

เอกสารคำสอน

เรื่อง

การพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิต Development of the Circulator System

รายวิชา ทพกย 231 วิทยาเอ็มบริโอ
DTAN 231 Embryology

โดย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ทวีพงศ์ อารยะพิศิษฐ์

ภาควิชากายวิภาคศาสตร์

คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

แผนการสอน

- ชื่อเรื่อง การพัฒนาระบบไหลเวียนโลหิต
Development of the circulatory system
- ชื่ออาจารย์ผู้สอน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ทวีพงศ์ อารยะพิศิษฐ์
ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
โทรศัพท์ 02-200-7801-2
e-mail: Tawepong.ara@mahidol.ac.th
- ชื่อรายวิชาและรหัสวิชา ทพกย 231 วิทยาเอ็มบริโอ
DTAN 231 Embryology
- ชื่อหลักสูตร หลักสูตรทันตแพทยศาสตรบัณฑิต
- วัน-เวลา ที่สอน วันพฤหัสบดีที่ 19 ตุลาคม พ.ศ. 2560 เวลา 14.00-15.00 น.
- วัตถุประสงค์การศึกษา เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบาย
 - อธิบายแบบแผนการเจริญของหัวใจ และหลอดเลือดใหญ่ของหัวใจได้
 - อธิบายแบบแผนการเจริญของหลอดเลือดแดงได้
 - อธิบายแบบแผนการเจริญของหลอดเลือดดำได้
 - อธิบายการเจริญที่ผิดปกติของหัวใจและหลอดเลือดบางลักษณะได้
 - อธิบายระบบไหลเวียนโลหิตในช่วงต่าง ๆ ของชีวิตได้
- เนื้อหาเรื่อง
 - Development of the heart and its great vessels
 - Congenital malformation of the heart and its great vessels
 - Development of the arteries
 - Congenital malformation of the arteries
 - Development of the veins
 - Congenital malformation of the veins
 - The circulation

8. วิธีการจัดประสบการณ์การเรียนรู้

- | | |
|--|---------|
| 1. นำเข้าสู่บทเรียน | 5 นาที |
| 2. บรรยายในชั้นเรียน | 40 นาที |
| ซัก-ถามและให้นักศึกษาแสดงความคิดเห็นในระหว่าง
การบรรยาย | 10 นาที |
| 3. ให้นักศึกษาซัก-ถาม | 5 นาที |

9. สื่อการเรียนรู้

- เอกสารคำสอน
- อุปกรณ์สื่อการเรียนรู้ (เครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องถ่ายทอตสัญญาณผ่านคอมพิวเตอร์)
- ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Power Point ประกอบการบรรยาย

10. การวัดผลการเรียนรู้

วัดผลนักศึกษาจากความสามารถ

- อธิบายแบบแผนการเจริญของหัวใจ และหลอดเลือดใหญ่ของหัวใจได้
- อธิบายแบบแผนการเจริญของหลอดเลือดแดงได้
- อธิบายแบบแผนการเจริญของหลอดเลือดดำได้
- อธิบายการเจริญที่ผิดปกติของหัวใจและหลอดเลือดบางลักษณะได้
- อธิบายระบบโพลีเมียมโกลิตในช่วงต่าง ๆ ของชีวิตได้

ตัวชี้วัด เกณฑ์ และวิธีการ

- เกณฑ์การวัดผลและประเมินผลเป็นไปตามระเบียบข้อบังคับของมหาวิทยาลัย โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ A, B+, B, C+, D+, D และ F
- สัดส่วนคะแนนในการประเมิน

1. สอบข้อเขียน	ร้อยละ 95
2. ประเมินจากการเข้าเรียนและการมีส่วนร่วม ในการเรียนการสอน	ร้อยละ 5

DEVELOPMENT OF THE CIRCULATORY SYSTEM

Early Development of the Heart

หัวใจเริ่มเจริญในสัปดาห์ที่ 3 หรือประมาณวันที่ 18 เจริญจาก splanchnic mesoderm บริเวณที่เรียกว่า cardiogenic area โดย cells บริเวณนี้จะจัดตัวเป็นกลุ่มเรียกว่า angiogenic cell cluster หรือ cardiogenic plate เช่นเดียวกับการสร้างหลอดเลือด cell cluster ที่เกิดขึ้นนี้จะพัฒนาต่อไปจนกลายเป็น tube ลักษณะแรกที่สุดของ developing heart คือการปรากฏมี endothelial tubes ที่เป็นคูใน floor ของส่วนที่ต่อไปจะเป็น pericardial cavity ในขณะที่ embryo ยังอยู่ใน form ของ trilaminar disc เมื่อ embryo มี lateral body fold มากขึ้นทำให้ tube คูนี้เคลื่อนเข้าหากันในแนว midline แล้ว fuse กัน form เป็น single endocardial heart tube.

Cardiogenic area เมื่อเริ่มแรกมีตำแหน่งอยู่ cranial ต่อ prochordal plate และ ventral ต่อ pericardial cavity แต่ต่อมาเมื่อ embryo มี head fold ขึ้นเหนือระดับของ embryonic plate มีผลให้ heart tube ที่เกิดขึ้นเคลื่อนมาอยู่ ventral ต่อ foregut และ caudal ต่อ prochordal plate ตรงตำแหน่งที่เรียกว่า anterior intestinal portal (ตำแหน่งที่ foregut เชื่อมกับ midgut) และมามีตำแหน่งอยู่ใน dorsal wall ของ pericardial cavity เมื่อปรากฏมี head fold. จากนั้น heart tube ดังกล่าว invaginate ตัวมันเอง, พร้อมด้วย mesenchyme ล้อมรอบของมัน เข้าสู่ pericardial cavity, โดยตอนแรกมี ventral mesocardium ที่ยึดหัวใจไว้กับ ventral body wall แต่ไม่เข้าเยื่อนี้มีรูทะลุแล้วหายไป คงเหลือแต่ dorsal mesocardium ยึดหัวใจไว้กับ dorsal body wall แต่ต่อมา บริเวณตอนกลางของ dorsal mesocardium จะสลายไป กลายเป็น transverse pericardial sinus ของหัวใจ ดังนั้น heart tube จึงทอดผ่านตลอด pericardial cavity, โดยถูกยึดไว้เพียงที่ cranial end (ด้วย pharyngeal arch) และ caudal end (ด้วย septum transversum) ของมันเท่านั้น

Heart tube ที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วยผนังสามชั้น ชั้นในสุดเรียก endocardial heart tube มีผนังบางเกิดจาก mesenchymal cell กลายเป็น cell รูปแบนและเรียงตัวเป็นท่อขึ้นซึ่งต่อมาเจริญเป็น endocardium ส่วน mesenchyme ที่ล้อมรอบชิดอยู่กับ heart tube กลับ condense ขึ้น และ form เป็นผนังอีก 2 ชั้นที่เหลील้อมรอบ endocardial heart tube โดยชั้นที่อยู่ติดกับ heart tube เรียกว่า cardiac jelly โดย cell บริเวณนี้จัดตัวกันอย่างหลวม ๆ และต่อมากลายเป็น subendocardial layer ส่วน ชั้นนอกสุดเรียกว่า epimyocardium เป็นบริเวณที่ cell จัดตัวกันอย่างหนาแน่นและต่อมากลายเป็น myocardium และ epicardium (epicardium ที่กล่าวนี้ตรงกันกับ visceral layer ของ pericardium ในผู้ใหญ่) เมื่อกล้ามเนื้อหัวใจใน myocardium เจริญแล้วมันสามารถหดตัวเป็นจังหวะได้ซึ่งหัวใจจะเริ่มเต้นประมาณวันที่ 22 หรือมี somite 7 คู่

ในเวลาเดียวกันนั้น, ก็มีรอยคอด (constriction) และส่วนโป่ง (dilatation) ปรากฏขึ้นตาม heart tube จนทำให้เห็นเป็นลักษณะแบ่งได้เป็น 4 ส่วนเรียงลำดับจาก caudal end ไปยัง cranial end คือ sinus venosus, atrium, ventricle และ bulbus cordis โดยทาง caudal end ของ tube คือ sinus venosus บางส่วนของ sinus venosus ยังอยู่ใน septum transversum ซึ่งต่อไป septum transversum จะเจริญเป็นส่วนของ diaphragm ส่วน cranial end ของ sinus venosus ออกจาก pericardium ไปวางตัวอยู่ใน floor ของ pharynx

Bulbus cordis นำเข้าไปสู่ segment ที่สั้นและกว้างคือ truncus arteriosus ซึ่ง cranial end ของมันโป่งออก form เป็น aortic sac ซึ่งจะแยกให้ vessels 6 คู่ เรียกว่า aortic arch ซึ่งทอดผ่านไปทาง dorsal บนแต่ละข้างของ foregut ใน mesenchyme ของ branchial arch แต่ละ arch และมัน join dorsal aortae ที่ตรงกันซึ่ง lie อยู่ใน roof ของ pharynx ส่วนที่ยื่นยาวต่อออกไปทาง cranial ของ dorsal aorta แต่ละเส้น supply forebrain และกลายเป็น internal carotid artery ในภายหลัง ส่วน dorsal aortae ในตอนแรก ทอดอยู่โดยตลอดความยาวของ embryo, แต่ในไม่ช้า dorsal aortae ที่อยู่ caudal ต่อ branchial region จะ fuse กัน ดังนั้นจึงมี dorsal aorta เป็นหลอดเลือดเดี่ยวที่ midline ใน caudal part ของ embryo.

Development of the Heart

Development of the heart tube

Heart tube ที่ได้แบ่งออกเป็น 4 chambers นั้น, เจริญเติบโตใน pericardial cavity แต่รวดเร็วกว่า pericardial cavity มาก. และเนื่องจากมันถูกยึดที่ cranial และ caudal ends ของมัน, จึงจำเป็นต้องมีการบิดตัว และการบิดตัวนี้เกิดขึ้นทั้งในแนว anteroposterior และ transverse planes. ใน lateral view จะเห็นได้ว่า bulbus cordis และ ventricle ตอนแรกมามีตำแหน่งอยู่ ventral ต่อ atrium และ sinus venosus.

Atrium ติดต่อเข้าสู่ ventricle ทาง atrioventricular canal แคบ ๆ และใน canal นี้เอง, mesenchyme ของ subendocardial tissue ก็ proliferate ทำให้เกิด dorsal และ ventral swellings เรียกว่า endocardial cushions.

เมื่อ heart tube มีการบิดตัวต่อไปทางด้านข้างจึงนำเอา bulbus cordis มามีตำแหน่งอยู่ทางขวาของ ventricle เรียกว่า bulboventricular loop ดังนั้นในไม่ช้าต่อมา bulbus กับ ventricle ก็ form เป็น chamber เดียว โดยใน chamber นั้นจะมี depression ซึ่งตรงกับตำแหน่งที่กำลัง develop ไปเป็น interventricular septum.

ในระยะนี้ของ development, venous system ทั้ง 2 ข้าง ลำตัวยังคงมีลักษณะเหมือนกัน (ทาง anterior มี anterior cardinal veins ซ้ายขวา ทาง posterior มี posterior cardinal veins ซ้ายขวา) แต่ไม่เข้าส่วนใหญ่ของ venous drainage ผ่านไปสู่ด้านขวาของหัวใจ การที่เป็นเช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่เรียกว่า left to right shunting 2 แห่ง แห่งแรกเป็นผลของการมีการติดต่อกันใหม่เกิดขึ้นระหว่าง anterior cardinal veins ทั้ง 2 เส้น (ซ้ายกับขวา) ทำให้เลือดทั้งหมดจากด้านซ้ายของ head และ upper limb ผ่านไปสู่ anterior cardinal vein ทางขวา ท่อที่เกิดขึ้นใหม่ที่ติดต่อกับ anterior cardinal veins ซ้ายขวาเข้าด้วยกัน กลายเป็น left brachiocephalic vein ซึ่งไปรวมกับ right brachiocephalic vein form เป็น superior vena cava และส่วนปลายของ right posterior cardinal vein กลายเป็นส่วนปลายของ azygos vein

ยิ่งไปกว่านั้น left to right shunt แห่งที่ 2 เกิดจากผลของการเปลี่ยนแปลงใน umbilical และ vitelline veins, ทำให้ veins ที่ drain caudal part ของ embryo กลายเป็นท่อไปสู่ด้านขวา แทน posterior cardinal vein ดังนั้นเฉพาะส่วนปลายของมัน (posterior cardinal vein) เท่านั้นที่ยังคงเหลืออยู่ ผลแห่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ทำให้ right horn ของ sinus venosus กลับมีขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับ left horn สำหรับ left horn ก็ form เป็น coronary sinus ของหัวใจผู้ใหญ่ ส่วน cardinal vein system ของด้านซ้ายที่อยู่ caudal ต่อ brachiocephalic vein ก็ atrophy ไปบางส่วน และไปเป็น vein เล็ก ๆ ต่าง ๆ ที่ไม่สำคัญอีกด้วย

Development of the atria

ผลจากการที่ left horn มีขนาดเล็กลงในตอนนี้ right horn ของ sinus venosus จึงเปิดเข้าสู่ posterior wall ของ atrium (แทนที่จะเปิดไปสู่ด้านขวา) โดยผ่านช่อง sinuatrial orifice ซึ่งมี venous valves คู่หนึ่งกันไว้เรียกว่า left and right sinuatrial valve (บางตำราเรียกว่า valvulae venosae) Valves คู่นี้ยื่นคล้าย vertical lips คู่หนึ่งเข้าสู่ atrium ที่ว่าคล้าย lips ก็คือมัน fuse ซึ่งกันและกันที่ปลายทั้ง 2 ข้าง และที่ cranial part ของ valves ทั้งสองนอกจาก fused ติดกันแล้วมันยังไปยึดติดกับ roof of right atrium เพื่อตรึงให้ valves ทั้งสองนี้ตั้ง เรียกตำแหน่งที่ fused ทาง cranial นี้ว่า septum sprurium.

เมื่อ dorsal กับ ventral endocardial cushions fuse กันข้าม atrioventricular canal, ทำให้แบ่ง canal ออกเป็น left และ right atrioventricular canals แล้ว ในเวลาเดียวกันนี้, ก็มี crescentic septum บาง ๆ เรียก septum primum, เริ่มต้นเจริญลงไปใน atrium ดังนั้นจึงเป็นการเริ่มแบ่ง chamber เดี่ยวออกเป็น right atrium กับ left atrium.

ในการเจริญต่อมาของ interatrial septum (septum primum) จะเห็นได้ว่าเจริญลงไปสู่ atrioventricular cushions ต้องระลึกไว้ว่า oxygenated blood จาก placenta (ผสมกับ venous blood

บ้าง) ต้องกลับไปสู่ right atrium และจำเป็นอยู่เองที่นำเป็นไปได้สำหรับส่วนใหญ่ของเลือดนี้ จะผ่าน interatrial septum ไปสู่ left side ของ heart อย่างรวดเร็วเท่าที่จะเร็วได้ ดังนั้น เลือดจึงอาจผ่านจาก left ventricle เข้าสู่ systemic circulation ด้วยเหตุผลนี้, ก่อนที่ septum primum จะไปถึง atrioventricular cushions ก็มีการติดต่ออันใหม่เกิดขึ้นโดยเป็นผลของการมีการทะลุ ใน upper part ของ septum. ขณะเดียวกันนี้, ก็มี septum ใหม่อีกอันหนากว่า คือ septum secundum เริ่มต้นเจริญลงไปสู่ atrioventricular cushions โดย septum นี้รูป crescentic เช่นเดียวกันและในที่สุดก็ overlap รูเปิดใน septum primum ด้วยวิธีนี้ valve ที่มีลักษณะ flap type ก็เกิดขึ้น ดังนั้นเลือดจึงสามารถผ่านอย่างเสรีจาก right atrium ไปสู่ left atrium. แต่หนทางที่กลับทิศทางการจะถูกป้องกันไว้ด้วย septum primum ที่บางและเคลื่อนไหวได้เข้ามาแตะกับ septum secundum ที่ค่อนข้างแข็ง.

ยังมีการเปลี่ยนแปลงอื่นอีก 2 อย่างเกิดขึ้นใน atria โดยใน **left atrium**, ในช่วงแรกเลือดไหลกลับจากปอดทั้ง 2 ข้าง ผ่านเข้า left atrium มาโดย pulmonary vein เส้นเดียว แต่ต่อมาผนังของ vein นี้ ถูก absorbed เข้ารวมกับผนังของ left atrium, ตอนแรกจะ absorbed ไกลออกไปตำแหน่งที่ vein bifurcate ออกเป็น left กับ right pulmonary veins, และในที่สุดจะ absorbed จนถึง bifurcation ถัดไป, ดังนั้นรูเปิดเดียวเมื่อเริ่มแรกจึงกลายเป็น 2 รูและในที่สุดเป็น 4 รู เปิดแยกจากกัน และใน **right atrium**, sinus venosus จะรวมเข้าเป็นผนังส่วนหนึ่งของ right atrium

right atrium ของผู้ใหญ่ ส่วนที่เป็น smooth posterior portion form โดย right horn ของ sinus venosus โดยมี coronary sinus (เดิมทีคือ left horn ของ sinus venosus) กับ superior และ inferior venae cavae มาเปิดเข้า แต่ส่วนที่เหลือของ right atrium ซึ่ง derived มาจาก embryonic atrium จะ lie อยู่หน้าต่อ crista terminalis จาก crista นี้มี muscoli pectinati ผ่านออกไปทางหน้า สำหรับ septum secundum ที่หนา form เป็น annulus ovalis (limbus fossa ovalis) ส่วน septum primum ที่บางกว่า form เป็น floor ของ fossa ovalis ใน interatrial septum ส่วน venous valves กลับมีความเด่นชัดน้อยลง ในที่สุด left valve โดยปกติหายไปโดยสิ้นเชิง แต่ right venous valve form เป็น crista terminalis, valve ของ inferior vena cava และ valve ของ coronary sinus

Development of the Ventricles and Great Arteries

Interventricular septum ในระยะ early development มีลักษณะ crescentic พร้อมด้วย interventricular foramen ขนาดใหญ่เหนือ upper free border ของมัน. Cranial ต่อ septum มี bulbus cordis กับ truncus arteriosus lie อยู่. Bulbus cordis ในบริเวณนี้ตอนนี้แบ่งออกเป็น 2 canals ด้วย right กับ left bulbar ridges, ซึ่งเจริญมาจากแต่ละข้างและในที่สุด fuse ซึ่งกันและกัน form เป็น septum สมบูรณ์. Septum นี้ยื่นยาวไปทาง distal เข้าสู่ truncus arteriosus, ใน truncus มันมี

ลักษณะเป็น spiral orientation, ดังนั้น จึงมี canals 2 canals พันรอบซึ่งกันและกันอยู่ ทางด้าน distal ของทั้งสอง canal นี้, canal หนึ่งจะติดต่อกับ aortic sixth arch, ส่วนอีก canal หนึ่งไปกับ third และ fourth arches ในที่สุด canal อันแรกในที่สุดกลายเป็น pulmonary trunk และ canal อันหลังเป็น aorta.

Tissue ของ bulbar ridges ในตอนนี้อันตรึงลงไปปิด interventricular foramen, โดยร่วมกับ mass ของ tissue ที่ derive มาจาก atrioventricular endocardial cushions. ทั้ง 3 Tissue นี้ form เป็น membranous part ของ interventricular septum และ growth ที่เกิดขึ้นในลักษณะที่ pulmonary trunk กลับติดต่อกับ right ventricle และ aorta กับ left ventricle.

ส่วนหนึ่งของ bulbar ridge แต่ละอันตั้งแต่ก่อนที่มัน (2 ข้าง) จะมาพบกัน ทอดข้าม lumen ของ bulbus cordis, ได้หนาตัวขึ้น form เป็น right และ left bulbar cushions, และ secondary anterior กับ posterior cushions ก็ได้ปรากฏขึ้นด้วย. เมื่อ bulbus และ truncus แยกออกเป็น aorta กับ pulmonary trunk, right และ left bulbar cushions ก็แยกออกด้วย ดังนั้น vessel แต่ละอันมี cushions 3 อัน (posterior, right และ left ใน aorta และ anterior, right และ left ใน pulmonary trunk), ซึ่งจะกลับกลวงออกเพื่อ form เป็น semilunar valves ของ aorta และ pulmonary trunk ซึ่งมี 3 cusps. เนื่องจากการหมุนตัวเล็กน้อยของหัวใจเกิดขึ้นระหว่าง development ดังนั้น valves ทั้งหลายจึงมาสู่ตำแหน่งของมันในหัวใจผู้ใหญ่.

Congenital malformation of the Heart

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงที่สลับซับซ้อนเกิดขึ้นในระหว่าง development ของหัวใจ ดังนั้นความผิดปกติของ development จึงมีได้เป็นสามัญ โดย congenital heart defect พบได้ประมาณ 6-8 รายในทารกที่คลอด 1,000 ราย

Congenital heart defect อาจเกิดได้ทั้งจาก การเปลี่ยนแปลงภายใน gene หรือเกิดจากการได้รับ teratogens เช่น rubella เป็นต้น และอีกเป็นจำนวนมากที่เกิดขึ้นโดยไม่ทราบสาเหตุ อย่างไรก็ตาม molecular aspect ของ congenital heart defect ก็ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก แต่เทคโนโลยีในปัจจุบัน เช่น realtime two-dimensional echocardiography ก็ช่วยให้วินิจฉัย fetal congenital heart defect ได้ ตั้งแต่ สัปดาห์ที่ 17-18 ภายหลังการปฏิสนธิได้

Congenital heart defect ส่วนใหญ่มักไม่แสดงอาการใน fetal life, แต่ภายหลังคลอด เมื่อทารกไม่ติดต่อกับ maternal circulation อีกต่อไป ผลของ congenital heart defect จะปรากฏให้เห็น ซึ่งอาจมีความพิการเพียงเล็กน้อยจนถึงแก่ชีวิตได้ อย่างไรก็ตาม cardiovascular surgery ในปัจจุบันได้พัฒนาไปมากจนสามารถแก้ไข congenital heart defect หลายประการลงได้

Congenital heart defect บางตัวอย่าง เช่น:

Atrial septum defect (ASD)

เป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นบริเวณ intratrial septum พบในผู้หญิงมากกว่าผู้ชาย และพบได้หลายลักษณะ เช่น

Probe potency of the oval foramen โดยปกติ septum primum กับ septum secundum fuse กันจนไม่มีรูเปิดหลงเหลืออยู่ระหว่าง right กับ left atrium อย่างไรก็ตาม ประมาณ 20 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ของหัวใจผู้ใหญ่ทั้งหมด, สามารถใช้ probe แหย่ผ่าน oval foramen เฉียงขึ้นบนจากทาง right atrium ไปยัง left atrium ได้ สภาพเช่นนี้ เรียก "probe potency of the oval foramen" เลือดไหลผ่านผนังดังกล่าวไม่ได้ ไม่นับเป็นความผิดปกติที่แท้จริง

Patent foramen ovale (patent oval foramen) เป็น ASD ที่พบได้บ่อยที่สุด โดยปกติถ้า defect มีขนาดเล็กมักไม่ผลต่อ hemodynamic ของเลือด แต่ถ้าพบ defect อื่น (เช่น pulmonary stenosis หรือ atresia) ร่วมด้วยอาจก่อให้เกิด *right to left shunting* ผ่าน foramen ovale ได้ ทำให้เกิดภาวะ cyanosis (dark bluish or purplish coloration of skin and mucous membrane resulting from deficient oxygenation)

Ostium secundum defect พบรูเปิดระหว่าง left กับ right atria ซึ่งอาจยอมให้เกิด intracardiac shunting ทั้งนี้ย่อมขึ้นกับขนาดของรูเปิด ostium secundum defect อย่างไรก็ตามมักไม่แสดงอาการในวัยเด็ก แต่อาจพบอาการอื่นเช่น pulmonary hypertension ได้เมื่ออายุมากขึ้น จัดเป็นการเจริญที่ผิดปกติที่พบได้บ่อยที่สุดในกลุ่ม ASD พบในเพศหญิงมากกว่าเพศชายประมาณ 3:1 สาเหตุของความผิดปกตินี้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจากมี perforation หรือ resorption อย่างมากมายของ septum primum หรือ การเจริญไม่เพียงพอของ septum secundum หรือทั้งสองสาเหตุร่วมกันในกรณีที่มีรูเปิดมีขนาดใหญ่มาก

Sinus venosus defect พบได้ใน superior part of interatrial septum ใกล้กับตำแหน่งเปิดของ superior vena cava เป็นหนึ่งในรูปแบบที่พบบ่อยที่สุดของ ASD เกิดจากการ absorb sinus venosus เข้ามาเป็นผนัง right atrium ไม่สมบูรณ์ ร่วมกับมี ความผิดปกติในการสร้าง septum secundum บ่อยครั้งที่พบ sinus venosus defect ร่วมกับ partial anomalous pulmonary venous connections

Endocardial cushion defect with ostium primum defect เกิดจากการไม่เจริญ หรือเจริญไม่สมบูรณ์ของ endocardial cushion ทำให้ septum primum ไม่สามารถเจริญมาเชื่อมกับ endocardial cushion ได้ตามปกติ จึงมักพบ patent foramen primum (ostium primum defect) ร่วมด้วย และมักพบ cleft ที่ anterior cusp of the mitral valve ในกรณีที่รุนแรง คือไม่พบการเจริญของ

endocardial cushion (เรียกว่า common atrioventricular canal) จะเกิด continuous interatrial and interventricular septum defect ร่วมกับ ความผิดปกติอย่างมากของ atrioventricular valves ที่เรียกว่า atrioventricular septal defect ซึ่งพบได้ ประมาณ 20% ในผู้ป่วย Down syndrome แต่ก็พบน้อยมากในภาวะปกติ atrioventricular septal defect นี้ตรวจพบได้โดยทำ ultrasonographic examination of fetal heart

Common atrium (cor triloculare biventriculare) ความผิดปกติที่รุนแรงที่สุดใน ASD group นี้ คือ การไม่มี atrial septum โดยสิ้นเชิง, สภาพเช่นนี้มักร่วมกับความผิดปกติที่รุนแรงในส่วนอื่นของหัวใจด้วย และถ้าพบร่วมกับการไม่สร้าง interventricular septum ด้วย ทำให้หัวใจมีเพียงสองห้อง เรียกว่า cor biculare

Premature closure of the oval foramen บางครั้ง oval foramen ปิดในระหว่าง prenatal life เกิดสภาพที่เรียก premature closure of the oval foramen เลือดจึงค้างอยู่เฉพาะในห้องขวาของหัวใจ ไหลผ่านเข้าห้องด้านซ้ายได้เพียงเล็กน้อยจาก pulmonary veins ส่งผลให้เกิด massive hypertrophy ของ right atrium และ ventricle แต่ในขณะที่เดียวกันจะเกิด underdevelopment ของหัวใจข้างซ้ายแทน เนื่องจากไม่ได้รับการกระตุ้นจากการไหลของเลือด ทารกมักเสียชีวิตหลังเกิดได้ไม่นาน

Ventricular septum defect (VSD)

เป็นความผิดปกติที่พบได้บ่อยที่สุดของ congenital heart defect โดยพบประมาณ 25% ของ defects ทั้งหมด พบได้ในเพศชายมากกว่าเพศหญิง พบได้ทุกตำแหน่งของ interventricular septum ประมาณ 30-50% ของ defect ขนาดเล็กสามารถปิดตัวได้เอง ภายในปีแรกหลังคลอด แต่ถ้ามี defect ขนาดใหญ่อาจก่อให้เกิด left to right shunting ได้ VSD พบได้หลายแบบ

Membranous VSD พบได้บ่อยที่สุดใน VSD เกิดจากความล้มเหลวในการเชื่อมกันของ right and left bulbar ridge และ fused endocardial cushion เพื่อสร้าง septum membranaceum (pars membranacea septi) ถ้า defect มีขนาดใหญ่ร่วมกับมี excessive pulmonary blood flow (เนื่องจากเกิด left to right shunting) และ pulmonary hypertension จะส่งผลให้เกิด dyspnea (difficult breathing) และ cardiac failure in early infancy ได้

Muscular VSD อาจเกิดจาก excessive cavitation of myocardial tissue ในขณะที่มีการ form ventricular wall และ septum ความผิดปกติแบบนี้พบได้ไม่บ่อยนัก แต่พบได้ทุกบริเวณของ muscular part of interventricular septum บางครั้งพบเป็น multiple small defect เรียกว่า Swiss cheese ventricular septum defect

Absence of the interventricular septum (single ventricle หรือ common ventricle) เกิดจากความล้มเหลวในการสร้าง interventricular septum ทำให้พบ ventricle เพียงห้องเดียว และอาจพบ transposition of the great vessels ร่วมด้วย ถ้าพบ single ventricle โดยไม่มีความผิดปกติของ atria ร่วมด้วยจะทำให้หัวใจมี 3 ห้องเรียกว่า cor triloculare (cor triloculare biatriatum) ทารกที่มีความผิดปกติเช่นนี้ส่วนหนึ่งมักเสียชีวิตตั้งแต่ infancy เนื่องจาก congestive heart failure แต่บางครั้งก็อาจมีชีวิตรอดได้ถึงวัย early adult

Dextrocardia

ถ้า heart tube บิดตัวไปทางด้านซ้าย (โดยปกติจะบิดตัวไปทางด้านขวา) ทำให้หัวใจและหลอดเลือดใหญ่ของมันมาอยู่ทางด้านขวาแทนเหมือนภาพสะท้อนในกระจก (mirror image) ถ้าพบเป็น isolated dextrocardia (พบเฉพาะ dextrocardia โดยไม่มีความผิดปกติของ viscera อื่นร่วมด้วย) มักพบ severe cardiac anomalies ร่วมด้วย เช่น single ventricle และ arterial transposition แต่ถ้าพบ dextrocardia with situs inversus (dextrocardia ร่วมกับ transposition of viscera) มักไม่มี cardiac defect อื่น ๆ ร่วมด้วยและหากไม่มี vascular abnormalities อื่นอีก การไหลเวียนโลหิตจะเป็นปกติ ไม่มีผลต่อการดำรงชีวิต

Ectopic cordis

เป็น extremely rare condition ใน thoracic form of ectopic cordis พบหัวใจเจริญอยู่นอกช่องอก อาจเป็นบางส่วนหรือทั้งหมดก็ได้ ซึ่งมักเกิดร่วมกับ widely separated halves of the sternum และ open pericardial sac สาเหตุของ faulty development of sternum and pericardium เกิดเนื่องจากการ fuse กัน ของ lateral body fold เพื่อสร้าง anterior thoracic wall ล้มเหลว ในสัปดาห์ที่ 4 ดังนั้น anterior thoracic wall จึงเปิดอยู่เมื่อคลอดและทำให้หัวใจมาเจริญนอกช่องอก ส่วนใหญ่ทารกมักเสียชีวิตภายในไม่กี่วันหลังคลอด เนื่องจาก infection, cardiac failure หรือ hypoxemia แต่ในปัจจุบันถ้าไม่มี cardiac defect อื่น ๆ ร่วมด้วย อาจผ่าตัดปิด skin และ pericardium ได้ ทำให้ผู้ป่วยมีชีวิตรอดได้ถึง adult นอกจากนี้ในบาง cases พบหัวใจทะลุ diaphragm ไปอยู่ในช่องท้องได้

Acardia

เป็นสภาพที่ไม่มีการสร้างหัวใจเกิดขึ้น ทารกจะเสียชีวิตทันทีเมื่อคลอด

Abnormalities of conducting system

Abnormalities of conducting system อาจทำให้ทารกเสียชีวิตในช่วง 2 ปีแรกได้ ด้วยอาการ crib death (crib=a bed for a baby) หรือ sudden infant death syndrome (SIDS) ซึ่งจัดเป็นสาเหตุการตายอันดับต้น ๆ ของทารกใน developed country (ประมาณ 40-50% ของทารกที่เสียชีวิตในแต่ละปี)

อย่างไรก็ตามเชื่อว่า SIDS อาจเกิดจากสาเหตุอื่นได้ สมมติฐานที่น่าเชื่อถือที่สุด อธิบายว่ามี brain stem developmental abnormality หรือมีความผิดปกติใน neuroregulation of cardiorespiratory control ร่วมด้วย

Valvular defect

การเจริญที่ผิดปกติของ valve ส่วนใหญ่ มักพบร่วมกับการเจริญที่ผิดปกติอื่น ๆ ของหัวใจ อย่างไรก็ตาม valvular defect อาจเกิดเดี่ยว ๆ ได้ พบได้ในทุก valve ของหัวใจโดยมากพบ 2 แบบ

Valvular stenosis เป็นการตีบแคบลง ทำให้เลือดไหลผ่านได้น้อยลง ความดันเหนือลิ้นจะเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันรูที่แคบลงจะทำให้เกิด turbulence เมื่อเลือดไหลผ่าน ทำให้เกิด heart murmur ขึ้น ภาวะ stenosis นี้ นอกจากเกิดจาก congenital anomaly แล้ว มันอาจเป็นผลจากการอักเสบของ valve เช่นใน rheumatic heart disease ส่งผลให้เกิด fibrosis ทำให้ valve ตีบแคบลงก็ได้

Valvular atresia (agenesis) เป็นรูปแบบที่รุนแรงที่สุดของ valvular stenosis นั่นคือ ไม่มีการสร้าง valve เกิดขึ้น พบเป็นแผ่นเนื้อแทนที่ valve ซึ่งจะปิดกั้นโดยสมบูรณ์

Hypoplastic left heart syndrome

Left ventricle มีขนาดเล็กและไม่ทำงาน มักพบร่วมกับ mitral valve atresia ทำให้เลือดไม่ผ่านเข้า left ventricle เลือดใน left atrium จะไหลผ่าน dilated patent foramen ovale (left to right shunting), right atrium, right ventricle, pulmonary trunk และเข้าสู่ aorta ทาง ductus arteriosus (ดังนั้นจะเกิด patent ductus arteriosus ขึ้น) แม้ว่าจะมี compensation ดังกล่าวขึ้น แต่ทารกก็ยังเสียชีวิตภายในไม่กี่สัปดาห์หลังคลอด

นอกจากนี้ ใน hypoplastic left heart syndrome มักพบ aortic valve atresia และ hypoplasia of ascending aorta ร่วมด้วย

Congenital malformation of the great vessels

Great vessels นี้หมายถึง aorta และ pulmonary trunk จึงเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างการเจริญของ bulbus cordis และ truncus arteriosus โดยเฉพาะในช่วงที่มี spiral orientation เกิดขึ้น และพบได้หลายลักษณะ เช่น

Persistent truncus arteriosus

ความล้มเหลวในการแบ่ง truncus arteriosus ทำให้ truncus arteriosus คงอยู่เป็น single trunk เมื่อเลือดจาก right และ left ventricles ไหลผ่านมาปะปนกันทำให้ O_2 ที่ไปเลี้ยงทั่วร่างกายลดลง รวมทั้งพบการเจริญที่ผิดปกติของ interventricular septum pulmonary และ aortic valves ร่วมด้วย นอกจากนี้

ส่วนของ arch of aorta และ pulmonary artery ซึ่งเจริญมาจาก aortic arch จะมาต่อกับ single truncus arteriosus ได้หลายรูปแบบ

Aorticopulmonary septal defect

เป็น rare condition โดยจะพบ รูเปิดเล็ก ๆ (aortic window) ระหว่าง aorta และ pulmonary trunk ใกล้กับ aortic valve ความผิดปกตินี้ เกิดจาก localized defect ในระหว่างที่มีการสร้าง aorticopulmonary septum ทำให้พบเป็นรูเปิดดังกล่าว แต่ การสร้าง interventricular septum pulmonary และ aortic valves ยังเป็นปกติ

Transposition of great vessels

เป็น most common cause ของ cyanotic heart disease ในทารก โดย transposition of great vessels มักพบร่วมกับ cardiac anomalies อื่น ๆ ความผิดปกตินี้เกิดเนื่องจาก truncal ridge ไม่มี spiral orientation เกิดขึ้น ทำให้ aorta และ pulmonary trunk สลับตำแหน่งกัน ดังนั้น pulmonary trunk จะออกจาก left ventricle ในขณะที่ aorta จะออกจาก right ventricle แทน ทำให้เลือดที่ไปเลี้ยงทั่วร่างกายเป็นเลือดที่มี low O₂ อาจพบ patent foramen ovale หรือ patent ductus arteriosus ร่วมด้วย เพื่อนำเลือดที่มี high O₂ เต็มลงในเลือดที่ไปเลี้ยงร่างกายแต่ก็ช่วยได้ไม่มากนัก ดังนั้นหากไม่ได้รับการผ่าตัดเพื่อแก้ไข ทารกจะเสียชีวิตภายในไม่กี่เดือนหลังคลอด

Unequal division of truncus arteriosus

Truncus arteriosus จะถูกแบ่งเป็น aorta และ pulmonary trunk ที่เท่า ๆ กันคือ แต่ถ้า partitioning ที่เกิดขึ้นแบ่ง truncus arteriosus ไม่เท่ากัน ทำให้หลอดเลือดหนึ่งมีขนาดใหญ่ แต่อีกหลอดเลือดหนึ่งมีขนาดเล็ก รวมทั้ง partition ที่เกิดขึ้นนี้จะไม่อยู่ในแนวเดียวกับ interventricular septum ผลที่ได้คือ หลอดเลือดที่มีขนาดใหญ่จะคร่อม (override) ventricles ทั้งสองห้อง ทำให้เลือดที่มี high O₂ และ low O₂ ปะปนกัน และมี VSD ร่วมด้วย

Tetralogy of Fallot

เป็นรูปแบบ classic ของ unequal division of truncus arteriosus โดย aorta จะมีขนาดใหญ่แต่ pulmonary trunk จะมีขนาดเล็ก ประกอบด้วยอาการสำคัญ 4 ประการ ได้แก่

Dextroposition of aorta (overriding aorta) คือ aorta ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนมันคร่อม ventricles ทั้งสองห้อง ทำให้เลือดจากทั้ง left และ right ventricles ไหลมาปะปนกัน

Ventricular septal defect ดังได้กล่าวแล้ว เมื่อ bulbar ridges ไม่สามารถเชื่อมกับ interventricular septum ทำให้เกิด VSD ขนาดใหญ่ขึ้น

Pulmonary stenosis เมื่อ pulmonary trunk มีขนาดเล็กมาก จะทำให้ pulmonary valve ตีบแคบลงด้วย และในรูปแบบที่รุนแรงมากของ Tetralogy of Fallot จะพบเป็น pulmonary atesia คือไม่มีการสร้าง pulmonary valve

Right ventricular hypertrophy เมื่อมี pulmonary stenosis เกิดขึ้น right ventricle ต้องทำงานหนักขึ้นเพื่อขับเลือดผ่าน pulmonary valve ให้ได้ ทำให้ right ventricle ขยายขนาด (hypertrophy) จนอาจใหญ่กว่าปกติ ได้ สำหรับ degree of hypertrophy นี้ขึ้นกับ degree of stenosis

ในช่วงแรกเกิด แรงจาก left ventricle มากกว่า การผสมของเลือดจึงเป็น left to right shunting เลือดที่ไปเลี้ยงทั่วร่างกายจึงยังเป็น high O₂ แต่ต่อมาเมื่อเกิด right ventricular hypertrophy มากขึ้น ทำให้กระแสของเลือดเปลี่ยนเป็น right to left shunting เลือดผสมที่ไปเลี้ยงทั่วร่างกายจะกลายเป็นเลือดที่มี low O₂ แทน ดังนั้น ในทารกจึงยังไม่พบ cyanosis แต่จะปรากฏในภายหลัง

Development of blood vessel

เนื่องจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของ embryo ทำให้สารอาหารซึ่งเดิมได้รับผ่านทาง syncytiotrophoblastic lacuna จึงไม่เพียงพออีกต่อไป ทำให้ระบบหลอดเลือดมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ในสัปดาห์ที่ 3 เพื่อนำสารอาหารและ O₂ จากแม่มาหล่อเลี้ยง embryo ให้เพียงพอับความต้องการ การสร้างหลอดเลือดขึ้นนี้เรียกว่า angiogenesis และการสร้าง blood corpuscles เรียกว่า hemopoiesis

Angiogenesis เกิดขึ้นทั้ง นอกตัว embryo (extraembryonic angiogenesis เกิดขึ้นประมาณวันที่ 15) และในตัว embryo (intraembryonic angiogenesis เกิดขึ้นประมาณวันที่ 17) ซึ่งวิธีสร้างหลอดเลือดทั้งสองที่เหมือนกัน โดย mesenchyme ที่จะสร้างหลอดเลือด จะมารวมกันกลายเป็น blood island หรือ angiogenic cell cluster เรียก mesenchymal cell เหล่านี้ว่า angioblast ซึ่ง cell เหล่านี้จะเจริญเป็น cells 2 ชนิดคือ primitive endothelial cell และ primitive blood cell

Primitive endothelial cell โดย angioblast ส่วนหนึ่งจะเปลี่ยนรูปร่างกลายเป็น cell ที่แบน (squamous cell) และมาเรียงตัวล้อมเป็นวงโดยมี angioblast อีกส่วนหนึ่งอยู่ตรงกลางวง angioblast ที่แบนเหล่านี้จะกลายเป็น endothelial lining ของ blood vessel ต่อไป

Primitive blood cell เป็น angioblast ส่วนที่อยู่กลางวงจะเปลี่ยนรูปร่างเป็น cell รูปกลม ซึ่งจะสร้าง blood plasma ที่ไหลเวียนในเส้นเลือดต่อไป

Hemopoiesis ในระยะแรกสร้างใน blood island ดังกล่าว แต่ต่อมาจะมี specific hemopoietic organ เกิดขึ้น โดยในสัปดาห์ที่ 5 จะเกิดใน liver และในเดือนที่ 3-5 (บางตำราว่า เดือนที่ 2-4) จะเกิดใน spleen, thymus และ lymph node ในเดือนที่ 4 จะเริ่มมี hemopoiesis ที่ bone marrow แต่ ภายหลังเดือนที่ 5 organ อื่น ๆ จะเริ่มหยุดการสร้างเม็ดเลือด แต่ bone marrow จึงมีบทบาทมากและในที่สุดจะ

เป็นแหล่งเดียวที่มีการสร้างเม็ดเลือดอยู่ภายหลังคลอด รายละเอียดของ hemopoiesis จะไม่กล่าวในบทเรียนนี้ ให้ศึกษาใน ทพย 233

หลอดเลือดที่สร้างขึ้นในแต่ละ blood island จะยืดยาวออกและเชื่อมกับหลอดเลือดใน blood island ข้างเคียง เกิดเป็น plexus ของ blood vessel และเจริญต่อไปจนกลายเป็นหลอดเลือดในที่สุด ต่อมา mesenchyme ที่อยู่รอบ blood vessel จะเจริญเป็น smooth muscle และ connective tissue ล้อมรอบ blood vessel ต่อไป

Development of arterial system

Artery ใน embryonic circulation ประกอบด้วย 3 circuit คือ umbilical system, vitelline system และ aortic system

Development of umbilical arterial system

Umbilical system ประกอบด้วย umbilical artery 2 เส้น ซ้ายและขวา เป็นแขนงของ dorsal aorta นำ low O₂ blood จาก embryo ผ่าน umbilical cord ไปยัง placenta เพื่อแลกเปลี่ยนกับแม่และนำ high O₂ blood กลับทาง umbilical vein

ภายหลังคลอดเมื่อ umbilical cord ถูกตัด, proximal part of umbilical artery จะกลายเป็น internal iliac artery (ไปเลี้ยง lower limbs) และ superior vesical artery (ไปเลี้ยง urinary bladder) แต่ส่วน distal part จะฝ่อลีบไปกลายเป็น medial umbilical ligament บริเวณด้านในของ anterior abdominal wall

Development of vitelline arterial system

Vitelline system ประกอบด้วย vitelline (omphalomesenteric) artery ซ้ายและขวา เป็นแขนงของ dorsal aorta นำเลือดไปยัง yolk sac เพื่อรับสารอาหารจาก yolk sac กลับทาง vitelline vein เข้าสู่หัวใจต่อไป และต่อมา vitelline artery จะมีการเปลี่ยนแปลงร่วมกับ ventral branch อื่น ๆ ของ dorsal aorta กลายเป็น celiac, superior mesenteric และ inferior mesenteric arteries

Development of aortic system

Aortic system ประกอบด้วย dorsal aorta, ventral aorta และ aortic arch 6 คู่ นำ arterial blood ออกจากหัวใจผ่าน ventral aorta และ aortic arch ไปยัง dorsal aorta เพื่อไปเลี้ยงทั่วร่างกายและติดต่อกับ cardinal venous system นำ venous blood กลับสู่หัวใจ

Ventral aorta

Ventral aorta เป็นหลอดเลือดที่ต่อจากหัวใจทาง cranial, อยู่ dorsal ต่อ pharynx ต่อมาเมื่อหัวใจเคลื่อนไปทางด้าน caudal มากขึ้น ทำให้ ventral aorta ยืดยาวมากขึ้น และติดต่อกับ dorsal aorta ผ่านทาง aortic arch ทั้ง 6 คู่

Ventral aorta เดิมมี 2 เส้น แต่ต่อมา fused รวมเป็นเส้นเดียวเรียกว่า aortic sac เมื่อ truncus arteriosus มีการเจริญมากขึ้นและแบ่งตัวเป็นหลอดเลือดใหญ่ 2 เส้น truncal ridges นี้จะเจริญไปแบ่ง aortic sac ที่อยู่ติดกันด้วย ทำให้ aortic sac ถูกแบ่งเป็น aorta และ pulmonary trunk นอกจากนี้ aortic sac ส่วนที่เจริญเป็น aorta ยังเจริญต่อไปเป็น brachiocephalic trunk อีกด้วย

Aortic arch

Aortic arch มีทั้งหมด 6 คู่ เจริญอยู่ใน mesoderm ของ pharyngeal arch ทั้ง 6 arches ซึ่ง aortic arch นี้ จะเจริญติดต่อกันระหว่าง ventral และ dorsal aorta แต่ aortic arch 6 ทั้งคู่จะเจริญไม่พร้อมกัน โดยคู่ที่อยู่ cranial กว่า จะเจริญก่อน และเสื่อมสลายหรือพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปก่อน จึงไม่พบ aortic arch 6 คู่ พร้อมกัน aortic arch แต่ละคู่จะเจริญดังนี้

Aortic arch คู่ที่ 1 จะฝ่อลีบไปเกือบหมดเหลืออยู่เป็น maxillary artery ทั้งซ้ายและขวา

Aortic arch คู่ที่ 2 จะฝ่อลีบไปเกือบหมดเหลืออยู่เป็น hyoid และ stapedius artery ทั้งซ้ายและขวา

Aortic arch คู่ที่ 3 proximal part จะกลายเป็น common carotid artery และ distal part เจริญร่วมกับ dorsal aorta ที่อยู่ cranial ต่อ third aortic arch กลายเป็น internal carotid artery ส่วน external carotid artery จะเจริญขึ้นมาใหม่และมาเชื่อมต่อกับ common carotid artery นอกจากนี้ ส่วนของ dorsal aorta ที่อยู่ระหว่าง third และ fourth aortic arch จะเสื่อมสลายไป

Aortic arch คู่ที่ 4 ข้างซ้ายและขวาจะมีการเจริญไม่เหมือนกัน

Left fourth aortic arch จะกลายเป็น arch of aorta (arch of aorta เจริญมาจาก 3 ส่วน คือ aortic sac, left fourth aortic arch และ left dorsal aorta บริเวณที่ติดกับ left fourth aortic arch) สำหรับส่วนของ dorsal aorta ที่อยู่ caudal ต่อ left fourth aortic arch จะคงอยู่และกลายเป็น descending aorta

Right fourth aortic arch จะกลายเป็น first part of right subclavian artery และ aortic sac บริเวณนี้จะกลายเป็น brachiocephalic trunk สำหรับ right dorsal aorta ที่อยู่ระหว่าง right fourth aortic arch จนถึง right seventh intersegmental artery จะหดสั้นลง กลายเป็น second part of right subclavian artery และส่วน right dorsal aorta ช่วงที่อยู่ระหว่าง right seventh intersegmental artery กับ descending aorta จะเสื่อมสลายไป ทำให้ right seventh intersegmental artery เองไม่ติดต่อกับ dorsal aorta อีกต่อไป และต่อมากลายเป็น third part of right subclavian artery สำหรับ left subclavian artery เจริญมาจาก left seventh intersegmental artery

Aortic arch คู่ที่ 5 จะเจริญอยู่ไม่นานนัก และเมื่อ embryo 7 mm CR stage, fifth aortic arch จะเสื่อมสลายไปหมดจนไม่เห็นร่องรอย ทั้งซ้ายและขวา

Aortic arch คู่ที่ 6 (pulmonary arch) ข้างซ้ายและขวาจะมีการเจริญไม่เหมือนกัน

Left sixth aortic arch, proximal part ของมันจะกลายเป็น left pulmonary artery แต่ distal part ของมัน จะเจริญเป็น ductus arteriosus ซึ่งเชื่อมระหว่าง left pulmonary artery และ dorsal aorta เป็นช่องทางที่ให้เลือดลัดจาก pulmonary trunk ผ่าน left pulmonary artery ไปยัง dorsal aorta เพื่อไปเลี้ยงตัวร่างกาย ในขณะที่ยังอยู่ในครรภ์มารดา (prenatal period) แต่ภายหลังคลอด ductus arteriosus จะฝ่อลีบลงกลายเป็น ligamentum arteriosum ถ้าหาก ductus arteriosus คงอยู่ภายหลังคลอดจะทำให้ venous blood และ arterial blood ผสมกัน เลือดใน aorta จะมี O_2 ต่ำลง

Right sixth aortic arch จะฝ่อลีบไปเกือบหมดเหลืออยู่บริเวณ proximal part กลายเป็น right pulmonary artery

ในขณะที่ aortic arch ทั้งหมด เจริญไปดังกล่าวแล้วนั้น เป็นช่วงเวลาเดียวกับที่ truncus arteriosus และ aortic sac แบ่งตัวเป็น ascending aorta และ pulmonary trunk พอตี ผลจากการแบ่ง ทำให้ ascending aorta ที่ได้ไปต่อกับ left third and fourth aortic arch และ pulmonary trunk ไปเชื่อมต่อกับ left sixth aortic arch นั้นเอง

นอกจากนี้ ยังมีความเปลี่ยนแปลงอีกประการหนึ่งที่น่าสนใจ คือ recurrent laryngeal nerve ซึ่งเป็นแขนงของ vagus nerve ที่ทอดออกมาและคล้องลอดใต้ distal part of sixth aortic arch ก่อนวกกลับขึ้นไปเลี้ยง larynx ซึ่งหลังการเปลี่ยนแปลงของ sixth aortic arch ดังกล่าว มีผลให้ left recurrent laryngeal nerve จะคล้อง ligamentum arteriosum ลอดใต้ aorta แต่ จากการเสื่อมสลายไปของ right fifth aortic arch และ distal part of right sixth aortic arch ทำให้ right recurrent laryngeal nerve เลื่อนไปคล้องลอดใต้ right fourth aortic arch ซึ่งจะเจริญเป็น right subclavian artery แทน ทำให้ระดับววกกลับของ recurrent laryngeal nerve ทั้งสองข้างใน adult จึงไม่เท่ากัน โดยข้างขวาจะลอดใต้ right subclavian artery แต่ข้างซ้ายลอดใต้ arch of aorta

Dorsal aorta

Dorsal aorta ทอดอยู่ทางด้าน dorsal ของ embryo มี 2 เส้น ซ้ายและขวา อยู่ ventrolateral ต่อ notochord แต่ต่อมา dorsal aorta ทั้งสองเส้นที่ caudal ต่อระดับ eleventh somite จะมารวมเป็นเส้นเดียว อยู่ ventral ต่อ notochord และ dorsal ต่อ foregut cranial part of dorsal aorta จะติดต่อกับ ventral aorta ผ่านทาง aortic arch ทั้ง 6 คู่ แขนงของ dorsal aorta ได้แก่

1. Dorsal branch

เป็นแขนงทางด้าน dorsal ของ dorsal aorta มี 30 คู่ ซ้ายและขวา อยู่ระหว่าง somite ทำให้ได้ชื่อว่า (dorsal) intersegmental artery เริ่มแรก ให้ dorsal branch of dorsal intersegmental artery ไปสู่ spinal cord, muscle และ skin ทางด้านหลัง ต่อมา dorsal branch เล็กลงและมี ventral branch เกิดขึ้น ทอดไปสู่ somite และ body wall

Dorsal branch of dorsal intersegmental artery บริเวณคอ (คู่ที่ 1-6) เชื่อมกันในแนว vertical ในตำแหน่งที่ transverse process ของ cervical vertebrae กำลังเจริญ การเชื่อมต่อกันของหลอดเลือดนี้

เรียกว่า postcostal anastomosis กลายเป็น vertebral artery ซึ่งทอดผ่าน foramen transversarium ของ transverse process of cervical vertebrae 1-6 และ vertebral artery ที่เกิดขึ้นนี้จะเจริญลงมา anastomose กับ seventh intersegmental artery (ซึ่งต่อมากลายเป็น subclavian artery) สำหรับส่วนของหลอดเลือดที่อยู่ระหว่าง dorsal artery และ vertebral artery จะสลายไปหมด ทำให้ vertebral artery กลายเป็นแขนงของ subclavian artery ในที่สุด

Vertebral artery ยังเจริญขึ้นไปทาง cranial ไป anastomose กับ caudal end of basilar artery ที่เจริญอยู่บริเวณ ventral surface ของ brain stem ซึ่งต่อมา basilar artery นี้ จะเจริญไป anastomose กับ internal carotid artery เกิดเป็นวงล้อมของหลอดเลือด บริเวณ interpeduncular fossa เรียกว่า circle of Willis

Ventral branch of dorsal intersegmental artery จะเจริญได้ดีในช่วงอกและ lumbar โดยเกิด anastomosis ของหลอดเลือดบางส่วนกลายเป็น intercostal, lumbar, internal thoracic และ lateral sacral arteries

Internal thoracic artery มีการเจริญคล้ายกับ vertebral artery กล่าวคือ ventral branch of dorsal intersegmental artery จะทอดมาทางด้านหน้าและเกิด anastomosis ในแนว vertical เรียกว่า ventral anastomosis นอกจากนี้ internal thoracic artery ยังเจริญไปทาง cranial และเชื่อมต่อกับ subclavian artery ทำให้ internal thoracic artery กลายเป็นแขนงของ subclavian artery ในที่สุด

2. Lateral branch

แขนงกลุ่มที่ทอดออกทาง lateral ของ dorsal aorta ทอดออกเป็นคู่ แต่ไม่จัดตัวเป็นระเบียบแบบกลุ่ม dorsal branch หลอดเลือดในกลุ่มนี้ ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่เจริญเป็น kidney, suprarenal gland และ gonad จึงมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นเลือดไปตามการเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อที่มันไปหล่อเลี้ยง (รายละเอียดเกี่ยวกับพัฒนาการของเนื้อเยื่อเหล่านี้ ศึกษาเพิ่มเติมใน development of urogenital system) และสุดท้ายเมื่อได้เนื้อเยื่อถาวรแล้ว หลอดเลือดที่เหลืออยู่และคงอยู่ภายหลังคลอดได้แก่ inferior phrenic artery ไปเลี้ยง diaphragm, renal artery ไปเลี้ยง kidney, suprarenal artery ไปเลี้ยง suprarenal gland และ testicular artery ในเพศชาย ไปเลี้ยง testis หรือ ovarian artery ในเพศหญิง ไปเลี้ยง ovary

3. Ventral branch

เป็นหลอดเลือดที่ทอดออกทางด้าน ventral ของ dorsal aorta ส่วนใหญ่ไปเลี้ยง gut ส่วนต่าง ๆ รวมทั้ง vitelline และ umbilical arteries จัดเป็น ventral branch ของ dorsal aorta ด้วย ต่อมาเมื่อ embryo 8 mm CR stage, ventral branch เหลืออยู่เพียง 4 ชุด ได้แก่

3.1 Umbilical artery ยังคงอยู่เพื่อนำเลือดจาก embryo ไปแลกเปลี่ยนกับมารดาที่ placenta และภายหลังคลอดจะเปลี่ยนแปลงไปตามที่อธิบายข้างต้น (ดูหัวข้อ Development of umbilical arterial system)

3.2 Vitelline artery จะรวมกับ ventral branch อื่น ๆ และกลายเป็น หลอดเลือด 3 ชุด ซึ่งไปเลี้ยง gut ส่วนต่าง ๆ ได้แก่

- Celiac trunk ไปเลี้ยง distal part of foregut ได้แก่ stomach, บางส่วนของ duodenum, pancreas, liver และ gall bladder รวมทั้งไปเลี้ยง spleen ด้วย
- Superior mesenteric artery ไปเลี้ยง midgut ได้แก่ บางส่วนของ duodenum, jejunum, ileum และ บางส่วนของ large intestine
- Inferior mesenteric artery ไปเลี้ยง hindgut ได้แก่ ส่วนของ large intestine ตั้งแต่ descending colon จนถึงบางส่วนของ rectum

Congenital malformation of the arteries

เนื่องจากความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างซับซ้อนของการสร้าง arteries โดยเฉพาะใน aortic arch development ทำให้ anomalies ต่าง ๆ เกิดขึ้นได้ เช่น

Coarctation of aorta

พบได้ประมาณ 10% ในผู้ป่วย congenital heart defect ปรากฏในผู้ชายมากกว่าผู้หญิงประมาณ 2 เท่า พบว่า aorta ในช่วงที่อยู่ distal ต่อ origin of left subclavian artery จะตีบแคบลง (coarctation=constriction artery) ทำให้เลือดผ่านไปเลี้ยง lower part ของร่างกายได้ยาก เนื่องจากช่วงตีบนี้อยู่ใกล้ ductus arteriosus (juxtaductal coarctation) ทำให้สามารถใช้ ductus arteriosus แบ่ง coarctation of aorta ได้เป็น 2 แบบ

Postductal coarctation รอยคอดของ aorta จะอยู่ distal ต่อ ductus arteriosus ดังนั้น ductus arteriosus จะฝ่อลีบไป แต่จะอาศัย collateral circulation เพื่อส่งเลือดผ่านไปเลี้ยง lower part ของร่างกาย collateral circulation ดังกล่าว คือ การส่งเลือดจาก subclavian artery ไหลผ่านการ anastomosis ของหลอดเลือดในผนังช่องอก ได้แก่ internal thoracic, anterior and posterior intercostal, superior epigastric, musculophrenic arteries และ descending thoracic aorta ไปเลี้ยง lower part ของร่างกาย

Preductal coarctation พบได้น้อยกว่าแบบแรก โดยรอยคอดของ aorta จะอยู่ proximal ต่อ ductus arteriosus ดังนั้น ductus arteriosus จะคงอยู่เพื่อเป็นทางผ่านให้เลือดจาก pulmonary trunk ผ่านเข้าสู่ aorta และไปเลี้ยง lower part ของร่างกาย

สาเหตุของ coarctation of aorta นั้นยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามันเป็นลักษณะหนึ่งใน Turner syndrome ด้วย

Patent ductus arteriosus

Ductus arteriosus จะฝ่อลีบลงกลายเป็น ligamentum arteriosum ภายใน 6 เดือนหลังคลอด แต่ถ้าหาก ductus arteriosus คงอยู่ จะทำให้ venous blood จาก pulmonary artery ไหลไปปะปนกับ arterial blood ใน aorta ทำให้ เลือดใน descending aorta มี O_2 ต่ำลง

Double aortic arch

ส่วน right dorsal aorta ช่วงที่อยู่ระหว่าง right seventh intersegmental artery กับ descending aorta จะเสื่อมสลายไปในระหว่าง development แต่ถ้ามันยังคงอยู่จะกลายเป็น right arch of aorta ซึ่งมักมีขนาดใหญ่กว่า right arch และทอดทาง posterior ต่อ trachea และ esophagus เมื่อร่วมกับ left arch of aorta ที่ form ตามปกติ และทอดทาง anterior ต่อ trachea และ esophagus เกิดเป็น vascular ring รัตรอบ trachea และ esophagus ถ้ารัตรอบมากจะมีผลต่อการหายใจทำให้เกิด wheezing และอาการจะรุนแรงขึ้นเมื่อร้องไห้, รับประทานอาหาร หรือกัมศิรัษะ

Right arch of aorta

ส่วน left dorsal aorta ช่วงที่อยู่ระหว่าง left seventh intersegmental artery กับ descending aorta ซึ่งปกติจะคงอยู่และกลายเป็นส่วนหนึ่งของ arch of aorta จะเสื่อมสลายไปในระหว่าง development แต่ส่วน right dorsal aorta ช่วงที่อยู่ระหว่าง right seventh intersegmental artery กับ descending aorta ซึ่งควรเสื่อมสลายไปในระหว่าง development แต่กลับคงอยู่ทำให้ arch of aorta ปรากฏทางด้านขวาแทน พบได้ 2 แบบ

Right arch of aorta without a retropharyngeal component ปรากฏ right arch of aorta อยู่ anterior ต่อ trachea และ esophagus และ ductus arteriosus (หรือเมื่อคลอดกลายเป็น ligamentum arteriosum) ติดต่อระหว่าง right pulmonary artery กับ right arch of aorta ความผิดปกติแบบนี้ไม่พบ vascular ring จึงมักไม่มีอาการทางคลินิก

Right arch of aorta with a retropharyngeal component ความผิดปกติเช่นนี้เชื่อว่าเดิมเกิดเป็น double arch of aorta ก่อน จากนั้น left arch of aorta ซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามากและทอดอยู่ anterior ต่อ trachea และ esophagus เสื่อมสลายไป จึงหลงเหลือเพียง right arch of aorta อยู่ posterior ต่อ trachea และ esophagus และ ductus arteriosus (หรือเมื่อคลอดกลายเป็น ligamentum arteriosum) ยึดติดกับ distal part of right arch of aorta ทำให้เกิด vascular ring ซึ่งอาจมีผลต่อการหายใจและรับประทานอาหาร

Abnormal origin of right subclavian artery

ถ้า right fourth aortic arch และ right dorsal aorta ส่วนที่อยู่ cranial ต่อ right seventh intersegmental artery ซึ่งปกติคงอยู่ กลับเสื่อมสลายไป แต่ right dorsal aorta ช่วงที่อยู่ระหว่าง right seventh intersegmental artery กับ descending aorta ซึ่งต้องเสื่อมสลายไป กลับคงอยู่ ทำให้ right seventh intersegmental artery (ซึ่งต่อมากลายเป็น right subclavian artery) ติดต่อกับ distal part ของ left dorsal aorta และเมื่อมี development ต่อไปจนได้ arch of aorta แล้ว พบว่า right subclavian artery นี้จะอยู่ distal ต่อ left subclavian artery และทอดอยู่ posterior ต่อ trachea และ esophagus เพื่อไปเลี้ยง right upper limb หลอดเลือดนี้จึงอาจเรียกว่า retroesophageal right subclavian artery ถึงแม้ความผิดปกตินี้จะก่อให้เกิด vascular ring เสมอ แต่ ring ที่ได้มักไม่รัด trachea และ esophagus แน่นนัก ทำให้ไม่ค่อยพบการแสดงอาการทางคลินิก

Development of venous system

Development ของ vein ที่จะอธิบายต่อไปนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงจากระบบเลือดใน embryo มาสู่ adult เท่านั้น ส่วน vein อื่น ๆ มีพัฒนาการร่วมกับ artery และมี development เช่นเดียวกับหลอดเลือดอื่น ๆ คือ mesenchyme จะรวมตัวกันเป็น angiogenic cell cluster เพื่อสร้างเป็นหลอดเลือด และแต่ละ cluster จะเชื่อมต่อกันเป็นร่างแห และกลายเป็นเส้นเลือดต่อไป

สำหรับ venous system ใน embryo ซึ่งจะติดตามการเจริญต่อไปมี 3 ระบบได้แก่

1. Umbilical venous system นำเลือดที่มี high nutrient และ O_2 จาก placenta มาสู่ embryo
2. Vitelline venous system นำเลือดจาก yolk sac มาสู่ embryo
3. Cardinal venous system นำเลือดที่มี low O_2 จากส่วนต่าง ๆ ของ embryo เข้าสู่หัวใจ

Development of umbilical venous system

Development ของ umbilical venous system เริ่มในสัปดาห์ที่ 5 umbilical venous system ประกอบด้วย umbilical vein 1 คู่ (ซ้ายและขวา) นำเลือดที่มี high nutrient และ O_2 จากแม่ผ่านทาง placenta, umbilical cord และเข้าสู่ embryo และทอดอยู่ lateral ต่อ vitelline vein ผ่าน septum transversum ซึ่งมีตับเจริญอยู่ ไปสิ้นสุดที่หัวใจผ่านทาง sinus venosus

ต่อมาเมื่อตับเจริญใหญ่มากขึ้นจนขยายเบียด umbilical vein ทั้งสองเส้น ทำให้เส้นเลือดนี้แตกแขนงติดต่อกับ sinusoid ของตับ และ sinusoid ส่วนหนึ่ง ได้ขยายตัวเพื่อรับเลือดจาก left umbilical vein ไปยัง ส่วนต้นของ right vitelline vein ซึ่งต่อมากลายเป็น hepatic segment of inferior vena cava ช่องทางลัดที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ductus venosus ดังนั้นเลือดจึงไหลผ่านตับมากและง่ายขึ้น จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในระบบเลือดนี้ขึ้น โดยใช้ตับเป็นตัวแบ่ง umbilical vein ออกเป็นสองส่วน ส่วนต้น (proximal part) ซึ่งอยู่ระหว่าง ตับกับหัวใจจะสลายไป เนื่องจากเลือดส่วนใหญ่ผ่านไปทาง sinusoid และส่วนปลาย

(distal part) ซึ่งอยู่ caudal ต่อดับนั้น vein ทางด้านขวาสายตัวไปหมด ในสัปดาห์ที่ 8 ส่วนทางด้านซ้ายจะคงอยู่และเมื่อทอดมาถึงตับจะแตกแขนงเข้าสู่ sinusoid หรือลัดเข้าสู่ ductus venosus ไปสู่ inferior vena cava

เมื่อคลอด, umbilical cord จะถูกตัดทำให้ไม่มีเลือด ผ่านทาง left umbilical vein เป็นเหตุให้ left umbilical vein ฝ่อลีบไปกลายเป็น ligamentum teres (round ligament) of liver และ ductus venosus ฝ่อลีบ กลายเป็น ligamentum venosum ใน adult

Development of vitelline venous system

Development ของ vitelline venous system เริ่มในสัปดาห์ที่ 4 vitelline venous system ประกอบด้วย vitelline (omphalomesenteric) vein 1 คู่ (ซ้ายและขวา) นำเลือดที่มี nutrient จาก yolk sac เข้าสู่ embryo ผ่าน septum transversum ซึ่งมีตับเจริญอยู่ ไปสิ้นสุดที่หัวใจผ่านทาง sinus venosus

หลอดเลือดชุดนี้จัดเป็นหลอดเลือดของ primitive gut ดังนั้นต่อมาเมื่อ gut มีการเปลี่ยนแปลงทำให้หลอดเลือดระบบนี้ จึงดัดแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงของ gut นั้นด้วย (รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของ gut ศึกษาใน development of the digestive system)

Vitelline vein จะทอดตัวอยู่ lateral ต่อดับ ซึ่งเจริญอยู่ใน septum transversum และเมื่อตับขยายตัวมากขึ้นจะเบียด vitelline vein จนทำให้ vein นี้ แตกแขนงภายในตับ เกิดเป็น sinusoid of liver ขึ้น และเมื่อตับเจริญต่อไปอีกก็จะเบียด umbilical vein ที่อยู่ lateral ต่อ vitelline vein ดังได้กล่าวแล้ว

ดังนั้นใช้ดัดแบ่ง vitelline vein ได้เป็น 2 ส่วนได้แก่ proximal และ distal part of vitelline vein
Proximal part of vitelline vein คือส่วนของ vein ที่อยู่ระหว่างตับกับหัวใจ ทางด้านขวาจะเจริญไปเป็น hepatic segment of inferior vena cava และ hepatic vein ส่วน left proximal vitelline vein จะสลายไปหมด

สำหรับ *distal part of vitelline vein* คือ ส่วนที่อยู่ caudal ต่อดับ นั้นจะเกิด cross anastomosis ระหว่าง vitelline ซ้ายและขวา 3 ตำแหน่งรอบ duodenum ได้แก่ cranial (superior) anastomosis อยู่ ventral ต่อ duodenum, middle anastomosis อยู่ dorsal ต่อ duodenum และ caudal (inferior) anastomosis อยู่ ventral ต่อ duodenum หลังจากนั้น left vitelline vein ที่อยู่ระหว่าง cranial กับ middle anastomosis และ right vitelline vein ที่อยู่ระหว่าง middle กับ caudal anastomosis เสื่อมสลายไป distal vitelline vein จึงหลงเหลือเป็นหลอดเลือดรูปตัวเอส (S) พันรอบ duodenum ซึ่งหลอดเลือดนี้กลายเป็น hepatic portal vein ที่นำเลือดจากทางเดินอาหารเข้าสู่ตับ

Development of cardinal venous system

Cardinal venous system ประกอบด้วย anterior cardinal vein ซึ่งรับเลือดที่มี low O₂ จาก cephalic part ของ embryo และ posterior cardinal vein ซึ่งรับเลือดที่มี low O₂ จาก caudal part

ของ embryo ทั้ง anterior และ posterior cardinal vein จะรวมกันเทลงสู่ common cardinal vein (duct of Cuvier) และเข้าสู่หัวใจทาง sinus venosus

Development of anterior cardinal vein

Anterior cardinal vein (precardinal vein) ปรากฏเริ่มต้นเป็น plexus ของหลอดเลือด บริเวณสมองที่กำลังเจริญ แล้วรวมเป็นหลอดเลือดที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทอด caudally มาบรรจบกับ posterior cardinal vein เพื่อเทเข้าสู่หัวใจต่อไป

Anterior cardinal vein แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ primary head vein และ true precardinal vein

primary head vein เป็นส่วนของ vein ที่อยู่เหนือฐานของศีรษะขึ้นไป ซึ่งจะเจริญเป็นหลอดเลือดดำรวมทั้งโพรงเลือดดำในสมองต่อไป

สำหรับส่วนของ anterior cardinal vein ที่อยู่ระหว่างฐานของศีรษะและหัวใจ เรียกว่า *true precardinal vein* ซึ่งในปลายสัปดาห์ที่ 7 (บางตำราว่าสัปดาห์ที่ 8) จะมีเจริญขึ้นใหม่เชื่อมระหว่าง anterior cardinal vein ซ้ายและขวา เรียกว่า oblique anastomosis ดังนั้นเลือดจาก left anterior cardinal vein ลัดไปสู่ right anterior cardinal vein ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ anterior cardinal vein ขึ้น ดังนี้

1. Left anterior cardinal vein ที่อยู่ caudal ต่อ oblique anastomosis (คือส่วนของ vein ที่อยู่ระหว่าง oblique anastomosis กับ หัวใจ) จะเสื่อมสลายไป กลายเป็น ligament ใน superior vena cava บางตำราว่าหลงเหลืออยู่เล็กน้อยเป็น left highest intercostal vein

2. Left common cardinal vein คงอยู่และกลายเป็น oblique vein of left atrium เทเข้าสู่ coronary sinus

3. Oblique anastomosis เจริญเป็น left brachiocephalic vein

4. Right anterior cardinal vein ที่อยู่ cranial ต่อ oblique anastomosis เจริญเป็น right brachiocephalic vein

5. Right anterior cardinal vein ที่อยู่ caudal ต่อ oblique anastomosis จะรวมกับ right common cardinal vein เจริญเป็น superior vena cava

6. Left horn of sinus venosus เจริญเป็น coronary sinus

7. Right horn of sinus venosus เจริญเป็น ส่วนเรียบของ right atrium (sinus venarum cavarum)

Development of posterior cardinal vein

Posterior cardinal vein รับ venous blood จาก caudal part ของ embryo เจริญอยู่ในผนังลำตัวทางด้าน dorsal และอยู่ dorsolateral ต่อ mesonephros (ไตชุดที่ 2) นำเลือดเข้าสู่ common cardinal vein

Posterior cardinal vein มีอยู่ 2 เส้น ข้างซ้ายและขวาอย่างละ 1 เส้น ซึ่ง caudal end ของ vein ทั้งสองเส้นนี้จะมีการเจริญเชื่อมกับข้างตรงข้ามเรียกว่า iliac anastomosis ซึ่งต่อมา iliac anastomosis นี้จะเจริญเป็นส่วนท้ายสุดของ inferior vena cava และ left and right common iliac vein นอกจากนี้ proximal part ของ right posterior cardinal vein จะเจริญไปเป็นส่วนต้นของ azygos vein (หมายถึงบริเวณที่ azygos vein เทลงสู่ superior vena cava ซึ่งเจริญมาจาก right common cardinal vein ดังกล่าว) สำหรับส่วนอื่น ๆ ของทั้ง left and right posterior cardinal vein ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงจะเสื่อมสลายไปหมดพร้อมกับ mesonephros โดยจะมีหลอดเลือดชุดใหม่เจริญมาทำหน้าที่แทนอีก 2 ชุด คือ subcardinal vein และ supracardinal vein

Subcardinal vein เป็นหลอดเลือดที่เจริญขึ้นใหม่ มีตำแหน่งอยู่ ventromedial ต่อ mesonephros มีจำนวน 2 เส้น ซ้ายและขวา โดยแต่ละเส้นจะ anastomose กับ posterior cardinal vein ในแต่ละข้างในหลายตำแหน่ง ซึ่ง anastomosis นี้จะเกิดผ่านเนื้อเยื่อของ mesonephros ดังนั้นเลือดจากส่วนล่างของร่างกายจึงผ่าน mesonephros ไปสู่ subcardinal vein ได้สะดวก จึงไม่ต้องอาศัย proximal part ของ posterior cardinal vein อีกต่อไปมันจึงเสื่อมสลายไปหมดเหลือแต่ proximal part ของ right posterior cardinal vein สั้น ๆ ที่จะเจริญไปเป็นส่วนต้นของ azygos vein ต่อไป

นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมกันของ left and right subcardinal vein กันเองในแนว midline เรียกตำแหน่งที่เชื่อมกันนี้ว่า (inter) subcardinal anastomosis และต่อมา ส่วนต่าง ๆ ของ subcardinal vein จะมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. Right subcardinal vein ที่อยู่ cranial ต่อ subcardinal anastomosis จะกลายเป็น prerenal segment of inferior vena cava (ซึ่งจะเชื่อมต่อไปกับ hepatic segment of inferior vena cava ที่เจริญมาจาก proximal part of right umbilical vein) และ right suprarenal vein (ซึ่งจะเทลง inferior vena cava ใน adult)

2. Left subcardinal vein ที่อยู่ cranial ต่อ subcardinal anastomosis จะฝ่อลงและหลงเหลืออยู่เป็น left suprarenal vein (ซึ่งจะเทลง left renal vein ใน adult)

3. Subcardinal vein ที่อยู่ caudal ต่อ subcardinal anastomosis ทั้งซ้ายและขวาจะกลายเป็น gonadal vein (testicular vein ในเพศชาย และ ovarian vein ในเพศหญิง)

4. Subcardinal anastomosis จะกลายเป็น proximal part ของ left renal vein

หลอดเลือดอีกชุดหนึ่งที่เจริญมาแทนที่ posterior cardinal vein คือ supracardinal vein (sacrocardinal vein) ซึ่งจะปรากฏขึ้นภายหลังสุด มีตำแหน่ง dorsal ต่อ mesonephros และ dorsomedial ต่อ posterior cardinal vein ทางด้านซ้าย และขวา ข้างละ 1 เส้น

Supracardinal vein จะ anastomose กับ posterior cardinal vein ข้างเดียวกัน และมันยัง anastomose กับ subcardinal vein บริเวณใต้ต่อ mesonephros ข้างละ 1 ตำแหน่ง เรียกว่า left and right subsupracardinal anastomosis ซึ่งต่อมากจะมีการเปลี่ยนแปลงของหลอดเลือดดังนี้

1. Right supracardinal vein ที่อยู่ cranial ต่อ right subsupracardinal anastomosis จะไปเชื่อมต่อกับ proximal part of right posterior cardinal vein ที่หลงเหลืออยู่ (ซึ่งต่อมาเจริญเป็นส่วนต้นของ azygos vein) และกลายเป็นส่วนปลายของ azygos vein

2. Left supracardinal vein ที่อยู่ cranial ต่อ left subsupracardinal anastomosis จะกลายเป็น hemiazygos vein ซึ่งจะเจริญไปเชื่อมกับ azygos vein ใน adult ต่อไป

3. Right supracardinal vein ที่อยู่ caudal ต่อ right subsupracardinal anastomosis จะเจริญเป็น postrenal segment of inferior vena cava

4. Left supracardinal vein ที่อยู่ caudal ต่อ left subsupracardinal anastomosis จะเสื่อมสลายไปหมด

5. Right subsupracardinal anastomosis ซึ่งเชื่อมต่อกับ right subcardinal vein ส่วนที่เจริญเป็น prerenal segment of inferior vena cava ดังนั้น right subsupracardinal anastomosis กลายเป็น renal segment of inferior vena cava และ right renal vein

6. Left subsupracardinal anastomosis ซึ่งเชื่อมต่อกับ subcardinal anastomosis ซึ่งกลายเป็น proximal part ของ left renal vein ดังนั้น left subsupracardinal anastomosis จึงกลายเป็นส่วนถัดมาของ left renal vein (และส่วนที่ 3 หรือส่วนสุดท้ายของ left renal vein จะเกิดใหม่ในเนื้อตัวเอง)

โดยสรุป anterior cardinal vein จะรวมกับ posterior cardinal vein เป็น common cardinal vein จากนั้น common cardinal vein ทอดร่วมกับ umbilical และ vitelline vein หลอดเลือดทั้งสามจะนำเลือดเข้า sinus venosus ไหลผ่าน atrium, ventricle, truncus arteriosus และ aortic sac ตามลำดับ จากนั้น ผ่านไปยัง aortic arch ทั้ง 6 คู่ ไปสู่ dorsal aorta ไปหล่อเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของ embryo ไปสู่ placenta ทาง umbilical artery และไปสู่ yolk sac ทาง vitelline artery สุดท้ายเลือดไหลกลับสู่หัวใจทาง common cardinal, umbilical และ vitelline vein อีกครั้งหนึ่ง ทั้งหมดนี้เป็น embryonic circulation ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอีกมากไปตามการเจริญของ embryo จนกลายเป็น circulatory system ใน adult ในที่สุด (รายละเอียดของ fetal and neonatal circulation ศึกษาเพิ่มเติมใน The circulation ทพภย 251)

Congenital malformation of the veins

เนื่องจากการสร้าง veins ขนาดใหญ่ ต้องผ่านการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน ดังนั้นบางครั้ง abnormalities ของ veins เหล่านี้จึงอาจปรากฏใน adult ได้ แต่ก็พบได้ไม่บ่อยนัก เช่น

Left superior vena cava

เป็น anomaly of vein ที่พบได้บ่อยที่สุด เกิดจากในระหว่างพัฒนาการ oblique anastomosis เกิด right to left shunting แทน left to right shunting ตามปกติ ทำให้เลือดจาก cranial part ของร่างกาย ไหลผ่าน brachiocephalic vein ลงสู่ left anterior cardinal vein และ left common cardinal vein แทน และเจริญร่วมกันต่อไปเป็น left superior vena cava และนำเลือดเทลงสู่ coronary sinus ผ่านเข้าสู่ right atrium ต่อไป ส่วน right anterior cardinal vein และ right common cardinal vein ซึ่งควรจะกลายเป็น (right) superior vena cava กลับสลายไป

Double superior vena cava

ถ้า oblique anastomosis ไม่เจริญหรือเจริญน้อยมาก left anterior cardinal vein และ left common cardinal vein จึงไม่สลายไประหว่าง development และกลายเป็น left superior vena cava และนำเลือดเทลง coronary sinus ต่อไป รวมทั้ง right anterior cardinal vein และ right common cardinal vein ก็ยังคงกลายเป็น (right) superior vena cava ตามปกติ ทำให้ทารกมี superior vena cava 2 เส้น ข้างซ้ายและขวาอย่างละเส้น

Absence of hepatic segment of inferior vena cava

ถ้าการสร้าง hepatic segment of inferior vena cava ล้มเหลว ทำให้เลือดจาก lower part ของร่างกายผ่าน inferior vena cava เข้าสู่ right atrium ไม่ได้ แต่จะผ่าน azygos และ hemiazygos vein ไปยัง right atrium แทน ส่วน hepatic vein ซึ่งเดิมเปิดเข้าสู่ hepatic segment of inferior vena cava โดยตรง นั้นจะเจริญเพื่อติดต่อกับ right atrium โดยตรงแทน

Double inferior vena cava

ความผิดปกติแบบนี้พบได้ยาก เกิดจาก inferior part of supracardinal vein ซึ่งควรจะสลายไป กลับคงอยู่และกลายเป็น second inferior vena cava ทำให้มี inferior vena cava บริเวณ inferior ต่อ renal vein 2 0 0++เส้น ข้างและขวา เส้นทางซ้ายมักมีขนาดเล็กกว่าเส้นขวา บางครั้งพบว่า left common iliac vein จะหายไป ส่วน left gonadal vein ส่วนใหญ่มีการเจริญตามปกติ

Anomalous pulmonary venous connections

เป็นความผิดปกติในการเชื่อมต่อระหว่าง pulmonary veins ซึ่งเจริญมาจากปอดและรวบรวมกันมายังผนังของ left atrium ถ้า pulmonary veins ทั้งหมด ไม่ติดต่อเข้าสู่ left atrium อาจไปเทลง right atrium หรือ systemic veins อื่นเช่น superior vena cava แทน เรียกว่า total anomalous pulmonary venous connections แต่ถ้ายังมี pulmonary vein บางเส้นยังคงเทลง left atrium เรียกว่า partial anomalous pulmonary venous connections

THE CIRCULATION

Embryonic circulation

เมื่อ embryo มีการเจริญมากขึ้นและอย่างรวดเร็ว ทำให้สารอาหารและ O_2 ซึ่งเดิมได้จากการแพร่ผ่านมาจาก syncytiotrophoblastic lacuna อย่างเดียว ไม่เพียงพออีกต่อไป ในช่วงต้นของสัปดาห์ที่ 3 circulatory system จึงเริ่มเจริญและมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อนำสารอาหารและ O_2 จากมารดาไปเลี้ยง embryo ได้อย่างเพียงพอ circulatory system ใน embryo นี้ เรียกว่า embryonic circulation ดังนี้

Anterior cardinal vein ซึ่งรับเลือดที่มี low O_2 จาก cephalic part ของ embryo และ posterior cardinal vein ซึ่งรับเลือดที่มี low O_2 จาก caudal part ของ embryo ทั้ง anterior และ posterior cardinal vein จะรวมกันเทลงสู่ common cardinal vein (duct of Cuvier) และเข้าสู่หัวใจทาง sinus venosus

Umbilical vein นำเลือดที่มี high nutrient และ O_2 จากแม่ผ่านทาง placenta, umbilical cord และเข้าสู่ embryo และทอดอยู่ lateral ต่อ vitelline vein ผ่าน septum transversum ซึ่งมีตับเจริญอยู่ ไปสิ้นสุดที่หัวใจผ่านทาง sinus venosus

Vitelline (omphalomesenteric) vein นำเลือดที่มี nutrient จาก yolk sac เข้าสู่ embryo ผ่าน septum transversum ซึ่งมีตับเจริญอยู่ ไปสิ้นสุดที่หัวใจผ่านทาง sinus venosus

เลือดจาก common cardinal, umbilical และ vitelline veins ร่วมกันเทลงสู่ sinus venosus จากนั้นไหลผ่าน atrium, ventricle, truncus arteriosus และ aortic sac ตามลำดับ จากนั้น ผ่านไปยัง aortic arch ทั้ง 6 คู่ ไปสู่ dorsal aorta ไปหล่อเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของ embryo

ที่บริเวณกลางลำตัว caudal ต่อหัวใจ dorsal aorta จะให้แขนงเป็น vitelline artery ไปสู่ yolk sac และเมื่อ dorsal aorta ทอดต่อไปถึงบริเวณ caudal part ของร่างกายจะให้แขนง umbilical artery ไปสู่ placenta เพื่อแลกเปลี่ยน gas และ รับสารอาหารจากมารดา

สุดท้ายเลือดจากส่วนต่าง ๆ ไหลกลับสู่หัวใจทาง common cardinal vein เลือดจาก placenta ไหลกลับสู่หัวใจทาง umbilical vein และเลือดจาก yolk sac ไหลกลับสู่หัวใจทาง vitelline vein อีกครั้งหนึ่ง

วงจรดังกล่าวนี้ในช่วงแรกของ embryo นั้น ทั้ง 2 ข้างลำตัว (ซ้ายและขวา) ยังคงมีลักษณะเหมือนกัน แต่ในไม่ช้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ตามการเปลี่ยนแปลงของ embryo (รายละเอียดการเปลี่ยนแปลงนี้ ทบทวนในหัวข้อ development of circulatory system) จนในที่สุดเมื่อเข้าสู่ระยะ fetus แล้ว circulatory system จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากจนไม่เหลือเค้าเดิม รวมทั้ง circulatory system ด้านซ้ายและขวาของร่างกายจะไม่เหมือนกันอีกต่อไป

Fetal circulation

Circulation ในระยะ fetus แตกต่างจากตอนเป็น embryo เนื่องจาก หลอดเลือดต่าง ๆ มีการพัฒนาไปมาก circulatory system ใน fetus นี้ไหลเป็นวงจร เรียกว่า fetus circulation ดังนี้

เมื่อ nutrient rich, highly oxygenated blood จาก placenta ไหลผ่าน left umbilical vein (right umbilical artery สลายไปในสัปดาห์ที่ 8) เข้าสู่ตับ เลือดประมาณครึ่งหนึ่งจะลัดเข้าสู่ ductus venosus และผ่านเข้าสู่ inferior vena cava โดยตรง แต่เลือดอีกครึ่งหนึ่งจะไหลเข้าสู่ sinusoids of the liver และรวบรวมผ่าน hepatic veins และเทลง inferior vena cava

เลือดที่ไหลผ่าน ductus venosus นั้นถูกควบคุมโดย sphincter mechanism ที่อยู่ใกล้ ๆ กับ umbilical vein เมื่อ sphincter นี้คลายตัว เลือดจำนวนมากจะไหลผ่าน ductus venosus แต่ถ้า sphincters หดตัวจะทำให้เลือดผ่านทาง sinusoid แทน ถึงแม้ว่าการปรากฏของ anatomical sphincter ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ แต่ที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวางมากกว่า คือ physiological sphincter ซึ่งเชื่อว่าช่วยป้องกัน overloading of the heart เมื่อ venous flow ใน umbilical vein เพิ่มขึ้น เช่นในขณะที่มีมดลูกมีการบีบตัว

เมื่อเลือดทั้งหมดไหลผ่าน inferior vena cava เป็นระยะทางสั้น ๆ แล้ว จะเทลงสู่ right atrium เมื่อถึงจุดนี้ต้องไม่ลืมว่า inferior vena cava ยังรับ poorly oxygenated blood จาก lower limbs, abdomen และ pelvis อีกด้วย ทำให้เลือดที่เข้าสู่ right atrium มีการปะปนกันของ highly oxygenated blood จาก umbilical vein และ poorly oxygenated blood จาก lower part ของร่างกาย อย่างไรก็ตามเลือดผสมที่ได้จัดว่ายังเป็น highly oxygenated blood อยู่

เลือดส่วนมากจาก inferior vena cava จะผ่าน right atrium โดยตรงไปยัง inferior border of septum secundum ที่เรียกว่า crista dividens, จากนั้นไหลผ่าน foramen ovale ไปสู่ left atrium และใน left atrium นี้ เลือดที่ไหลผ่าน foramen ovale จะปะปนอีกครั้งด้วย poorly oxygenated blood ปริมาณเล็กน้อยที่ไหลกลับมาจากปอด (ในเวลา นี้ ปอดยังไม่ทำงานจึงต้องรับ O₂ จากเลือด แทนที่จะเพิ่ม O₂ เข้าสู่เลือด) และจาก left atrium เลือดจะไหลผ่านไป left ventricle ออกจากหัวใจไปทาง ascending aorta ที่ตำแหน่งนี้เลือดที่ได้ยังจัดเป็น highly oxygenated blood อยู่

เลือดส่วนน้อยจาก inferior vena cava จะคงอยู่ใน right atrium และปะปนกับ poorly oxygenated blood จาก superior vena cava และ coronary sinus จากนั้นไหลผ่านไปยัง right ventricle ณ ตำแหน่งนี้เลือดที่ได้จัดเป็น medium oxygenated blood ซึ่งจะไหลผ่าน pulmonary trunk แต่มีเลือดเพียง 10% ของเลือดใน pulmonary trunk เท่านั้นที่ผ่าน pulmonary arteries ไปยังปอดโดยตรง ส่วนใหญ่ที่เหลือจะผ่าน ductus arteriosus ไปสู่ aorta และไปเลี้ยงทั่วร่างกาย

ductus arteriosus จะช่วยปกป้องปอดจาก circulatory overloading และช่วย strengthen right ventricle ให้พร้อมรับกับการทำงานภายหลังคลอด

เมื่อเลือดออกจาก left ventricle ไหลผ่าน arch of aorta ไปเลี้ยง head, neck และ upper limbs และไหลกลับมาทาง superior vena cava เทลงสู่หัวใจ นอกจากนี้เลือดอีกส่วนหนึ่งใน arch of aorta (ประมาณ 10% ของ cardiac output) จะไหลต่อไปยัง descending aorta

ใน descending aorta, นอกจากรับ highly oxygenated blood จาก arch of aorta แล้ว มันยังรับ medium oxygenated blood จาก ductus arteriosus ด้วย ทำให้เลือดใน descending aorta จัดเป็น medium oxygenated blood ประมาณ 35% ของเลือดใน descending aorta จะไหลผ่านไปเลี้ยง lower part ของร่างกาย และไหลกลับทาง inferior vena cava ผ่านตับและกลับเข้าสู่หัวใจอีกครั้ง ส่วนเลือดอีก 65% จาก descending aorta นั้น เทลงสู่ umbilical artery และออกจาก fetus ไปยัง placenta เพื่อแลกเปลี่ยนกับมารดา และนำ high O₂ blood กลับมาทาง left umbilical vein ผ่านตับและกลับสู่หัวใจ

โดยสรุปจะเห็นว่า เลือดใน fetus circulation นี้จะมี 3 แบบ คือ highly oxygenated blood, medium oxygenated blood และ poorly oxygenated blood

Transitional neonatal circulation

เมื่อคลอด และทารกถูกตัด umbilical cord เป็นเหตุให้ เลือดที่ไหลผ่าน umbilical vein หยุดลง ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญเกิดขึ้นเพื่อเปลี่ยนจาก fetal circulation เข้าสู่ postnatal circulation ขึ้น

เมื่อ umbilical cord ถูกตัด ทำให้ เลือดจาก placenta ไหลผ่านเข้า umbilical vein หมดลง แรงดันใน umbilical vein จึงลดลงอย่างมาก และ sphincter ใน ductus venosus บีบตัว ทำให้เลือดไหลผ่าน liver sinusoids แทน ผลจากทั้งหมดทำให้ แรงดันเลือดใน inferior vena cava และ right atrium ลดลงอย่างมากด้วย ในขณะเดียวกัน เมื่อทารกเริ่มหายใจจะทำให้ pulmonary vascular resistance ลดลง ทำให้ pulmonary blood flow เพิ่มขึ้น เลือดจึงเข้าสู่ปอดมากขึ้น และแรงดันใน pulmonary vein ที่ไหลกลับหัวใจและใน left atrium จึงเพิ่มมากขึ้นด้วย

การเพิ่มความดันใน left atrium ประกอบกับความดันใน right atrium จนแรงดันใน left atrium มากกว่าใน right atrium เป็นเหตุให้ septum primum ถูกดันจนชิดติดกับ septum secundum และต่อมา septum primum จะ fuse ติดกับ septum secundum จนกลายเป็นแผ่นเดียวกันภายใน 3 เดือนหลังคลอด นั่นคือ ในเวลานี้ foramen ovale ได้ปิดตัวลงสมบูรณ์แล้ว

ในเวลาเดียวกันนี้เมื่อเลือดใน right atrium ไม่สามารถผ่าน foramen ovale ไปได้ มันจึงรวบรวมกันเทลงสู่ right ventricle และผ่านไปยัง pulmonary trunk แต่ในขณะนี้ pulmonary vascular resistance ลดลงไปมากแล้วทำให้ เลือดไหลผ่าน pulmonary arteries ไปปอดได้สะดวกขึ้น pressure ใน pulmonary arteries ลดลง (ซึ่งแต่เดิม ใน fetus สูงมากจนดันให้เลือดไหลจาก pulmonary trunk ผ่าน ductus arteriosus ไปยัง aorta) ทำให้เลือดใน ductus arteriosus เปลี่ยนทิศ คือ ไหลจาก aorta ไปยัง

pulmonary trunk แทน ต่อมาภายใน 24-96 ชั่วโมงหลังคลอด ductus arteriosus ก็จะฝ่อลีบไป กลายเป็น ligamentum arteriosum

การฝ่อลีบของ ductus arteriosus อาศัย bradykinin ซึ่งเป็นสารที่ release จากปอดในขณะที่ทารกหายใจครั้งแรก (initial inflation) และมีศักยภาพมากในการกระตุ้นให้กล้ามเนื้อเรียบของหลอดเลือดหดตัว และส่งผลให้ ductus arteriosus ปิดตัวลง อย่างไรก็ตาม กลไกการทำงานนี้ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันมากนัก และยังมีรายงานของสารอื่นที่มีบทบาทในเรื่องนี้อีกมาก ซึ่งยังคงมีการศึกษาต่อไป

นอกจากนี้ right ventricle ซึ่งในขณะที่เป็น fetus จะมีผนังหนากว่า left ventricle เนื่องจากมันต้องทำงานหนักมากในการส่งเลือดไปยังปอดที่มี pulmonary vascular resistance สูงมาก แต่ภายหลังคลอด ผนัง left ventricle จะค่อย ๆ หนาตัวขึ้นตอบสนองต่อการทำงานที่เพิ่มขึ้น ร่วมกับ ผนัง right ventricle จะบางลงเนื่องจากการทำงานที่ลดลง (pulmonary vascular resistance ภายหลังคลอดลดลง) จนสิ้นสุดเดือนที่หนึ่ง ผนัง left ventricle จะหนากว่า right ventricle

อีกเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้นคือ umbilical vein ที่ถูกตัดเมื่อคลอดจะปิดตัวลงเพื่อป้องกันไม่ให้ทารกเสียเลือด ในที่สุดมันจะฝ่อลีบลงกลายเป็น round ligament of the liver

การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้ ไม่ได้เกิดขึ้นทันที เหตุการณ์บางอย่างเกิดภายหลังการหายใจครั้งแรกของทารก หากแต่เหตุการณ์บางอย่างต้องใช้เวลาเป็นวัน สัปดาห์หรือแม้กระทั่งหลายเดือนก็ได้ แต่สุดท้ายจะได้ postnatal circulation ในที่สุด

Postnatal circulation

Chambers of the Heart and Its Vessels

หัวใจแบ่งออกเป็น 4 chambers คือ

1. Right atrium
2. Left atrium
3. Right ventricle
4. Left ventricle

และมี vessels ขนาดใหญ่ทอดเข้าออกหัวใจ ดังนี้

- Superior and inferior vena cava เข้าสู่ right atrium
- Right and left pulmonary veins (ข้างละ 2 เส้น) เข้าสู่ left atrium
- Pulmonary artery ออกจาก right ventricle
- Aorta ออกจาก left ventricle

Circulation of the Heart

เลือด ที่ออกจากหัวใจและกลับเข้าสู่หัวใจ จะผ่านวงจร 2 วงจรที่ต่างกัน คือ

1. Pulmonary circulation
2. Systemic circulation

Pulmonary circulation ตั้งต้นจาก venous blood ใน right ventricle ถูกส่งผ่าน pulmonary trunk, right และ left pulmonary arteries ตามลำดับ เข้าสู่ capillary network ของ lung alveoli ที่นี่ venous blood ถูกเปลี่ยนเป็น oxygenated blood โดย carbondioxide ถูก excrete เข้าสู่ alveolar air และ oxygen ถูก absorb เข้าสู่กระแสเลือด จากนั้น oxygenated blood ถูกส่งไปยัง left atrium โดยผ่านทาง pulmonary veins.

Systemic circulation ตั้งต้นโดย oxygenated blood ใน left ventricle ถูกส่งผ่านเข้าสู่ aorta และแขนงของมันไปสู่ทุกส่วนของร่างกาย เพื่อนำ oxygen และ nutrients ไปสู่ tissue จากนั้น carbondioxide และ waste products ต่าง ๆ ถูกรวบรวมเป็น venous blood ไหลไปตาม veins ขนาดต่าง ๆ จากขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่และในที่สุดเข้าสู่ right atrium.

General Pattern of the Cardiovascular System

Arteries จะนำเลือดจาก heart โดยผ่านแขนงของหลอดเลือดขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ขนาดใหญ่ ขนาดกลาง จนถึงขนาดเล็กไปสู่ capillaries network ที่มีอยู่ใน tissue เกือบทุกส่วน, จากนั้น veins จะรวบรวมเลือด จาก capillaries network เหล่านี้เข้าสู่ vein ขนาดเล็ก, ขนาดกลาง, จนถึงขนาดใหญ่ และกลับเข้าสู่หัวใจ.

Special Circulation

Portal Circulation

Portal system เป็น system หนึ่งที่ arterial blood ที่ไปสู่ capillary network ของ tissue ที่เกี่ยวข้องแล้ว **เลือดไม่ได้กลับเข้าสู่หัวใจโดยตรงทาง venous system**, เลือดเหล่านี้ถูกรวบรวมเข้าสู่ portal vein ซึ่งเป็น vein ที่ต่างจาก vein อื่น ๆ กล่าวคือมันจะส่งเลือด ผ่านเข้าสู่ second capillary network ก่อน จากนั้นจะรวบรวมเข้าสู่ vein แล้วไปสู่ superior และ inferior vena cava แล้วเข้าสู่หัวใจ.

- Hepatic Portal System

Blood supply ของทางเดินอาหาร ตั้งแต่ esophagus ตอนล่าง ๆ จนถึง upper rectum ได้จากแขนงของ abdominal aorta ทั้ง 3 คือ celiac, superior และ inferior mesenteric arteries แตกแขนงเป็น capillary network ของทางเดินอาหาร และรวบรวม venous blood เข้าสู่ superior และ inferior mesenteric veins รวมทั้ง venous blood จาก spleen ผ่านทาง splenic vein เลือด veins 3 เส้นนี้ (superior mesenteric, inferior mesenteric และ splenic veins) รวมกันเข้าเพื่อ form เป็น

hepatic portal vein เส้นเดียวผ่านเข้าสู่ตับ จากนั้น hepatic portal vein กระจายเลือด ไปสู่ capillary network ของอวัยวะนี้ที่เรียกว่า Hepatic sinusoid. หลังจากนั้น เลือดจึงถูกรวบรวมอีกครั้ง เข้าสู่ right และ left hepatic vein ซึ่ง drain สู่อ inferior vena cava แล้วเทเข้าสู่หัวใจที่ right atrium ต่อไป.

Inferior mesenteric vein join กับ splenic vein ก่อนแล้วจึง join กับ superior mesenteric vein.

หน้าที่ของ hepatic portal system นี้ คือ regulate nutrient content ของ blood, โดยการเก็บส่วนที่ excess (ในระหว่างการย่อยอาหาร) ไว้ใน liver และจะปล่อยออกมาเมื่อ nutrient content ในเลือดลดลง.

ส่วน liver ก็มี direct artery ของมันเอง (hepatic branches จาก celiac artery) สำหรับ oxygen supply.

- Hypophyseal Portal System

Anterior lobe ของ pituitary gland ได้รับเลือด จาก superior hypophyseal artery ซึ่งออกจาก internal carotid artery และ Circle of Willis โดย artery บางเส้นเข้าสู่ sinusoidal capillaries ของ anterior lobe โดยตรง ส่วน branches อื่น ๆ ไป form เป็น capillary network ใน median eminence และ infundibular stem, จาก capillary network นี้ drain เข้าสู่ vein ซึ่งทอดลงล่างอยู่รอบ ๆ hypophyseal stalk ไปยัง sinusoidal capillaries ของ anterior lobe ของ pituitary gland ซึ่ง vein ที่ connect ระหว่าง capillaries ของ median eminence, Infundibular stem กับ sinusoidal capillaries ของ anterior lobe form เป็น **hypophyseal portal system**.

- Renal Circulation

เริ่มจาก aorta ตรงกับระดับ second lumbar vertebra แล้วเข้าสู่ kidney ที่ hilum, แล้ว renal artery แยกออกเป็น 2-3 แขนง จากแขนงเหล่านี้จะแยกแขนงออกไปอีก form เป็น interlobar arteries อยู่ระหว่าง medullary pyramid เมื่อทอดไปถึง junction ระหว่าง cortex และ medulla ของ kidney มันจะทอดโค้ง ข้าม medullary pyramid กลายเป็น arcuate arteries จากนั้นจะให้แขนงออกไปในแนวตั้งฉากเป็น interlobular arteries ทอดเข้าสู่ cortex, จากนั้นก็แตกแขนงเป็น afferent arteriole, ทอดไปเป็นระยะทางสั้น ๆ แล้วแตกแขนงออก form เป็น capillaries ของ glomerulus ที่นี้มี anastomose มาก และ capillaries เรียงตัวเป็น loop. จากนั้น capillary ของ glomerulus จะรวบรวมกันใหม่เป็น efferent arteriole อยู่ชิดกับ afferent arteriole แล้ว efferent arteriole จะแตกแขนงออกเป็น capillaries set ที่ 2 ซึ่ง form เป็น anastomosing network อยู่ชิดกับ tubule ภายใน kidney เรียกว่า peritubular capillary plexus.

ส่วน efferent arteriole ที่มาจาก glomeruli ที่อยู่ชิดกับ medulla จะเข้าสู่ straight arteriole ทอดลงล่างเข้าสู่ pyramid จากนั้นเข้าสู่ straight venules drain เข้าสู่ interlobar vein หรืออาจเข้าสู่ arcuate vein.

Renal blood supply: Kidney แต่ละข้างได้รับ renal arterial supply และ venous blood จะไหลกลับเข้าสู่ renal vein ไปยัง inferior vena cava ความสำคัญของ renal blood supply ก็คือพวก nitrogenous waste จะถูก remove ออกจากเลือด ใน kidney.

Cerebral Circulation

Systemic circulation ส่วนนี้มีความสำคัญยิ่ง เพราะถ้ามีการขาด blood supply เพียงชั่วคราว (เช่นในกรณีของ asphyxia หรือ carbonmonoxide poisoning) สามารถทำให้หมดสติและถึงตายได้ และถ้ามีการฟื้นตัวได้ก็อาจมี brain damage อย่างถาวรเกิดขึ้นได้.

ดังนั้นส่วนนี้ของ circulation จึงมีการป้องกันกล่าวคือ arterial blood ที่ผ่านไปสู่ brain โดย internal carotid artery ซ้ายขวาจะ anastomose กันเอง และยัง anastomose กับแขนงของ artery ที่เกิดจากการรวมกันของ vertebral artery ซ้ายขวา (basilar artery) form เป็น circular vessel ที่เรียก **“Circle of Willis” ที่ base ของ brain.**

Cervical part ของ internal carotid artery เข้าสู่ cranial cavity ทาง carotid canal แบ่งออกเป็น 2 terminal branches คือ

1. **Anterior cerebral artery,** และ artery นี้ ทั้งสองข้างติดต่อกันด้วย anterior communicating artery.

2. **Middle cerebral artery,** ทอดไปทาง lateral ให้แขนงไปบน surface ของ insula.

Vertebral artery ซ้ายขวา เข้าสู่ cranial cavity ทาง foramen magnum, artery ทั้งสองเส้นนี้ ทอดไปทาง medial หน้าต่อ medulla oblongata ที่ระดับ lower border ของ pons มันรวมกัน form เป็น basilar artery ไปสิ้นสุดที่ upper border ของ pons โดยแบ่งออกเป็น posterior cerebral artery ซ้ายและขวา แล้วติดต่อกับ internal carotid artery ด้านเดียวกันด้วย posterior communicating artery เกิด Circle of Willis ดังกล่าว ถ้ามีการอุดตันอย่างช้า ๆ ของ artery ในบริเวณ “Circle of Willis” ถึง 3 ใน 4 เส้นนี้ก็ยังคงสามารถมี blood supply แก่ brain อย่างเพียงพอ.

Special Part of the Systemic Circuit

ทั้ง right และ left coronary artery เริ่มต้นจาก aorta ไป supply hear muscle. แล้วเลือดจาก heart muscle ถูกรวบรวมโดย vein เข้าสู่ large coronary sinus ซึ่งเทโดยตรงเข้าสู่ chamber ของ right atrium ยังมี vein อื่น ๆ อีกเล็กน้อยที่รวบรวมเลือดจาก heart muscle โดยเป็น thebesian vein (venae cordis minimae) แล้วทอดเข้าสู่ chamber ของ heart โดยตรงไม่ผ่าน coronary sinus จัดเป็น special part ของ circulation นอกจากนี้ยังมี anterior cardiac vein ที่ drain สู่ right atrium โดยตรง.