates และ β blocker หรือ calcium antagonists ในการรักษา angina pectoris	238
ตารางที่ 5-5	ผลของ Digoxin ต่อการนำสัญญาณไฟฟ้าของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ	250
รูปที่ 1-1	แสดงตำแหน่งของกลุ่มเซลล์ที่จะพัฒนาเป็นหัวใจและหลอดเลือด	3
รูปที่ 1-2	ภาพตัดขวางเอ็มบริโอแสดงการพัฒนาท่อหัวใจจากท่อคู่เป็นท่อเดียวในระยะต่างๆ	5
รูปที่ 1-3	ภาพโตอะแกรมแสดงส่วนต่างๆ ของหัวใจ และตำแหน่งของลิ้นหัวใจ	6
รูปที่ 1-4	ภาพแสดงส่วนต่างๆ ของท่อหัวใจภายในช่องเยื่อหุ้มหัวใจ	7
รูปที่ 1-5	ภาพแสดงส่วนการพัฒนาท่อหัวใจส่วน bulbus cordis	9
รูปที่ 1-6	ภาพแสดงการพัฒนาส่วนต่างๆ ของท่อหัวใจส่วน conotruncal	10
รูปที่ 1-7	ภาพแสดงการพัฒนาระบบ sinous venosus ของเอ็มบริโอ	12
รูปที่ 1-8	ภาพตัดผ่านหัวใจในแนวหน้าหลัง แสดงการพัฒนาลิ้นหลอดเลือดดำ	12
รูปที่ 1-9	ภาพแสดงการพัฒนาของผนังกันหัวใจ	14
รูปที่ 1-10	แสดงการแบ่งส่วนของหัวใจห้องบน	15
รูปที่ 1-11	แสดงภาพตัดผ่านหัวใจในแนวหน้าหลังแสดงการพัฒนาของบริเวณ atrioventricular canal	17
รูปที่ 1-12	ภาพแสดงการพัฒนาของ atrioventricular valve	18
รูปที่ 1-13	ภาพแสดงการพัฒนาของผนังกันใน truncus arteriosus และ conus cordis	21
รูปที่ 1-14	ภาพแสดงการพัฒนาของ aortic arch และ dorsal aorta	26

รูปที่ 1-15	ภาพแสดงหลอดเลือดดำเข้าสู่ sinus venosus	32
รูปที่ 1-16	ภาพแสดงหลอดเลือดดำ vitelline และความสัมพันธ์กับโครงสร้างข้างเคียง	34
รูปที่ 1-17	ภาพแสดงระบบหลอดเลือดดำและหลอดเลือดแดงใหญ่ด้านหลังของเอ็มบริโอ	35
รูปที่ 1-18	ภาพแสดงการพัฒนาของระบบหลอดเลือดดำคาร์ดินอล	36
รูปที่ 1-19	ภาพแสดงการพัฒนาของ subcardinal vein และ supracardinal vein	39
รูปที่ 1-20	ภาพแสดงระบบการไหลเวียนเลือดก่อนคลอด	42
รูปที่ 2-1	ภาพแสดงกระดูกที่ประกอบเป็นผนังทรวงอก	53
รูปที่ 2-2	ภาพแสดงตำแหน่งของ pleural cavity และ mediastinum	53
รูปที่ 2-3	ภาพแสดงส่วนต่างๆ ของ mediastinum	54
รูปที่ 2-4	แสดงโครงสร้างที่พบใน superior mediastinum และ middle mediastinum	55
รูปที่ 2-5	ภาพแสดง pericardium	57
รูปที่ 2-6	แสดง pericardial sinus	58
รูปที่ 2-7	ภาพแสดงลักษณะภายนอกของหัวใจ	61
รูปที่ 2-8	ภาพแสดงโครงสร้างที่พบบริเวณ right atrium (RA)	65
รูปที่ 2-9	ภาพแสดงโครงสร้างที่พบใน right ventricle และ left ventricle	65
รูปที่ 2-10	ภาพแสดงโครงสร้างที่สัมพันธ์กับลิ้นหัวใจ	67
รูปที่ 2-11	ภาพด้านบนของหัวใจแสดงตำแหน่ง heart valve และ cardiac skeleton	68
รูปที่ 2-12	ภาพแสดงบริเวณสำหรับฟังเสียงหัวใจ	69
รูปที่ 2-13	แสดงระบบนำไฟฟ้าหัวใจ	71
รูปที่ 2-14	แสดงหลอดเลือดแดงของหัวใจ	74
รูปที่ 2-15	ภาพแสดงหลอดเลือดดำของหัวใจ	78
รูปที่ 2-16	ภาพแสดงตำแหน่งของ cardiac plexus และเส้นประสาทที่เกี่ยวข้อง	80
รูปที่ 2-17	แสดงระบบไหลเวียนเลือดในร่างกาย	83
รูปที่ 2-18	แสดงหลอดเลือดและแขนงหลอดเลือดที่สัมพันธ์กับหัวใจ	85
รูปที่ 2.19	ภาพแสดงหลอดเลือดที่สัมพันธ์กับหัวใจด้านข้างลำตัว เมื่อนำปอดทั้ง 2 ข้างออกจากช่องอก	86
รูปที่ 3-1	ภาพวาดแสดงระบบไหลเวียน	96
รูปที่ 3-2	ภาพวาดแสดงผนังของหลอดเลือด	98
รูปที่ 3-3	ภาพวาดแสดงลักษณะของหัวใจ และลิ้นหัวใจ	99
รูปที่ 3-4	ภาพแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของผนังหัวใจ	101
รูปที่ 3-5	ภาพวาดแสดงโครงร่างหัวใจ	104

รูปที่ 3-6	ภาพวาดแสดงระบบการนำกระแสไฟฟ้าหัวใจ	105
รูปที่ 3-7	ภาพวาดแสดงหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจ	106
รูปที่ 3-8	ภาพวาดแสดงเส้นประสาทที่มาเลี้ยงหัวใจ	108
รูปที่ 3-9	ภาพวาดแสดงภาวะบีบรัดหัวใจ และการทำหัตถการ pericardiocentesis	109
รูปที่ 3-10	ภาพแสดงผนังหลอดเลือดแดง และหลอดเลือดดำ	116
รูปที่ 3-11	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงขนาดใหญ่	119
รูปที่ 3-12	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงขนาดกลาง	119
รูปที่ 3-13	แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดแดงขนาดเล็ก	121
รูปที่ 3-14	ภาพวาดแสดงกลไกการเกิดหลอดเลือดแดงแข็งตัว	123
รูปที่ 3-15	ภาพวาดแสดงลักษณะของหลอดเลือดแดงโป่งพอง	124
รูปที่ 3-16	ภาพแสดง Microvascular bed structure and perfusion	126
รูปที่ 3-17	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดฝอย	127
รูปที่ 3-18	ภาพวาดแสดงชนิดของหลอดเลือดฝอย	128
รูปที่ 3-19	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดดำเล็ก	131
รูปที่ 3-20	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดดำขนาดกลาง	132
รูปที่ 3-21	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดเลือดดำขนาดใหญ่	132
รูปที่ 3-22	แสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของลิ้นของหลอดเลือดดำ	133
รูปที่ 3-23	ลักษณะทางพยาธิวิทยาของหลอดเลือดอักเสบ	136
รูปที่ 3-24	แสดงเส้นทางการไหลของน้ำเหลืองภายในต่อมน้ำเหลือง	140
รูปที่ 3-25	ภาพถ่ายแสดงลักษณะทางจุลกายวิภาคของหลอดน้ำเหลือง เปรียบเทียบกับ arteriole และ venule	141
รูปที่ 3-26	แสดงเลือดที่อยู่ใน hematocrit tube หลังจากผ่านการปั่นเหวี่ยง	143
รูปที่ 3-27	แสดงลักษณะของเม็ดเลือดแดง	144
รูปที่ 3-28	ลักษณะของเซลล์เม็ดเลือดขาวและเกล็ดเลือด	149
รูปที่ 4-1	วงรอบการทำงานของหัวใจ	186
รูปที่ 4-2	เครื่องบันทึกกราฟการเต้นของเสียงหัวใจปกติและผิดปกติ	188
รูปที่ 4-3	ช่องตารางในกระตาด electrocardiography	190
รูปที่ 4-4	การวัด limb leads	192
รูปที่ 4-5	การวัด chest leads	193
รูปที่ 4-6	องค์ประกอบของกราฟ ECG	194
รูปที่ 4-7	วิธีคำนวณ axis จาก ECG wave	195

รูปที่ 4-8	ตัวอย่างวิธีการคำนวณแนว axis จากกราฟ ECG ชนิด bipolar limb leads บน einthoven triangle	196
รูปที่ 4-9	แกนไฟฟ้าของหัวใจ (Cardiac axis)	197
รูปที่ 5-1	อวัยวะที่เกี่ยวข้องในการควบคุมความดันเลือด	219
รูปที่ 5-2	ตำแหน่งออกฤทธิ์ของยากลุ่มยับยั้งระบบเรนินแองจิโอเทนซิน	231
รูปที่ 5-3	การใช้ยาในการรักษาอาการปวดเค้นหัวใจ	233
รูปที่ 5-4	กลไกการออกฤทธิ์ Organic nitrates	234
รูปที่ 5-5	ฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของยากลุ่ม Organic nitrates	236
รูปที่ 5-6	กลไกพยาธิวิทยาของหัวใจล้มเหลว	247
รูปที่ 5-7	พยาธิสรีรวิทยาของหัวใจล้มเหลวและตำแหน่งหลักในการออกฤทธิ์ของยา	248

คำนำ

ระบบหัวใจและหลอดเลือดเป็นระบบที่มีความสำคัญมากระบบหนึ่งในการดำเนินชีวิต ซึ่งระบบนี้ทำหน้าที่ในการนำออกซิเจนและสารอาหารไปยังเนื้อเยื่อต่างๆ ทั่วร่างกาย หากระบบนี้เกิดความผิดปกติขึ้นจะส่งผลให้เกิดโรคต่างๆ ตามมา เช่น ความดันโลหิตสูง กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด กล้ามเนื้อหัวใจตาย หัวใจวาย ล้มหัวใจตีบ ล้มหัวใจรั่ว หลอดเลือดแดงแข็ง หลอดเลือดโป่งพอง หลอดเลือดอักเสบ และหลอดเลือดสมอง เป็นต้น ซึ่งโรคดังกล่าวก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งชีวิต และทรัพย์สินอีกมากมาย ดังนั้น การศึกษาพัฒนาการของหัวใจและหลอดเลือด โครงสร้าง หน้าที่ กลไกควบคุมการทำงาน ความผิดปกติและโรคที่พบบ่อยในระบบหัวใจและหลอดเลือด พร้อมทั้งหลักการเฝ้าระวังในการรักษาโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดจะสามารถทำให้เข้าใจการดำเนินของโรคได้เป็นอย่างดี และสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้เพื่อการรักษาผู้ป่วยต่อไป

ตำราเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนในรายวิชา “พศ. 213 ระบบอวัยวะในทรวงอก” เรื่อง ระบบหัวใจและหลอดเลือด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในรายวิชาบูรณาการของหลักสูตรแพทยศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในตำราเล่มนี้มีเนื้อหาครอบคลุมทั้งในด้านพัฒนาการ มกายวิภาคศาสตร์ จุลกายวิภาคศาสตร์ และสรีรวิทยาของระบบหัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งยาที่ใช้ในการรักษาโรคของระบบหัวใจและหลอดเลือด โดยเนื้อหาที่อธิบายในตำราเล่มนี้ใช้คำศัพท์ที่อ้างอิงจากศัพท์บัญญัติ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถานรูปแบบซีดีรอมรุ่น 1.1 พุทธศักราช 2545 และอาจมีคำศัพท์เฉพาะบางคำที่จำเป็นต้องทับศัพท์

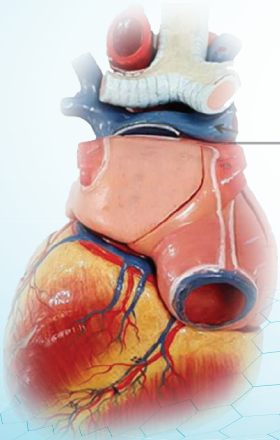
ผู้เขียนขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการเขียนตำราเล่มนี้ และขอขอบคุณท่านผู้ทรงคุณวุฒิสำหรับข้อเสนอแนะที่ดีมากในการปรับปรุงตำราเล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น อนึ่งผู้เขียนหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ตำราเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาแพทย์ ทันตแพทย์ นักศึกษาด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ และผู้สนใจทั่วไป เพื่อเป็นประโยชน์ในการเรียนและสามารถประยุกต์ความรู้ใช้ในวิชาชีพต่อไป

ในการนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยและยินดีรับข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นประโยชน์ในการจัดพิมพ์ครั้งต่อไป

ศุภเกต แสนทวีสุข

บรรณาธิการ

สาขากายวิภาคศาสตร์ สถานวิทยาศาสตร์พรีคลินิก
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มิถุนายน 2563



บทที่ 1

การพัฒนาของระบบหัวใจและหลอดเลือด Development of Cardiovascular System

อมรณัฐ หับเปีย*

วัตถุประสงค์

1. อธิบายการพัฒนาของหัวใจและหลอดเลือดได้
2. อธิบายการพัฒนาของระบบไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์ได้
3. อธิบายความผิดปกติของหัวใจและหลอดเลือดที่พบในระหว่างการพัฒนาที่ไม่สมบูรณ์ได้

เนื้อเรื่อง

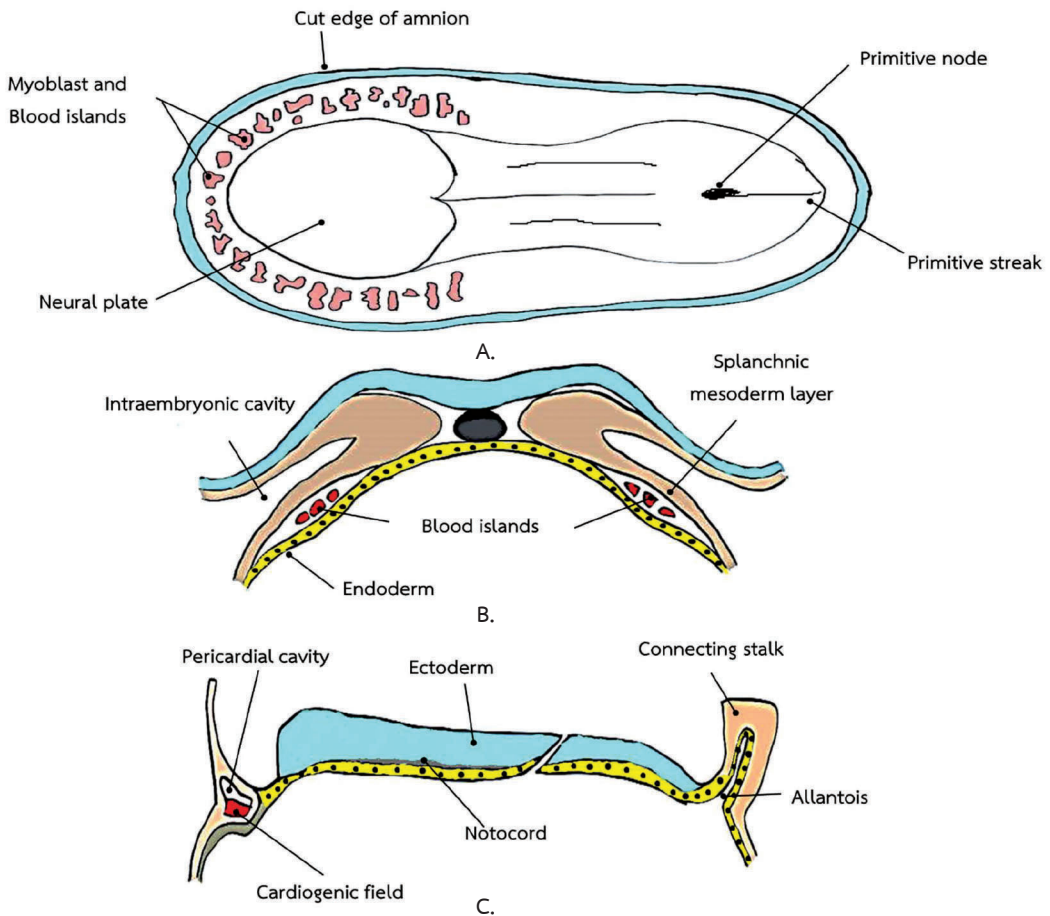
1. การพัฒนาของหัวใจ
2. การพัฒนาของผนังกันหัวใจ
3. การพัฒนาเส้นเอทรีโอเวนทริคูลาร์
4. การพัฒนาระบบการนำกระแสประสาทของหัวใจ
5. การพัฒนาของหลอดเลือดแดง
6. การพัฒนาของหลอดเลือดดำ
7. การไหลเวียนเลือดของทารกในครรภ์ และทารกหลังคลอด
8. การเปลี่ยนแปลงระบบการไหลเวียนเลือดหลังคลอด
9. ระบบน้ำเหลือง

*ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสาขากายวิภาคศาสตร์ สถานวิทยาศาสตร์พรีคลินิก คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

บทนำ

ระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular system) เป็นระบบหลักของร่างกายที่เริ่มทำงานเป็นลำดับแรกในระยะเอ็มบริโอ เนื่องจากเอ็มบริโอเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและรก (placenta) ไม่สามารถทำหน้าที่ให้สารอาหารที่เพียงพอกับความต้องการของเอ็มบริโอได้ ดังนั้น เอ็มบริโอจึงเริ่มมีการพัฒนาระบบหัวใจและหลอดเลือดขึ้นเพื่อให้ร่างกายได้รับสารอาหารที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโต โดยการพัฒนาของหัวใจในระยะแรกจะทำหน้าที่เสมือนปั๊มที่รักษาการไหลของเลือดจากเอ็มบริโอไปยังรก เพื่อแลกเปลี่ยนของเสียจากฟัตัส (fetus)

เซลล์ต้นกำเนิดของหัวใจ (cardiac progenitor cell) จะวางตัวอยู่ในชั้นอีพิบลาสต์ (epiblast) และอยู่ทางด้านข้างต่อพริมาทีฟสตรีก (primitive streak) ต่อมาจะมีการเคลื่อนตัวของกลุ่มเซลล์ที่จะพัฒนาเป็นส่วนต้น (cranial segment) ของหัวใจ และช่องทางออกของเลือด (outflow tract) ผ่าน primitive streak ไปยังบริเวณส่วนหัวเหนือต่อแผ่นเยื่อโอโรฟาริงก์เจียล (oropharyngeal membrane) และนิวรัลโฟลด์ (neural fold) จากนั้น กลุ่มเซลล์จะพัฒนาต่อเป็นหัวใจห้องล่าง (ventricle) และไซนัส วินอซัส (sinus venosus) และจะเคลื่อนที่ผ่าน streak ตามเซลล์กลุ่มแรกไปจากเริ่มต้นที่เซลล์กลุ่มนี้มีตำแหน่งอยู่ในชั้น epiblast เมื่อเซลล์มีการเคลื่อนที่ผ่าน primitive streak ขึ้นมาในบริเวณส่วนหัวของตัวอ่อน จะทำให้เซลล์เปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่มาอยู่ในชั้นสพลานนิค (splanchnic) ของเลเทอร์ล เพลท มีโซเดิร์ม (lateral plate mesoderm) และถูกเหนี่ยวนำโดยเซลล์ฟาริงก์เจียล (pharyngeal) ที่อยู่ในชั้นเอนโดเดิร์ม (endoderm) ทำให้เซลล์กลุ่มนี้พัฒนาไปเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac myoblast) พร้อมกันนั้นจะมีการปรากฏของกลุ่มเลือด (blood island) ซึ่งกลุ่มเลือดนี้จะพัฒนาไปเป็นเซลล์เม็ดเลือดและหลอดเลือดภายในชั้น splanchnic mesoderm ด้วย ในช่วงนี้ blood island และเซลล์กล้ามเนื้อที่บริเวณส่วนหัวของตัวอ่อนจะมีการเรียงตัวเป็นรูปเกือกม้าเหนือต่อส่วนของแผ่นเนื้อเยื่อประสาท (neural plate) เรียกบริเวณนี้ว่า คาร์ดิโอจีนิกฟิลด์ (cardiogenic field) (รูปที่ 1-1) โดยช่องว่างภายในตัวเอ็มบริโอที่อยู่เหนือต่อบริเวณนี้ต่อมาจะกลายเป็นช่องเยื่อหุ้มหัวใจ (pericardial cavity)



รูปที่ 1-1 แสดงตำแหน่งของกลุ่มเซลล์ที่จะพัฒนาเป็นหัวใจและหลอดเลือด

- A. แสดงกลุ่มเซลล์ในบริเวณ cardiogenic field มองจากทางด้านหลังหลังจากตัด amnion ออก
- B. ภาพตัดขวางแสดงตำแหน่งของ blood island ที่อยู่ในชั้น splanchnic mesoderm
- C. ตัดในแนว cephalocaudal แสดงตำแหน่งของ pericardial cavity และ cardiogenic field

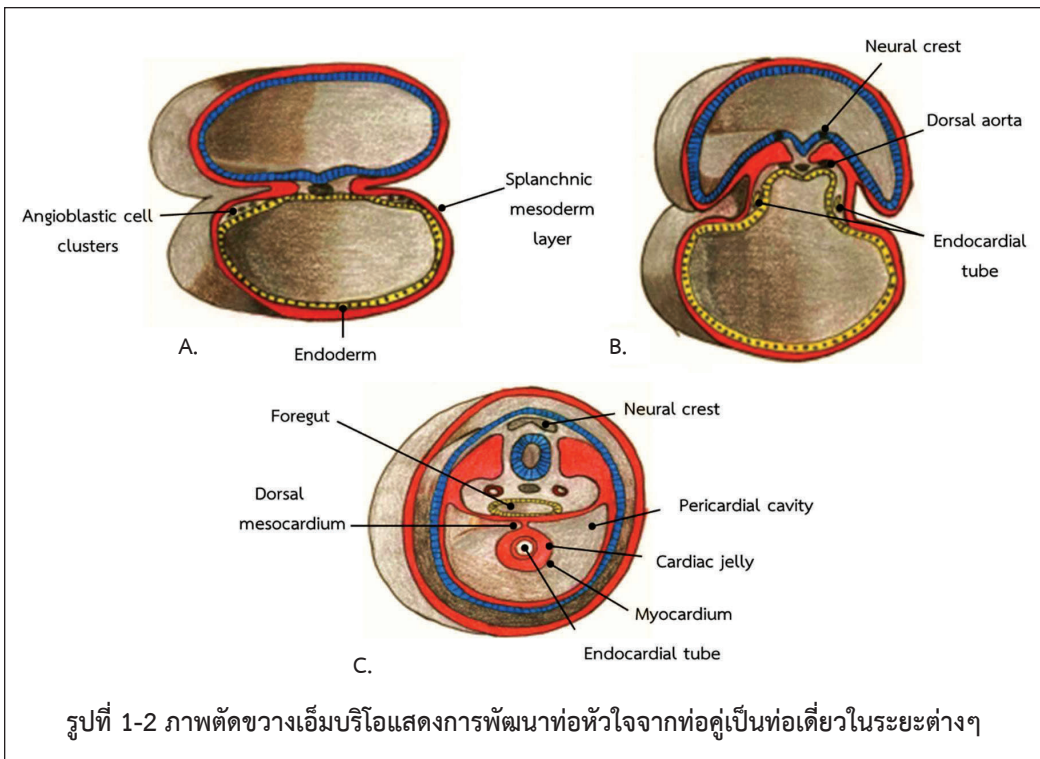
1. การพัฒนาของหัวใจ (Development of the Heart)

การพัฒนาและตำแหน่งของท่อหัวใจ (Formation and position of the heart tube)

การพัฒนาของหัวใจเริ่มต้นประมาณกลางสัปดาห์ที่ 3 เริ่มจากการที่กลุ่มเซลล์ที่เรียกว่า แองจิโอ بلاสติก (angioblastic cell cluster) ในบริเวณ cardiogenic mesoderm ถูกเหนี่ยวนำจากกลุ่มเซลล์ในชั้น endoderm ทำให้ angioblastic cell กลุ่มนี้พัฒนาจนกลายเป็นท่อ (tube) เรียกว่า endocardial heart tube หัวใจในระยะเริ่มแรกจะมี endocardial heart tube จำนวน 2 อัน จากนั้น เอ็มบริโอจะม้วนตัวเพิ่มมากขึ้นทำให้ endocardial heart tube ทั้งคู่เข้ามาอยู่ชิดกันในแนวกลางได้เป็นท่อหัวใจท่อเดียว (single endothelial heart tube) บริเวณตรงกลางของ cardiogenic area หน้าที่ต่อ oropharyngeal membrane และ neural plate แต่เมื่อมีการปิดของท่อระบบประสาท (neural tube) และมีการเจริญอย่างรวดเร็วของระบบประสาทส่วนกลางร่วมกับการพับงอตัวของเอ็มบริโอไปทางด้านหัวและหาง ทำให้ส่วนของ oropharyngeal membrane ถูกดึงไปทางด้านหัว (rostral) ของตัวอ่อน ในขณะที่หัวใจและช่องเยื่อหุ้มหัวใจจะเคลื่อนตัวจากบริเวณหัวไปอยู่ที่ระดับคอและระดับอกในที่สุด (รูปที่ 1-2)

นอกจากเอ็มบริโอจะมีการพับงอตัวในแนวหัวไปหาง (cephalocaudally) แล้วเอ็มบริโอยังมีการพับงอตัวทางด้านข้าง (laterally) อีกด้วย ผลจากการพับงอตัวในทั้ง 2 แนว จะทำให้บริเวณส่วนหาง (caudal) ของหัวใจในตอนเริ่มแรก (cardiac primordial) มีการรวมเข้าด้วยกัน ยกเว้นบริเวณหางสุด (caudal end) ในขณะที่เอ็มบริโอมีการงอพับตัวนั้นบริเวณของ cardiogenic field จะมีการขยายกว้างออกเพื่อพัฒนาขึ้นเป็น outflow tract และหัวใจห้องล่าง ดังนั้น ในขั้นตอนนี้หัวใจจะมีลักษณะเป็นท่อที่มีการขยายขนาดของท่ออย่างต่อเนื่อง ภายในท่อจะประกอบด้วยเซลล์บุผิวท่อทางด้านในและชั้นกล้ามเนื้อหัวใจทางด้านนอก โดยหัวใจจะได้รับเลือดดำกลับทางส่วนปลายของท่อหัวใจ และเริ่มมีการส่งเลือดออกจากหัวใจผ่านส่วนโค้งของเอออร์ตาที่ 1 (1st aortic arch) เข้าสู่หลอดเลือดแดงใหญ่ด้านหลัง (dorsal aorta) ที่บริเวณส่วนหัวของเอ็มบริโอ

ท่อหัวใจ (heart tube) ที่กำลังพัฒนาจะโป่งพองออกมากขึ้นจนเข้าไปใน pericardial cavity ซึ่ง heart tube จะยึดติดกับทางด้านหลังของ pericardial cavity ด้วย ดอร์ซัล มีโซคาร์เดียม (dorsal mesocardium) (รูปที่ 1-2) เมื่อมีการพัฒนาของเอ็มบริโอมากขึ้น dorsal mesocardium นี้จะสลายหายไปกลายเป็นแอ่งทรานสเวิร์สเพอริคาร์เดียล (transverse pericardial sinus) ที่เชื่อมระหว่างช่องเยื่อหุ้มหัวใจข้างซ้ายและขวา

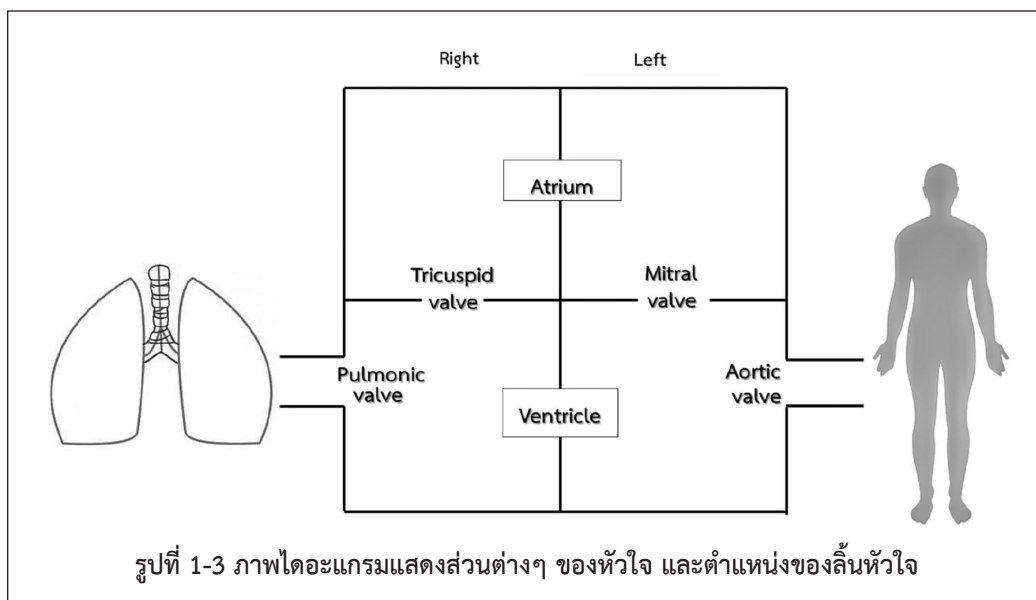


ในขณะที่มีการขยายขนาดของ heart tube กล้ามเนื้อหัวใจจะมีการหนาตัวเพิ่มมากขึ้น และมีการหลั่งสารนอกเยื่อหุ้มเซลล์ (extracellular matrix) เพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งผลจากการหลั่งสารนี้จะทำให้ชั้นกล้ามเนื้อถูกแยกออกจากชั้นผนังภายในท่อหัวใจ นอกจากนี้ มีเมโซเธลิอัลเซลล์ (mesothelial cell) ที่อยู่บนผิวของผนังกั้นระหว่างช่องอกและช่องท้องที่เรียกว่า เซพตัม ทรานสเวอร์ซั่ม (septum transversum) จะพัฒนาขึ้นเป็นเยื่อหุ้มหัวใจโปรเอพิคาร์เดียม (proepicardium) หลังจากนั้นกลุ่มเซลล์นี้จะมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของเซลล์ไปอยู่บนหัวใจเพื่อพัฒนาไปเป็นส่วนใหญ่ของเยื่อหุ้มหัวใจ ทั้งนี้เยื่อหุ้มหัวใจยังมีการพัฒนามาจากกลุ่ม mesothelial cell ที่มีตำแหน่งอยู่ที่บริเวณ outflow tract ของหัวใจด้วย ดังนั้น ในขั้นตอนนี้หัวใจจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นได้แก่

1. เอ็นโดคาร์เดียม (endocardium) เป็นชั้นเซลล์เยื่อบุผิว (endothelial cell) ที่บุด้านในของหัวใจ
2. ไมโอคาร์เดียม (myocardium) อยู่ตรงกลางและเป็นส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจ
3. อีพิคาร์เดียม (epicardium หรือ visceral pericardium) เป็นชั้นนอกสุดนี้เกี่ยวข้องกับการสร้างหลอดเลือดแดงโคโรนารี (coronary artery) โดยรวมชั้นของ endothelial cell และชั้นกล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดด้วย

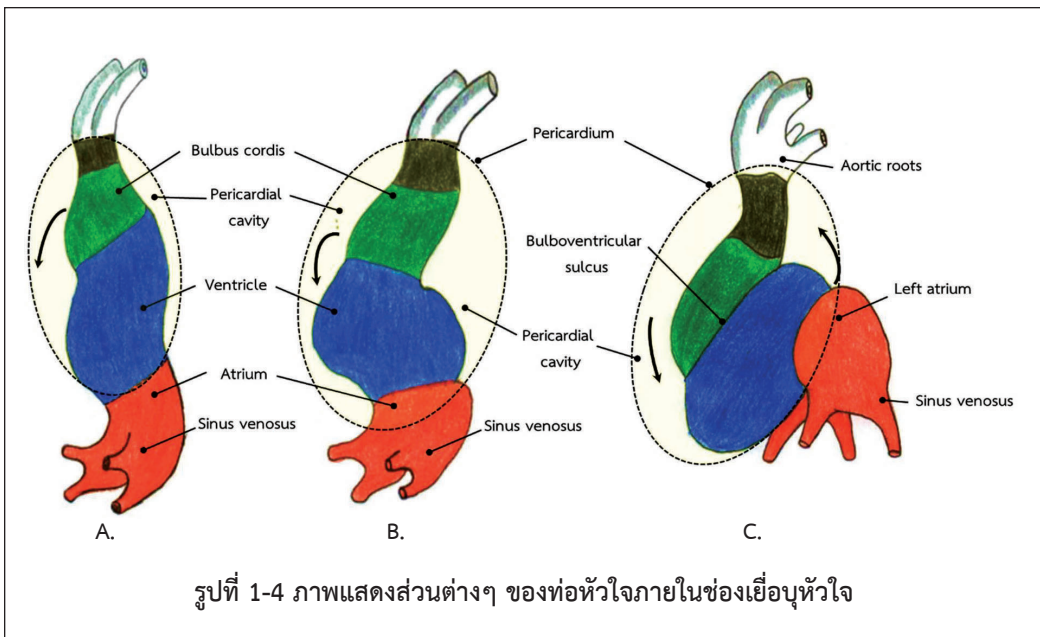
1.1 การหมุนเป็นวงของหัวใจ (Formation of cardiac loop)

หัวใจของมนุษย์ประกอบด้วย 4 ห้อง แบ่งเป็นหัวใจห้องบน (atrium) 2 ห้อง และหัวใจห้องล่าง (ventricle) 2 ห้อง โดยมีลิ้นหัวใจเอเทรียโอเวนทริคูลาร์ (atrioventricular valve) ซึ่งประกอบด้วยลิ้นไมทรัล (mitral valve) กันระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและห้องล่างซ้าย และลิ้นไตรคัสปิด (tricuspid valve) กันระหว่างหัวใจห้องบนขวาและห้องล่างขวา นอกจากนั้น หัวใจห้องล่างยังถูกกันจากหลอดเลือดใหญ่ โดยลิ้นเซมิลูนาร์ (semilunar valve) อีกด้วย โดยมีลิ้นพัลโมนิก (pulmonic valve) กันระหว่างหัวใจห้องล่างขวากับหลอดเลือดพัลโมนารี ทังก์ (pulmonary trunk) และลิ้นเออर्टิก (aortic valve) กันระหว่างหัวใจห้องล่างซ้ายกับหลอดเลือดเออर्टา (รูปที่ 1-3) ผนังของหัวใจมีทั้งส่วนเรียบและส่วนขรุขระ โดยผนังหัวใจห้องล่างส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนที่ขรุขระ



รูปที่ 1-3 ภาพไดอะแกรมแสดงส่วนต่างๆ ของหัวใจ และตำแหน่งของลิ้นหัวใจ

ประมาณวันที่ 23 หลังจาก that endocardial heart tube มีการรวมกันเป็นท่อเดียว heart tube จะยืดยาวออกและโค้งงออย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย 5 ส่วน (รูปที่ 1-4) เรียงจากบนลงล่าง ได้แก่ (1) ทังก์ส อาเทรียโอซัส (truncus arteriosus) (2) บัลบัสคอร์ดิส (bulbus cordis) (3) พริมิทีฟ เวนทรีเคิล (primitive ventricle) (4) พริมิทีฟ เอเทรียม (primitive atrium) และ (5) ขั้วหลอดเลือดดำ (venous poles) หรือไซน์ส วินอสัส (sinus venosus)



ส่วนหัวของ heart tube จะเริ่มขดหรือโค้งงอเป็นวงทิศทวนเข็มนาฬิกา ทำให้ส่วน bulbus cordis เคลื่อนมาอยู่ทางด้านหน้า ม้วนลงไปทางด้านล่าง และค่อนไปทางด้านขวา จึงทำให้ส่วนล่างของ heart tube ได้แก่ ส่วนของ primitive ventricle เคลื่อนมาอยู่ทางด้านหลัง วกขึ้นไปทางด้านบน และค่อนไปทางด้านซ้ายของร่างกาย ในขณะที่ primitive atrium และ sinus venosus จะหมุนวนไปทางด้านบนและค่อนไปทางด้านซ้ายทำให้หัวใจอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง เหมือนตำแหน่งของหัวใจในผู้ใหญ่ (รูปที่ 1-4)

การโค้งงอนี้เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์ภายในท่อหัวใจทำให้เกิดการหมุนขดเป็นวงของหัวใจ (cardiac loop) ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะเสร็จสมบูรณ์ภายในวันที่ 28 ของการเจริญของตัวอ่อน การพัฒนาของ heart tube ไปเป็นส่วนต่างๆ ของหัวใจ แสดงในตารางที่ 1-1