เอกสารประกอบการสอน

วิชา104108

ผศ.ดร.วารี วิดจายา

สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2547

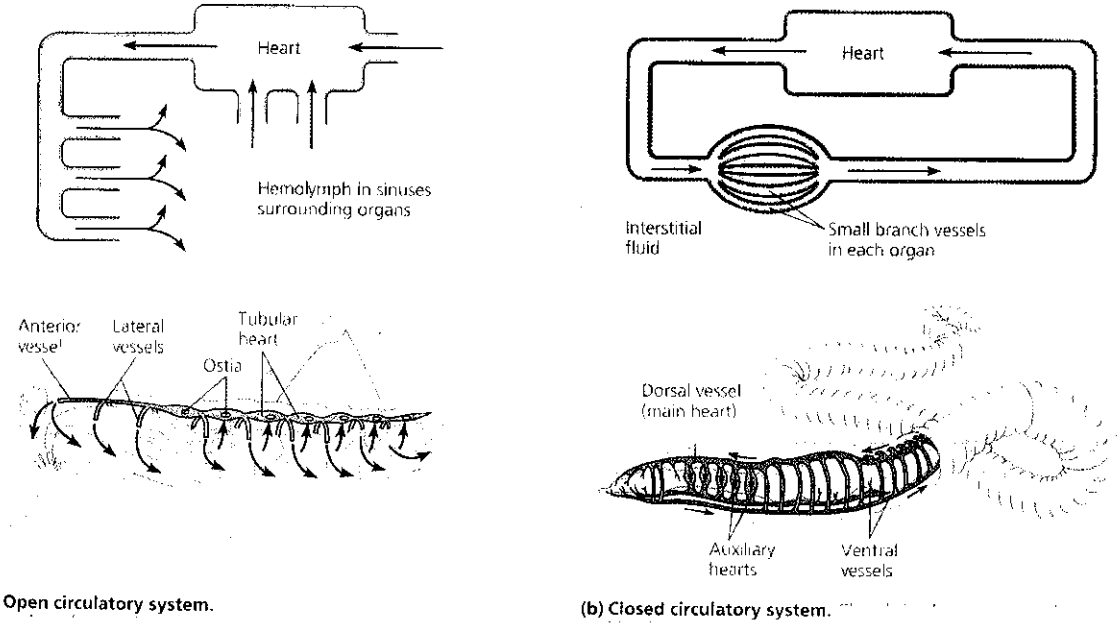
ระบบไหลเวียนโลหิต (Circulatory Systems)

ระบบไหลเวียนโลหิต (Circulatory system) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. เลือด (Blood)
2. หลอดเลือด (Blood vessels)
3. หัวใจ (Heart)

ระบบไหลเวียนโลหิต แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ

1. ระบบเปิด (Open Circulatory System) เช่น ตั๊กแตน เลือดและของเหลวในเซลล์เราเรียกว่า Hemolymph ซึ่งหัวใจจะปั๊ม Hemolymph นี้ผ่านหลอดเลือดเข้าทาง Sinuses และ Hemolymph จะกลับเข้าสู่หัวใจโดยผ่านช่องที่เรียกว่า Ostia ซึ่งเสมือนเป็นลิ้นที่คอยปิดเมื่อหัวใจหดตัว (รูปที่ 1)
2. ระบบปิด (Close Circulatory System) เช่น ไส้เดือน เลือดจะไหลอยู่ภายในหลอดเลือดโดยจะมีหลอดเลือดอยู่ 3 เส้นคือด้านหลัง 1 เส้นและด้านหน้า 2 เส้น เลือดทางด้านหลังจะทำหน้าที่เหมือนเป็นหัวใจคอยปั๊มเลือดไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย (รูปที่ 7.1)



รูปที่7.1: ระบบไหลเวียนโลหิตแบบเปิดและแบบปิด : a = ระบบเปิด , b=ระบบปิด (Campbell, N.A., and Reece, J.B., 2002)

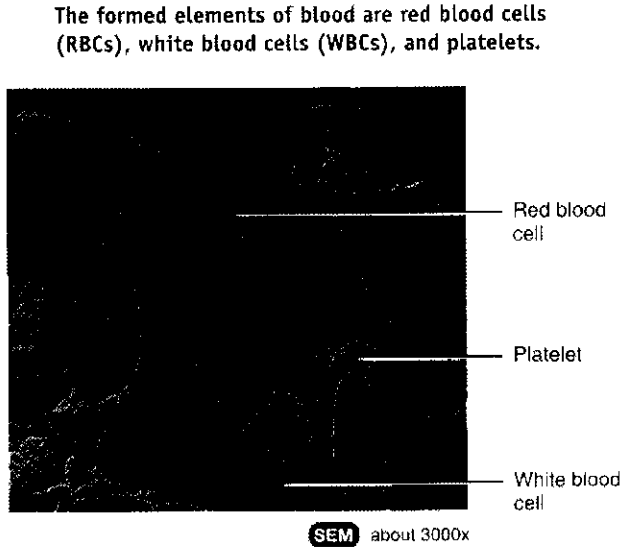
เลือด (Blood)

หน้าที่ของเลือด

1. ขนส่งพวก O_2, CO_2, อาหาร, ฮอร์โมนและของเสียต่าง ๆ
2. ควบคุม pH, อุณหภูมิในร่างกายและน้ำภายในเซลล์
3. ป้องกันการสูญเสียเลือดโดยมีกลไกการแข็งตัว(Clotting)และกำจัดสิ่งแปลกปลอมและสารพิษต่าง ๆ โดยเม็ดเลือดขาว

ลักษณะของเลือด

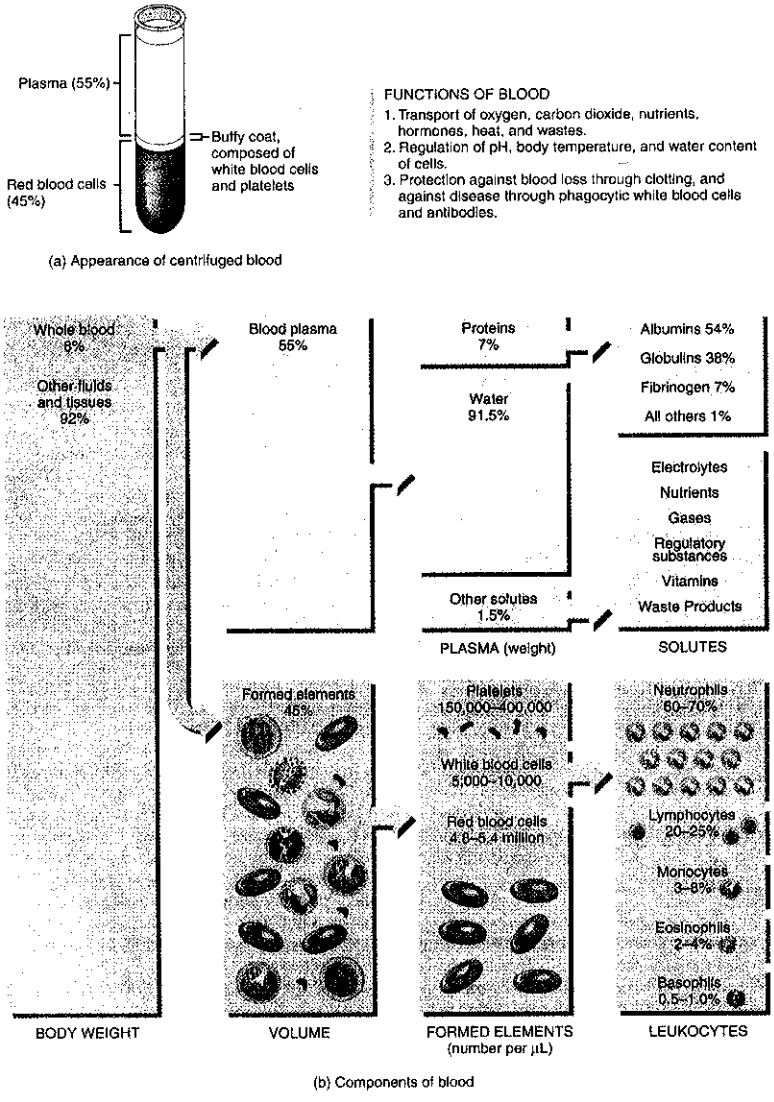
เลือดจะมีขนาด ~7 – 8 ไมโครเมตร มีรูปร่างคล้ายโดนัท มีอุณหภูมิประมาณ 38°C, มีค่า pH ~7.35 – 7.45, มีความเข้มข้นของน้ำเกลือ ~ 0.9% และมีปริมาณทั้งหมดประมาณ 5 – 6 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 : ภาพส่วนประกอบของเลือดในรูปของFormed element จากการ Scanning electron micrograph (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

ส่วนประกอบของเลือด (รายละเอียดดูตามรูปที่ 7.3)

1. Plasma :- มี ~55% ซึ่งประกอบด้วย น้ำ, โปรตีน, สารละลายพวก electrolyte, สารอาหารและของเสีย เป็นต้น
2. Formed element : มี ~45% ซึ่งประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดแดง (Red blood cell; RBC) เซลล์เม็ดเลือดขาว (White blood cells; WBC) และ เกล็ดเลือด (Platelets)



รูปที่ 7.3:ส่วนประกอบของเลือดในคนปกติ (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

วงจรชีวิตของ เซลล์เม็ดเลือดแดง

เซลล์เม็ดเลือดแดง จะมีอายุได้ 120 วัน (ดังรูปที่ 7.4) โดยจะมีวงจรชีวิตดังต่อไปนี้

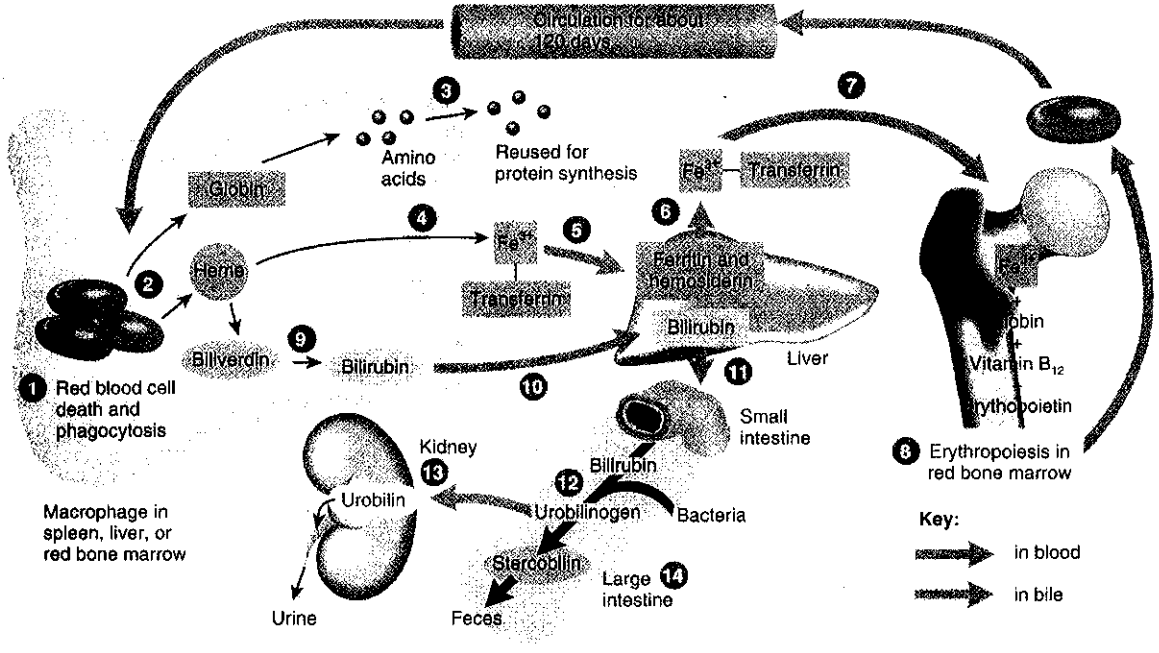
1. Macrophage ที่อยู่ในม้าม, ตับและไขกระดูกแดง จะทำหน้าที่ทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดง
2. Hemoglobin จะถูกแยกออกเป็น globin กับ Heme
3. Globin จะถูกสลายเป็น amino acid
4. Amino acid ที่เกิดขึ้นจะนำกลับมาใช้ใหม่
5. Iron จะถูกแยกออกจาก Heme
6. Fe^{3+} รวมกับ tranferrin ซึ่งจะนำเอาเหล็กเข้าไปในระบบไหลเวียนโลหิต

7. เส้นใยในกล้ามเนื้อ, เซลล์ตับและ macrophage ที่ม้ามและตับ, เหล็กจะจับกับ ferritin และ hemosiderin

8-11 ในส่วนของระบบย่อยอาหารที่มีการหลั่งและดูดซึมแล้ว เหล็กจะไปจับกับ transferin แล้วส่งต่อไปที่ Bone marrow ซึ่งจะมีการผลิต RBC ขึ้นมาใหม่

12-14 ในส่วนของ Heme ที่เป็น non-iron จะถูกเปลี่ยนไปเป็น biliverdin (สีเขียว) แล้วเปลี่ยนเป็น bilirubin (สีส้ม) แล้วเข้าไปในกระแสเลือดและส่งต่อไปที่ตับ

15-18 ต่อจากนั้นจะไปที่ลำไส้เล็กแล้วส่งต่อไปที่ลำไส้ใหญ่ โดย bacteria ในลำไส้จะเปลี่ยน bilirubin ให้เป็น Urobilinogen แล้วถ้าไปที่ไตจะกลายเป็น urobilin ถ้ามาที่ลำไส้ใหญ่จะเป็น stercobilin



รูปที่ 7.4: วงจรชีวิตของ เซลล์เม็ดเลือดแดง (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

กลไกการแข็งตัวของเลือด

แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน (รูปที่ 7.5) คือ

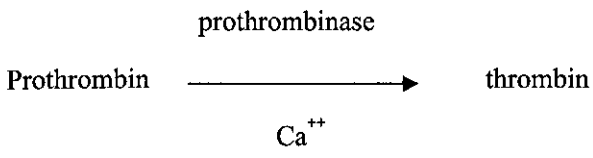
ขั้นตอนที่ 1 Formation of Prothrombinase จะแบ่งเป็น

1.1 Extrinsic pathway (ปัจจัยภายนอก) เช่น มีดบาดมือ

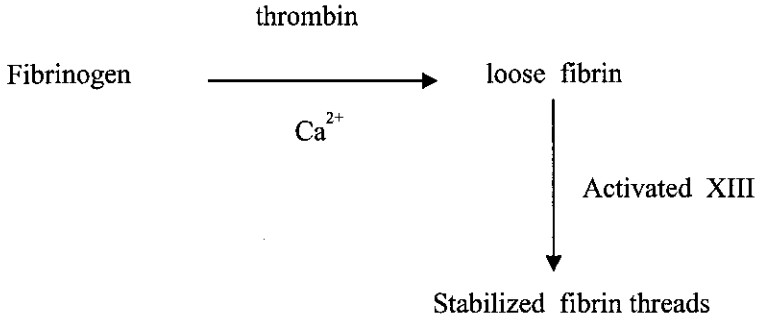
1.2 Intrinsic pathway (ปัจจัยภายใน) เช่น Endothelial cell ของหลอดเลือดฉีกขาด

ทั้งปัจจัยภายนอกและภายในจะทำให้เกิด prothrombinase

ขั้นตอนที่ 2 Common pathway



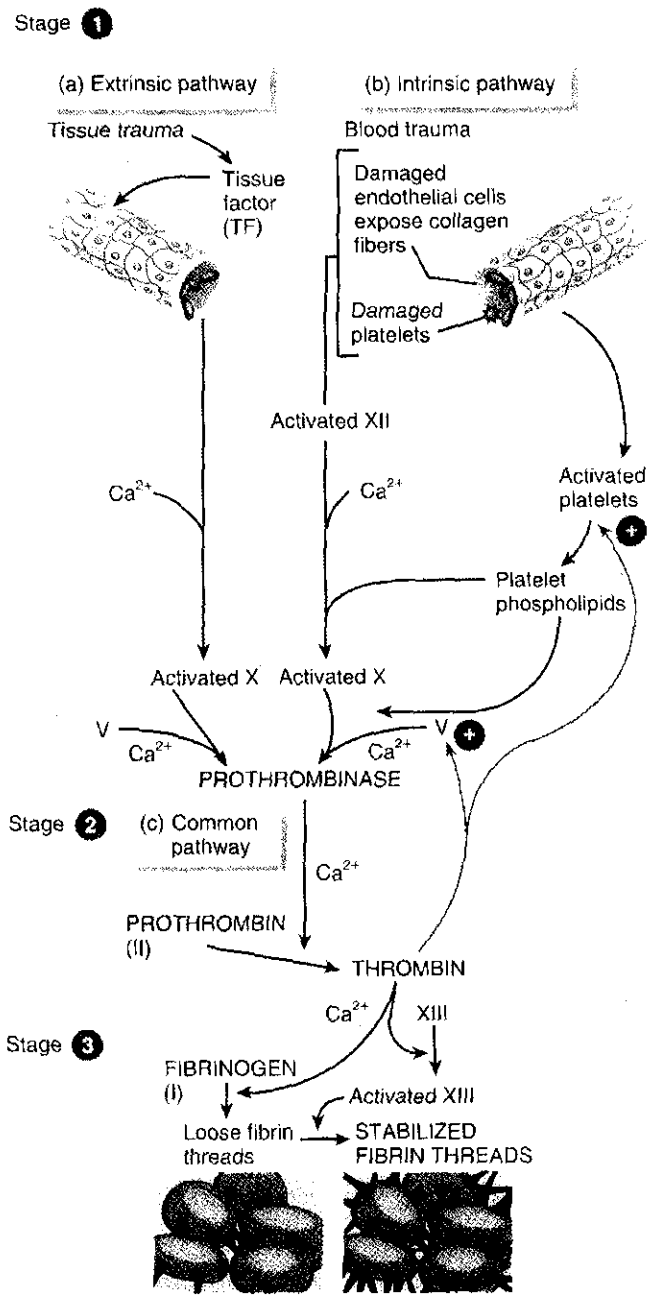
ขั้นตอนที่ 3 Common pathway



Factors ที่เกี่ยวข้องในการแข็งตัวของเลือด มีดังนี้

1. Factor I: Fibrinogen จากตับ ใช้ใน Common pathway
2. Factor II: Prothrombin จากตับ ใช้ใน Common pathway
3. Factor III: Tissue factor (Thromboplastin) จากการทำลายของเนื้อเยื่อและการกระตุ้นของเกล็ดเลือด ใช้ใน Extrinsic pathway
4. Factor IV: Calcium ions จากอาหาร,กระดูก, และเกล็ดเลือด ใช้ทุก pathway
5. Factor V: Proaccelerin, labile factor, or accelerator globulin (AcG) จากตับและเกล็ดเลือดใช้ใน Extrinsic และ Intrinsic pathway
6. Factor VII: Serum prothrombin conversion accerlerator (SPCA), stable factor, proconvertin จากตับ ใช้ใน Extrinsic pathway
7. Factor VIII: Antihemophilic factor (AHF), antihemophilic factor A or antihemophilic globulin (AHG) จากเกล็ดเลือดและ Endothelial cells ใช้ใน Intrinsic pathway
8. Factor IX: Christmas factor, plasma thrmboplastin component (PCT) or antihemophilic factor B จากตับ ใช้ใน Intrinsic pathway
9. Factor X: Stuart factor, Prower factor, or thrombokinase จากตับ ใช้ใน Extrinsic และ Intrinsic pathway
10. Factor XI: Plasma thromboplastin antecedent (PTA) or antihemophilic factor C จากตับ ใช้ใน Intrinsic pathway

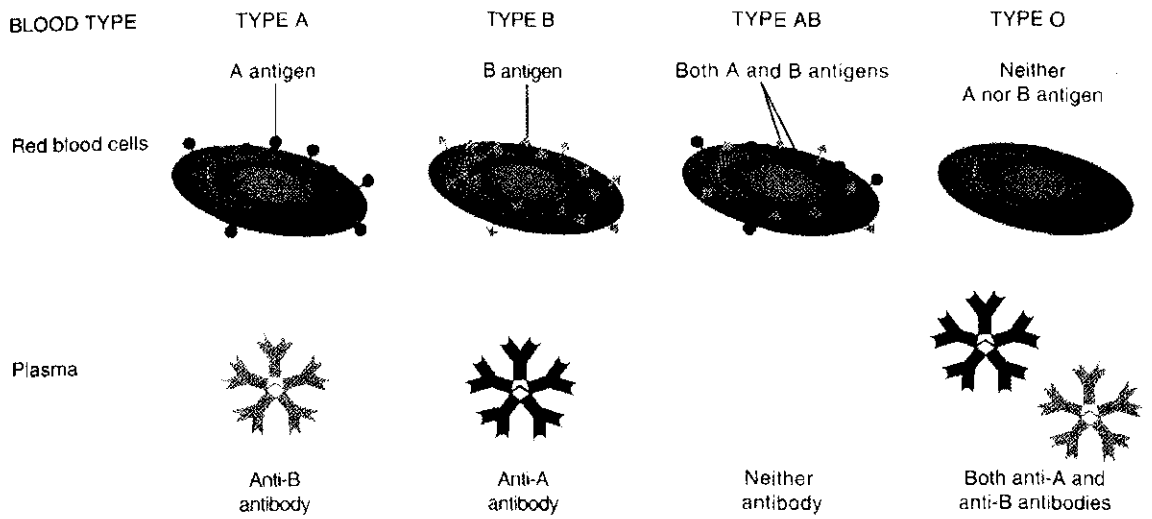
11. Factor XII: Hageman factor, glass factor, contact factor, or antihekophilic factor D จากตับ ใช้ใน Intrinsic pathway
12. Fibrin-stabilizing factor (FSF) จากตับและเกล็ดเลือดใช้ใน Common pathway



รูปที่ 7.5: กลไกการแข็งตัวของเลือด (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

กรุ๊ปเลือด

แบ่งเป็น 4 กรุ๊ป คือ type A, type B, type AB, type O ที่ RBC จะมี glycoprotein และ glycolipids ที่สามารถทำหน้าที่เป็น antigen เราจึงเรียกว่า isoantigens หรือ agglutinogens ซึ่งใน blood plasma จะบรรจุ isoantibodies หรือ agglutinins ที่ทำปฏิกิริยากับ antigen A หรือ B (ดูรายละเอียดตามรูปที่ 7.6)

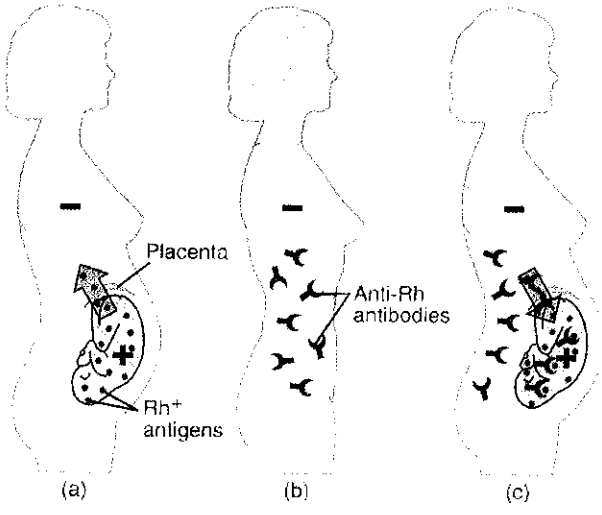


รูปที่ 7.6: แอนติเจนและแอนติบอดี้ของกรุ๊ปเลือด ABO (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

Rh Blood group

ถูกค้นพบในเลือดของ Rhesus monkey เราจึงเรียกว่า Rh Blood group ในคนที่มี Rh antigen เราจะเรียกว่าเป็น Rh^+ ส่วนคนที่ไม่มีเราจะเรียกว่าเป็น Rh^-

Hemolytic disease of newborn (HDN) คือโรคที่พบในเด็กที่ Rh ของแม่และลูกต่างกัน ทำให้แม่สร้าง antibodies ขึ้นมา แล้วทำให้เม็ดเลือดแดงของลูกแตกทำลายและถึงตายได้



รูปที่ 7.7: Hemolytic disease of newborn : a= เมื่อแม่ตั้งครรภ์ครั้งที่ 1: เด็กมี Rh^+ และแม่มี Rh^-เลือดบางส่วนจากลูกไหลออกจากรกไปเข้าในเส้นเลือดของแม่ ,b= แม่จะสร้าง Anti-Rh antibodies ,c=เมื่อแม่ตั้งครรภ์ครั้งที่ 2 antibodies จากแม่จะเข้าไปในรกของลูกทำให้เม็ดเลือดแดงของลูกแตกทำลายและถึงตายได้ (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

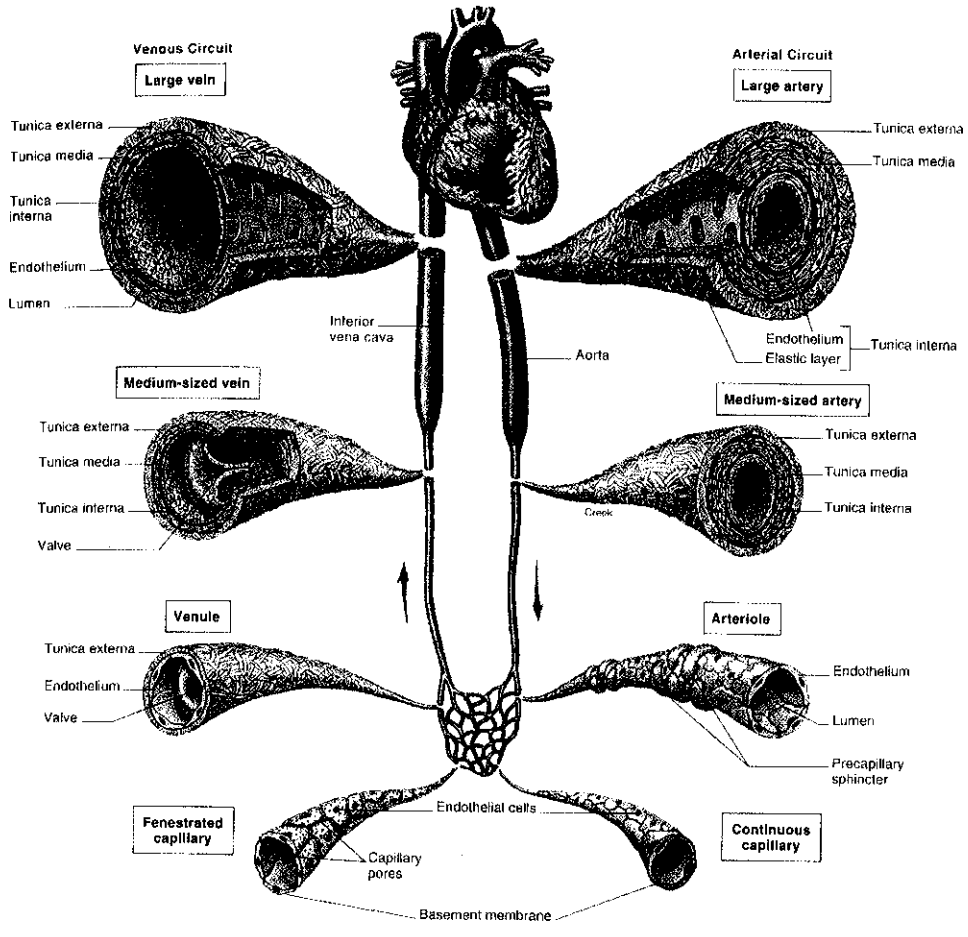
หลอดเลือด (Vessels)

หลอดเลือดเป็นส่วนที่นำเลือดจากหัวใจไปยังเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกายและนำเลือดที่ถูกใช้ไปแล้วนำกลับคืนสู่หัวใจหรือนำของเสียต่างๆไปขับออกที่ไต ผิวหนัง และปอด

โครงสร้างโดยทั่วไปของหลอดเลือด (รูปที่ 7.8)

ผนังของหลอดเลือดแบ่งออกเป็นเนื้อเยื่อ 3 ชั้นได้แก่

1. Tunica adventitia อยู่ชั้นนอกประกอบด้วย Collagen fibers และ Elastic tissue และจะพบเส้นประสาทและหลอดน้ำเหลือง (Lymphatic vessels)
2. Tunica media อยู่ชั้นกลาง ประกอบด้วย Connective tissue, Smooth muscle cells และ Elastic tissue
3. Tunica intima อยู่ชั้นในประกอบด้วย Simple squamous epithelium (Endothelial cells)



รูปที่ 7.8: โครงสร้างของหลอดเลือดแดงและหลอดเลือดดำ (Van de Graaff, K.M., 2002)

ชนิดของหลอดเลือด

1. Arteries
2. Arterioles
3. Capillaries
4. Venules
5. Veins

1. Arteries

Arteries เป็นหลอดเลือดแดงที่นำเลือดออกจากหัวใจไปสู่เส้นเลือดฝอย (Capillaries bed) เพื่อที่จะส่งต่อไปยังเซลล์ของร่างกาย ในผู้ใหญ่หลอดเลือดแดง (Arteries)ทุกเส้น(ยกเว้น Pulmonary arteries) จะนำเลือดที่มีออกซิเจน (Oxygenated blood) ส่วนปอด(Pulmonary) ทั้งซ้ายและขวาจะนำเลือดที่ไม่มีออกซิเจน (Deoxygenated blood) จากหัวใจไปยังปอด หลอด

เลือดแดงใหญ่ที่สุดที่ออกจากหัวใจเรียกว่า Aorta Arteries จะมีผนังหนากว่า ทำให้ทนต่อความดันเลือดสูงได้

2. Arterioles

หลอดเลือดแดงจะแตกแขนงเป็นหลอดเลือดเล็กๆเรียกว่า Arterioles และ จะถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อทั้ง 3 ชั้น ดังนั้น สามารถยืดขยาย (Dilation) หรือหดตัว (Constriction)ได้ เพราะว่ามี Smooth muscle ดังนั้นเมื่อมีเหตุจำเป็น สามารถยืดขยายได้เพื่อให้เลือดไหลไปยังหลอดเลือดฝอยได้มากขึ้นถึง 400% ซึ่งจะควบคุมโดย Sympathetic nerves ทำให้ Lumen หดตัวได้ด้วย

3. Capillaries

Capillaries arteies เป็นเส้นเลือดฝอยที่เชื่อมระหว่าง Arteries กับ Veins, Capillariesจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อเพียงชั้นเดียวคือ Tunica intima ของ Endothelial cells บน Thin basement membrane ของ Glycoproteinสามารถยืดขยายได้ถึง 96,000 กิโลเมตร การที่มีเส้นเลือดฝอยจำนวนมากทำให้สามารถเพิ่มการแลกเปลี่ยนของก๊าซและของเหลว (Fluids) รวมทั้งอาหารและของเสีย ระหว่างเซลล์ และเลือดได้ แต่เซลล์เม็ดเลือดแดง และโปรตีนขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านได้ ยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดแดงสามารถบีบตัวแทรกผ่านได้

4. Venules

เลือดจาก Capillaries เข้าไปยัง Venules ซึ่งเป็นเส้นเลือดดำเส้นเล็กและโครงสร้างของ Venules คล้ายกับ Arteioles แต่ผนังบางกว่าและจะมีผลต่อการแพ้หรือการอักเสบได้ง่าย

5. Veins

ถัดจาก Venules จะเป็น veinsซึ่งเป็นหลอดเลือดดำใหญ่ที่มีขนาดใหญ่กว่า Venules และจะนำเลือดจาก Capillaries กลับไปที่หัวใจซึ่งจะมีผนัง 3 ชั้น คล้ายใน Arteries แต่ในชั้น Tunica media และ Tunica intimaจะมีผนังบางกว่า เพราะมีกล้ามเนื้อเรียบและ elastic tissue และจะมีช่องตรงกลาง (Lumen) จะมีช่องกว้างมากกว่า arteries และสามารถยืดขยายได้มาก นอกจากนี้หลอดเลือดดำ (Veins) จะมีลิ้น (Valve) เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับของเลือดที่จะไปยังหัวใจ และความดันใน Veins จะต่ำดังนั้นกล้ามเนื้อกระดูก (Skeletal muscle) จะทำหน้าที่ปั๊มเลือดโดยการหดตัว และ Valve ของหลอดเลือดดำนี้จะมีมากที่ช่วงขาและจะไม่พบ Valve ของหลอดเลือดดำในส่วนของหลอดเลือดที่มีขนาดเล็กหรือแคบกว่า 1 มิลลิลิตร หรือในที่มีความดันของกล้ามเนื้อสูงๆเช่นที่หน้าอกและช่องท้อง เป็นต้น

ตารางที่ 7.1 ลักษณะทางกายภาพของหลอดเลือด

APPROXIMATE AVERAGE PHYSICAL CHARACTERISTICS OF BLOOD VESSELS

Type of vessel	Diameter (mm)	Wall thickness (mm)	Length (cm)	Internal pressure (mm Hg)	Cross-sectional area (sq cm)	Percentage of total body blood volume
Aorta	25.000	2.000	40.000	100	2.5	6
Medium-sized arteries	4.000	0.800	15.000	90	20.0	13
Arterioles	0.300	0.020	0.200	60	40.0	2
Capillaries	0.008	0.001	0.075	30	2500.0	5
Venules	0.020	0.002	0.200	20	250.0	5
Medium-sized veins	5.000	0.500	15.000	15	80.0	20
Large veins	15.000	0.800	20.000	10	20.0	39
Venae cavae	30.000	1.500	40.000	10	8.0	10

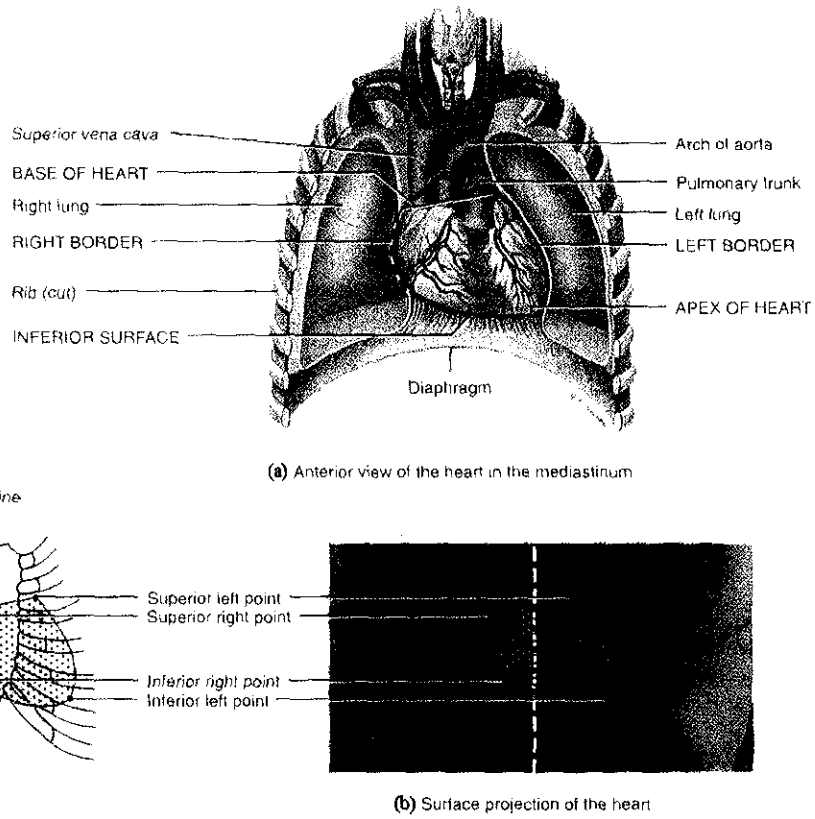
หัวใจ (Heart)

โครงสร้างของหัวใจ

หัวใจมีรูปร่างคล้ายกรวย (Blunt cone) และจะมีขนาดเท่ากำปั้นของเจ้าของ มีความยาว ~ 12 ซม. กว้าง 9 ซม. ในผู้ชายจะหนัก ~ 250 – 390 กรัม ส่วนผู้หญิงจะหนัก ~ 200 – 275 กรัม

ตำแหน่งของหัวใจ

จะอยู่ที่ศูนย์กลางของหน้าอก ประมาณกระดูกซี่โครงที่ 5 และ 6 คือ อยู่ในช่วงทรวงอกใน Mediastinum ระหว่างปอดทั้ง 2 ข้าง อยู่ค่อนไปทางด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา ส่วนฐาน (Base) อยู่ข้างบน ส่วนยอด (Apex) อยู่ด้านล่าง (ดังแสดงในรูปที่ 7.9)



รูปที่ 7.9 : ตำแหน่งของหัวใจ a= ด้านหน้า, b= ที่ส่วนผิว (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

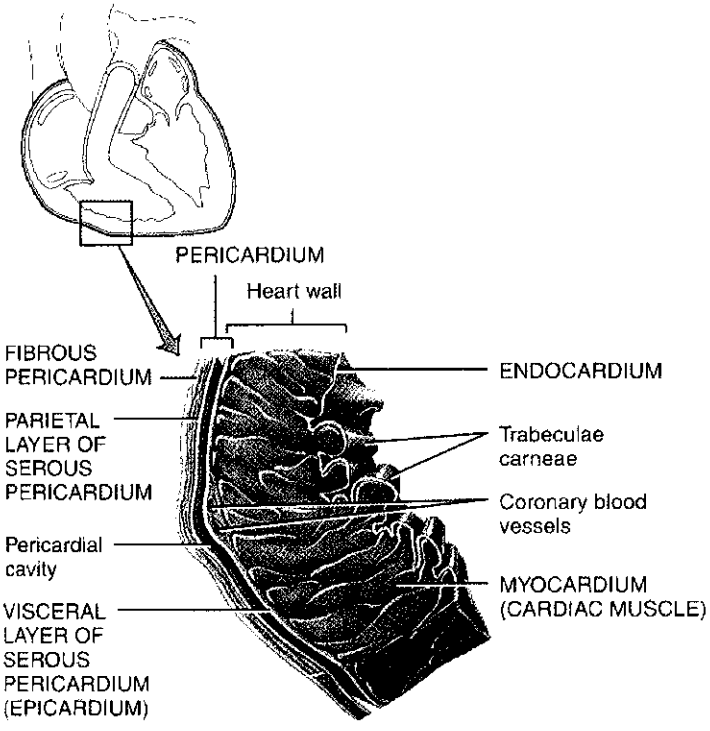
ส่วนที่ปกคลุมหัวใจเราเรียกว่า Pericardium ซึ่งประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น คือ

1. Fibrous pericardium เป็นชั้นที่อยู่ด้านนอก ประกอบด้วย Connective tissue ช่วยยึดหัวใจให้ติดกับ Mediastinum เพื่อป้องกันไม่ให้หัวใจยืดตัวมากเกินไป
2. Serous pericardium เป็นชั้นที่อยู่ด้านใน ประกอบด้วย Serous tissue ซึ่งจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น

   2.1 Parietal layer เป็นชั้นนอกอยู่ติดกับ Fibrous pericardium

   2.2 Visceral layer เป็นชั้นใน เรียกว่า Epicardium อยู่ติดกับชั้นกล้ามเนื้อของหัวใจ

ช่องว่างระหว่าง Parietal layer กับ Visceral layer เรียกว่า Pericardial cavity ซึ่งมีของเหลวอยู่ภายใน เราเรียกว่า Pericardial fluidซึ่งทำหน้าที่ช่วยป้องกันการเสียดสีระหว่างเยื่อทั้ง2 ชั้นในขณะที่หัวใจเคลื่อนไหว (ดังแสดงในรูปที่ 7.10)



รูปที่ 7.10 : เยื่อหุ้มหัวใจและผนังของหัวใจ (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

ผนังของหัวใจ (Wall of heart)

ผนังของหัวใจ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น (รูปที่ 7.10) คือ

1. Epicardium ชั้นนอก คือ ชั้น Visceral layer ของ Serous pericardium และมักจะถูกล้อมรอบด้วยไขมันและจะมีหลอดเลือด Coronary artery มาเลี้ยง
2. Myocardium ชั้นกลาง มีหน้าที่เฉพาะ คือ จะช่วยให้หัวใจสามารถปั๊มเลือดออกไปได้ เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ มีลายเล็ก ๆ และแตกแขนง ซึ่งเซลล์อาจมี 1 แขนงหรือมากกว่า ส่วนปลายแขนงจะต่อคืนกับอีกเซลล์ เรียกว่า Intercalated disc ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของหัวใจ
3. Endocardium ชั้นใน จะค่อนข้างบางและมี Fibrous layer ร่วมกับ Simple squamous epithelial tissue ซึ่งจะต่อกับ Endothelium ของหลอดเลือด

ห้องของหัวใจ (Chambers of heart)

ห้องของหัวใจ แบ่งเป็น 4 ห้อง (ดังแสดงในรูปที่ 7.11) คือ

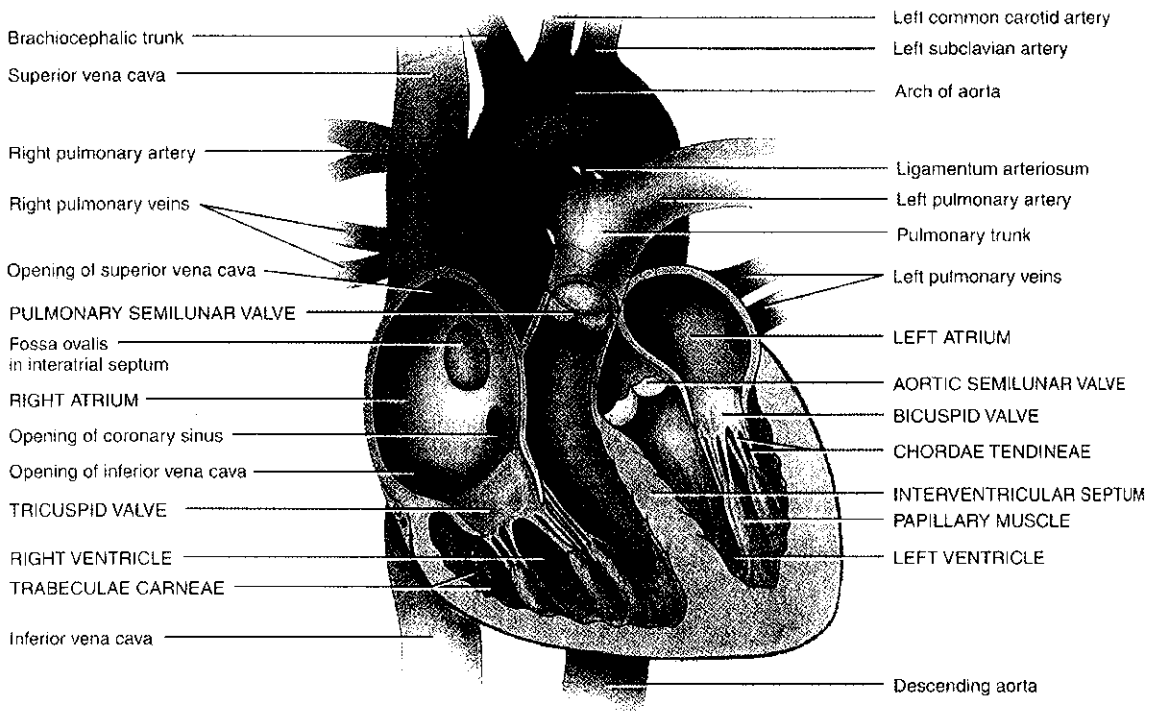
1. หัวใจห้องบนขวา (Right atrium)
2. หัวใจห้องบนซ้าย (Left atrium)

} ห้องบนแยกกันโดยเยื่อกั้นที่เรียกว่า Interatrial septum

3. หัวใจห้องล่างขวา (Right ventricle)
4. หัวใจห้องล่างซ้าย (Left ventricle)

} ห้องล่างแยกกันโดยเยื่อกั้นที่เรียกว่า Interventricular septum

ตรงผนังที่กั้นของหัวใจห้องบนขวา (Right. atrium) จะมีช่องรูปไข่ เรียก Fossa ovalis (Foramen ovale) ในเด็กแรกเกิดช่องนี้จะปิดทันที (ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการปรับตัวของระบบไหลเวียนโลหิตในเด็ก) เพราะหัวใจเป็นระบบปิด ดังนั้นเมื่อ หัวใจห้องล่างขวาและซ้ายบีบตัวเลือดก็จะปั๊มออกพร้อม ๆ กัน ผนังของหัวใจหัวใจห้องล่างซ้าย จะหนากว่าส่วนอื่น เพราะมันจะเป็นตัวปั๊มเลือดไปเลี้ยงทุกส่วนของร่างกาย ขณะที่หัวใจห้องล่างขวาจะปั๊มเลือดไปแค่ที่ปอด ดังนั้นความดันของหัวใจห้องล่างซ้ายจึงค่อนข้างสูง ~ 120 มิลลิเมตรปรอท ในช่วงที่มีการหดตัว ส่วนหัวใจห้องล่างขวา จะมีความดัน ประมาณ 20 มิลลิเมตรปรอท ผนังของ atrium จะบางกว่า ventricle เพราะมีความดันต่ำและก็แค่ปั๊มเลือดไปในระยะสั้น ๆ เท่านั้น

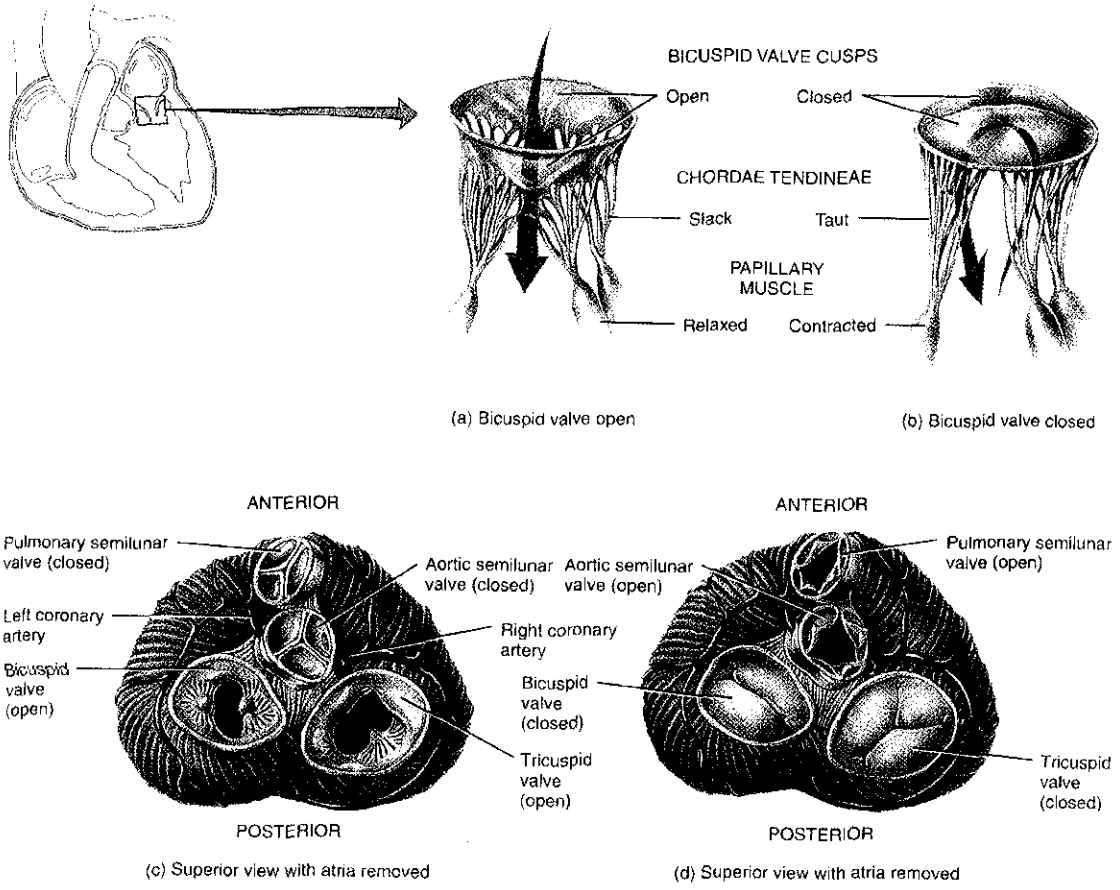


รูปที่ 7.11: โครงสร้างภายในของหัวใจ (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

ลิ้นของหัวใจ

หัวใจมีทั้งหมด 4 ลิ้น (ดังแสดงในรูปที่ 7.12) ดังนี้คือ

1. Atrioventricular valves (AV valves) คือ เลือดจะไหลจาก Atria → Ventricle จะมี 2 ลิ้น คือ Bicuspid valves (Left Heart) และ Tricuspid valves (Right. Heart)
2. Semilunar valves จะไหลจาก Right. ventricle ไปยัง Pulmonary artery ซึ่งเราเรียกว่า Pulmonary semilunar valves และจาก Left. ventricle ผ่านไปยัง Aorta เรียกว่า Aortic semilunar valves



รูปที่ 7.12 : ลิ้นของหัวใจและการตอบสนอง a = ลิ้น Bicuspid เปิด, b = ลิ้น Bicuspid ปิด , c = ภาพด้านบน เมื่อเอา Atria ออกและ ลิ้น Pulmonary กับ ลิ้น Aortic ปิด, d = ภาพด้านบนเมื่อเอา atria ออก และ ลิ้น Pulmonary กับ ลิ้น Aortic เปิด (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

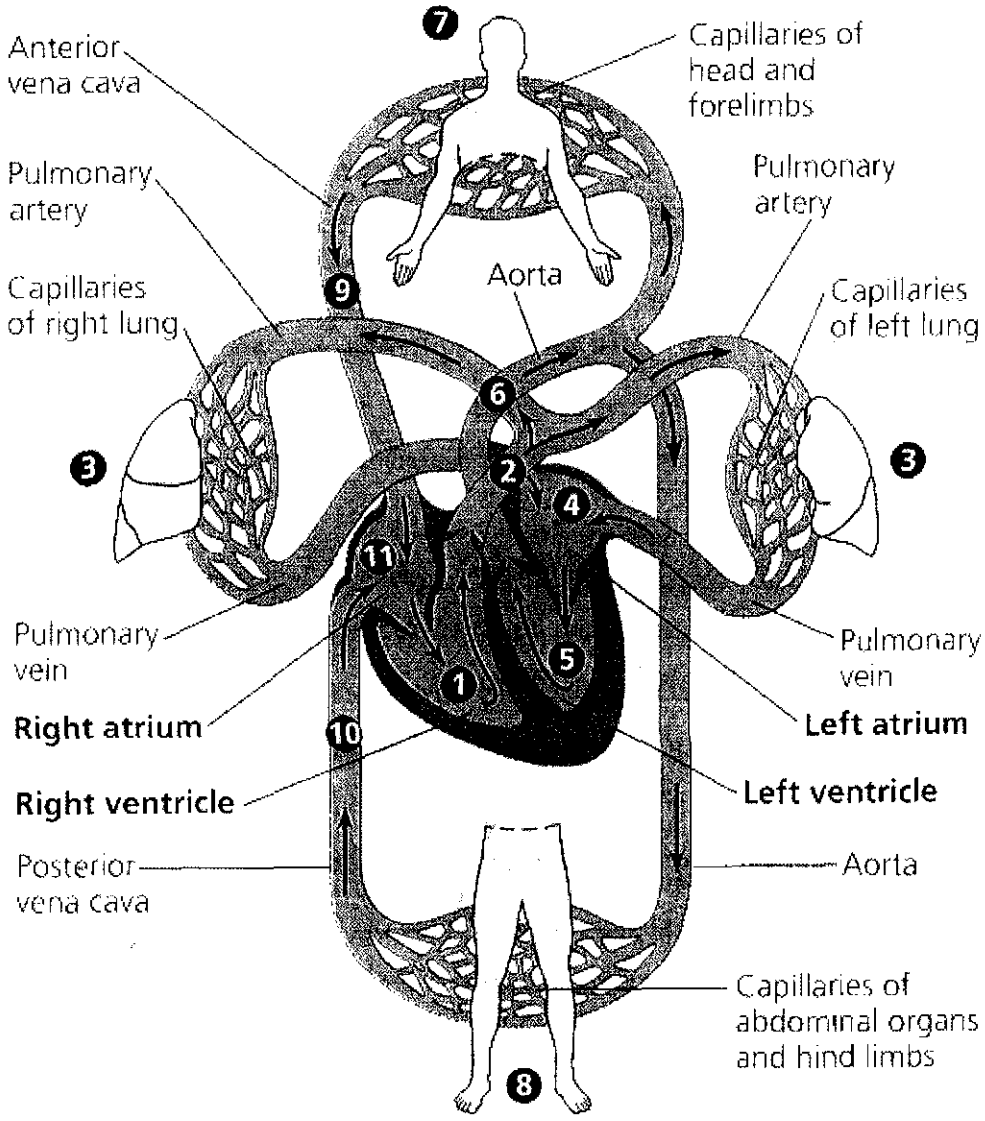
การไหลเวียนของเลือด (ดังแสดงในรูปที่ 7.13)

1. Pulmonary circulation โดยเริ่มจาก Right ventricle ซึ่งรับเลือดมาจาก Inferior vena cava, Superior vena cava ปั๊มเลือดผ่าน Pulmonary arteries ทั้งซ้ายและขวา แล้วเลือดผ่านไปยังเส้นเลือดฝอยของปอด แล้วก็มีการแลกเปลี่ยน O_2 ต่อจากนั้นจะย้อนกลับไปยังหัวใจโดยผ่าน Pulmonary vein เข้าที่ Left. atrium เพื่อส่งต่อไปยัง Left. ventricle
2. Systematic circulation เริ่มจาก Left. ventricle จะปั๊มเลือดที่มี O_2 โดยผ่านทาง Aorta ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. แล้วส่งต่อไปยังร่างกายส่วนบน → อวัยวะในช่องท้อง และส่วนล่างซึ่งจะผ่าน Capillaries แล้วเมื่อเซลล์ได้รับ O_2 ก็จะส่งเลือดกลับผ่านทาง Venules ซึ่งนำเลือดกลับผ่าน Veins เพื่อส่งต่อกลับไปยังหัวใจโดยผ่านทาง Superior vena cava และ Inferior vena cava

การเต้นของหัวใจ (Heart beat)

การเต้นของหัวใจแต่ละครั้ง เรียกว่า Cardiac cycle ซึ่งประกอบด้วยลำดับของการหดตัว (Systole) และการคลายตัว (Diastole) การเต้นของหัวใจจะเริ่มเมื่อวันที่ 23 ภายหลังจากการมีปฏิสนธิของไข่แล้วจนกระทั่งตาย

การเต้นของหัวใจ สามารถเต้นได้เองโดยไม่ต้องกระตุ้นด้วยระบบประสาท โดย Intercalated disks ซึ่งเป็น Tight junction ระหว่างเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจจะช่วยส่งกระแสไฟ (Electrical impulses) จากเซลล์หนึ่ง → อีกเซลล์หนึ่ง โดยจะมี Depolarization และ Repolarization เกิดขึ้น การเต้นจะเริ่มที่ Sinoatrial (SA) node ตรงผนัง Rightt. atrium ใต้ส่วนเปิดของ Superior vena cava เมื่อ SA node สามารถส่งสัญญาณประสาทได้เองทำให้หัวใจสามารถเต้นได้เอง เราจึงเรียกว่าเป็น Pacemaker แล้วส่ง impulse ไปที่ AV node (Atrioventricular node) ซึ่งอยู่ที่ Purkinje fibers ซึ่งจะนำกระแสไฟฟ้ามากเป็น 6 เท่าของส่วนอื่น AV node จะส่ง Impulse ช้าต้องใช้เวลา ~ 8/10 วินาที ในการที่ SA node จะผลิตกระแสไฟ เพื่อไปกระตุ้น จนกระทั่ง Ventricle หดตัว



รูปที่ 7.13:ระบบการไหลเวียนของโลหิต (Campbell,N.A., and Reece, J.B., 2002)

Cardiac cycle

Cardiac cycle คือ ลำดับขั้นตอนที่เกิดขึ้นระหว่างการเต้นของหัวใจจนครบวงจร 1 ครั้ง (รูปที่ 7.14) ซึ่งเป็นการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ การหดตัวเราเรียกว่า systole และการคลายตัวเรียกว่า diastole ซึ่งจะเกิดขึ้นเป็น 4 ขั้นตอน คือ

1. Atrial diastole ระหว่างเวลาที่ Atria กับ Deoxygenated blood เข้า Rightt. atrium ในช่วงแรก Bicuspid และ Tricuspid valves ถูกปิด แต่ในขณะที่ห้อง Atria มีเลือดเต็ม ความดันใน Atria จะเพิ่มขึ้นจนสูงกว่าความดันใน Ventricles ทำให้ Valves ถูกดันให้เปิดออก
2. Atrial systole เมื่อ Atrial diastole สิ้นสุดลง Atria ทั้ง 2 ข้างจะหดตัว เป็นผลทำให้เลือดถูกปั๊มเข้าไปใน Ventricles
3. Ventricular systole คือ Ventricle หดตัว ทำให้มีการปิดของ AV valves เพื่อป้องกันเลือดไหลกลับ Atria จากแรงดันอันนี้จะทำให้ Semilunar valve ของ aorta เปิดและ pulmonary arteries และเลือดไหลเข้าไปในหลอดเลือด **การปิดของ AV valve** ช่วงระหว่าง Ventricle หดตัวทำให้เกิด**เสียงแรก คือ " Lub "**
4. Ventricular diastole เริ่มเมื่อ Ventricular systole สิ้นสุดความดันสูงภายใน Aorta และ Pulmonary artery ทำให้เลือดบางส่วนไหลย้อนกลับไปยัง Ventricle เป็นผลให้ Semilunar valve ของ Aorta และ Pulmonary artery ถูกปิด ซึ่งเป็นการป้องกันการไหลย้อนกลับของเลือดเข้าสู่หัวใจ การปิดของ valves ทำให้เกิดเสียงเต้นของหัวใจ**เสียงที่ 2 คือ " Dub "**

เสียงของหัวใจ (Heart sound)

เสียงของหัวใจจะสามารถฟังได้โดยการใช้หูฟังที่เรียกว่า Stethoscope โดยจะมีตำแหน่งที่สามารถฟังได้ชัดเจน คือ ตรงตำแหน่งของลิ้นหัวใจ Tricuspid, Bicuspid , Aortic และ Pulmonary valves เสียงของหัวใจแบ่งได้เป็น 4 เสียง คือ

1. เสียงที่ 1 เสียงจะยาวและนานกว่าเสียงที่ 2 จะเกิดเมื่อ Ventricle ได้รับเลือด และ AV valves (Tricuspid และ Bicuspid) ของ Atrium ทั้ง 2 ด้านปิด และ Aortic และ Pulmonary valves เปิด เลือดเริ่มถูกขับเข้าไปใน Aorta และ Pulmonary artery จะได้ยินชัดในส่วนของ **apex**
2. เสียงที่ 2 จะสูง แต่ใช้ระยะเวลาสั้น จะเกิดเมื่อ Semilunar valve ปิดหลังจากที่ Ventricle ปั๊มเลือดไปยังปอดและส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และเริ่มมีการบีบตัว และเสียงที่ 2 จะได้ยินชัดตรง Second intercostal space (ช่องว่างระหว่างกระดูกซี่โครง) คู่ที่ 2

3. เสียงที่ 3 เกิดจากการสั่นสะเทือนของผนังของ Ventricle หลังจากที่ A-V valves เปิด และเลือดจะไหลเข้าไปใน Ventricle เสียงจะได้ยินชัดตรงตำแหน่งของ Tricuspid valve
4. เสียงที่ 4 ปกติจะไม่ได้ยิน เพราะความถี่ต่ำมาก เกิดจากเลือดไหลเข้าไปใน Ventricles อย่างรวดเร็ว จะได้ยินชัดตรงตำแหน่งของ Mitral valve

เสียงของหัวใจ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการวินิจฉัยเกี่ยวกับความผิดปกติของลิ้นหัวใจ ซึ่งถ้าเสียงของหัวใจผิดปกติเราเรียกว่า Murmur

Cardiac output

หัวใจจะปั๊มเลือด ~75 ml./ครั้ง หรือ 70 ครั้ง/นาที

Cardiac output คือ ปริมาณของเลือดที่ปั๊มออกจากหัวใจในเวลา 1 นาที

Stroke volume คือ จำนวนของเลือดที่ถูกขับออกจาก Ventricle ขณะที่ Ventricle หดตัว

Heart rate คือ อัตราการเต้นของหัวใจ

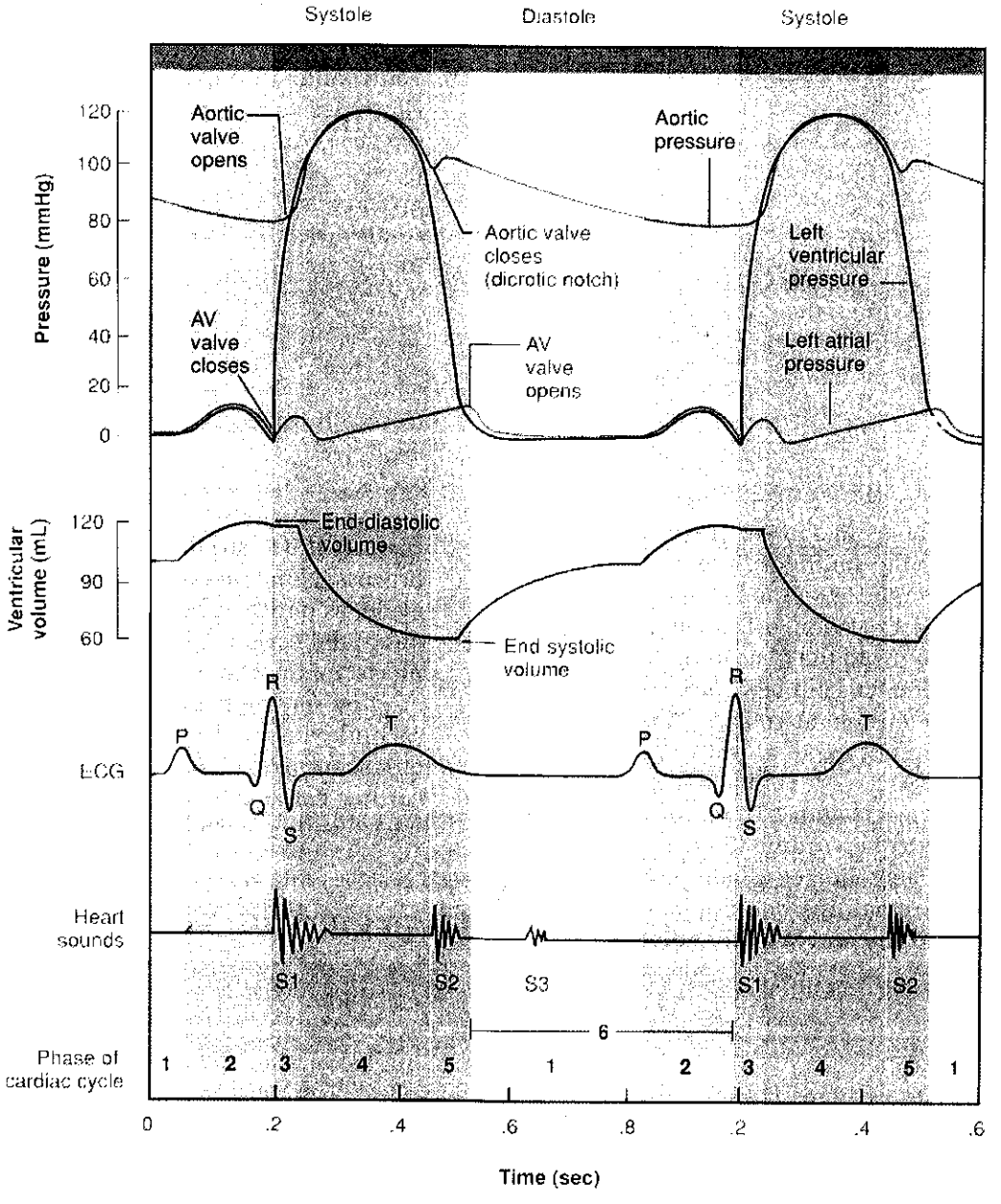
$$\underset{(ml/min)}{CO} = \underset{(ml/beat)}{SV} \times \underset{(beats/min)}{HR}$$

$$= 70 \text{ ml/beat} \times 75 \text{ beats/min}$$

$$= 5.25 \text{ liters/min}$$

ถ้า $SV\uparrow$, $HR\uparrow \rightarrow \uparrow CO$

$\therefore$ ถ้าขณะ exercise $\rightarrow$ $SV\uparrow$ to 100, $HR\uparrow$ to 100 $\rightarrow \uparrow CO \sim 10$ L/min



รูปที่ 7.14: Cardiac cycle (Saladin,K.S, 1998)

Cardiac reserve คือ ความแตกต่างระหว่างปริมาตรของเลือดที่ปั๊มออกไปจริง กับปริมาตรของหัวใจที่สามารถปั๊มภายใต้สภาวะเครียด ซึ่งในคนปกติ Cardiac reserve อาจจะประมาณ 300 – 400% ส่วนนักกีฬาอาจเพิ่มได้ถึง 500 – 600% และในคนที่ไม่ออกกำลังกายเลยอาจน้อยกว่า 200% ก็ได้

Cardiac index (CI) เป็นการวัด Cardiac output ของคนในขณะพัก โดยมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของร่างกาย (Body surface area)

$$\text{CI} \quad = \quad \frac{\text{CO}}{\text{BSA}}$$

$$(\text{L}/\text{min}/\text{sq.m})$$

อัตราการเผาผลาญของร่างกายจะสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของร่างกายด้วย และ Cardiac output ก็จะสัมพันธ์กับอัตราการเผาผลาญของร่างกาย ดังนั้น ค่า CI จะมีค่า ~2.5 – 4.0 L/min/sq.m

ระบบประสาทที่ควบคุมหัวใจ

การที่หัวใจสามารถปั๊มเลือดโดยผ่านหลอดเลือดได้นั้นจะถูกควบคุมโดยสมองส่วน Cerebrum, Hypothalamus, Medullar oblongata และระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nerves)

ระบบประสาทอัตโนมัติจะควบคุมอัตราการเต้นของหัวใจ

ศูนย์ควบคุมใหญ่จะอยู่ที่ Medulla oblongata ซึ่งจะรับข่าวสารเกี่ยวกับอุณหภูมิ อารมณ์ ความรู้สึกและความเครียดจาก Cerebrum และ Hypothalamus และจะได้รับข่าวสารพิเศษเกี่ยวกับส่วนประกอบของสารเคมีในเลือดจากศูนย์ควบคุมสารเคมี (Chemoreceptor) และข่าวสารจากเส้นเลือดที่ถูกยืด เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงของความดันโลหิตจากศูนย์ควบคุมที่เรียกว่า Baroreceptors

ส่วนบนของ medulla จะบรรจุพื้นที่ที่เรียกว่า Cardioacceleratory center (CAC) หรือ Pressor center ส่วนล่างของ Medulla จะบรรจุ Cardioinhibitory center (CIC) หรือ Depressor center ทั้งนี้เพื่อให้ร่างกายอยู่ในสภาวะ homeostasis ดังนั้นเราจึงเรียกว่าเป็นศูนย์ควบคุมหัวใจ (Cardioregulatory center)

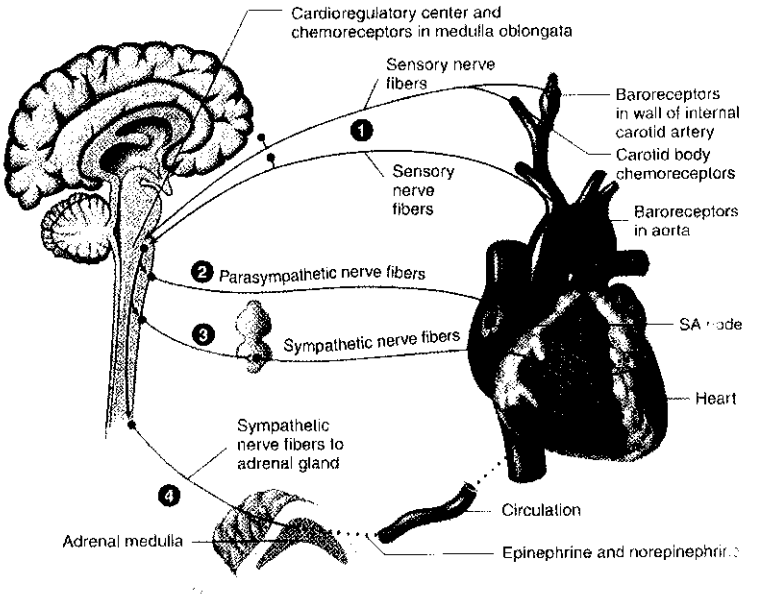
Baroreceptor หรือ Pressoreceptors (รูปที่ 7.15) จะอยู่ที่ผนังของ Aortic arch และ Carotid artery sinuses (Carotid sinus ซึ่งจะแตกแขนงเป็น External และ Internal carotids) จะทำหน้าที่ช่วยควบคุมภาวะสมดุล (Homeostasis) ในการไหลของเลือดไปที่สมองโดยจะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของความดันโลหิต เมื่อหลอดเลือดถูกยืดออก

ถ้าความดันโลหิตสูงกว่าปกติ, หลอดเลือด Aorta และ Carotid sinuses จะถูกยืดออก Baroreceptors ก็จะถูกกระตุ้นโดยการยืดของ Sinuses และส่งสัญญาณไปที่ Medulla ซึ่ง Medulla ก็จะตอบสนองโดยส่งสัญญาณผ่านทาง Parasympathetic และ Sympathetic nerve ไปยังหัวใจและหลอดเลือด ผลก็คือหัวใจจะเต้นช้าลงและหลอดเลือดก็จะขยายตัว ทำให้ความดันโลหิตลดต่ำลงสู่ปกติ

หลังจากที่สัญญาณเข้าไปใน Medulla, Secondary signal ยับยั้ง Cardioacceleratory center และกระตุ้น Cardioinhibitory center ผลคือการขยายหลอดเลือดและลดอัตราการเต้นของหัวใจและเพิ่มความแข็งแรงในการหดตัวของหัวใจ การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้แรงต้านทานใน Peripheral ลดต่ำลง และลด CO↓ ทำให้ BP↓

Carotid baroreceptors เป็นตัวสำคัญในการควบคุมความดันและการไหลของเลือดไปยังสมอง Feedback pathway นี้เรียกว่า Carotid sinus reflex, Baroreceptor ที่อยู่ที่ผนังของ Aortic arch จะเกี่ยวข้องกับ Aortic reflex ด้วย ซึ่ง Aortic reflex จะทำหน้าที่คล้ายกับ Carotid reflex แต่ช่วยควบคุมระบบการไหลของเลือดและความดันทั้งหมด

1. Sensory (*green*) neurons carry action potentials from baroreceptors to the cardioregulatory center. Chemoreceptors in the medulla oblongata influence the cardioregulatory center.
2. The cardioregulatory center controls the frequency of action potentials in the parasympathetic (*red*) neurons extending to the heart. The parasympathetic neurons decrease the heart rate.
3. The cardioregulatory center controls the frequency of action potential in the sympathetic (*blue*) neurons extending to the heart. The sympathetic neurons increase the heart rate and the stroke volume.
4. The cardioregulatory center influences the frequency of action potentials in the sympathetic (*blue*) neurons extending to the adrenal medulla. The sympathetic neurons increase the secretion of epinephrine and some norepinephrine into the general circulation. Epinephrine and norepinephrine increase the heart rate and stroke volume.



รูปที่ 7.15: Baroreceptor and Chemoreceptor reflexs (Seeley, R.R., et.al., 2003)

Chemoreceptors

Carotid sinuses และ Aortic arch จะมี Receptor ที่ Sensitive ต่อสารเคมีที่เราเรียกว่า Chemoreceptors ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของ Chemoreceptor reflex ซึ่ง Receptors จะตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงระดับ O_2, CO_2 และ H^+ ในเลือด

การเพิ่มความเข้มข้นของ CO_2 และ H^+ หรือ $O_2\downarrow$ จะเป็นผลทำให้ HR$\uparrow$

ฮอร์โมนที่ควบคุมหัวใจ

Epinephrine และ Norepinephrine เป็นฮอร์โมนที่ช่วยควบคุมหัวใจ โดย Epinephrine (Adrenaline) และ Norepinephine (Noradrenaline) จะถูกหลั่งมาจาก Adrenal medulla จาก Adrenal glands (ต่อมหมวกไต) ซึ่งจะทำหน้าที่เพิ่มประสิทธิภาพในการปั๊มหัวใจ NE จะช่วยเพิ่ม HR$\uparrow$ และ Contractility, Thyroid hormone ก็ช่วยเพิ่ม HR และ Contractility ด้วย

การควบคุมผลของ Autonomic nervous system จะถูกผลิตคือโดยการหลั่ง Acetylcholine จาก Parasympathetic และ NE จาก Sympathetic

Acetylcholine จะมีผลกระทบต่อ Pacemaker potential โดยเพิ่ม Permeability ของ SA node to K^+ ซึ่งจะทำให้อัตราการ Depolarization↓

ส่วน NE จะ ↑ Depolarization ของ SA node โดยการเพิ่มการไหลของ Ca^{2+} ion เข้าไปในเซลล์

อัตราการเต้นของหัวใจสามารถเปลี่ยนได้เล็กน้อยจากปัจจัยภายนอกของระบบควบคุมอัตโนมัติ คือ อุณหภูมิของเลือด, pH, ความเข้มข้นของ ion, ฮอร์โมน, ความโกรธ, ความเจ็บ, การออกกำลังกาย, ไข้

ปัจจัยอื่น

อายุ, เพศ, ความแข็งแรง, อุณหภูมิ ก็จะมีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ

ในเด็ก → HR ~ 120 ครั้ง/นาที และจะค่อย ๆ ลดลงมา

ในผู้ชาย → HR จะเร็วกว่าในผู้หญิง

การที่ temperature↑ → SA node ส่ง impulse ไปเร็ว → HR↑

temperature↓ → ↓HR↓ contraction↓

ความดันโลหิต (Blood pressure; BP)

BP คือ แรงดันซึ่งเกิดจากการไหลของเลือดผ่านผนังของหลอดเลือดและไหลเวียนผ่านทั่วร่างกาย เมื่อเวลาที่หัวใจมีการบีบตัว หน่วยที่วัดคือ มิลลิเมตรปรอท (mmHg) และที่ทุกจุดของหลอดเลือดก็จะไม่สามารถวัดความดันที่กำหนดการไหลของเลือดได้

ความดัน คือ การหดตัวของ Ventricle ทำให้เกิดความดันสูงสุดในหลอดเลือด Aorta และเส้นเลือดใหญ่ ความดันปกติ ~ 120 mmHg ในขณะที่มีการบีบตัว เราเรียกว่า Systolic (SP) และขณะคลายตัวเราเรียกว่า Diastolic (DP)จะ ~ 80 mmHg

$$\text{MABP (Mean arterial blood pressuer)} = \frac{1}{3}(SP - DP)$$

$$= 80 + \frac{1}{3}(120 - 80)$$

ดังนั้น ถ้าคนปกติมี BP 120/80 mmHg

MABP = ~ 93 mm Hg

$$CO = \frac{MABP}{R}$$

Peripheral resistance (R) คือ แรงต้านทานของผนังของหลอดเลือดจะมีหน่วยเป็น ซม , กรัม หรือวินาที จำนวนของแรงต้านทานขึ้นอยู่กับความยาว, รัศมี, พื้นที่ตัดขวางทั้งหมด และความหนืดของเลือด ปัจจัยที่สำคัญของความหนืด คือ ความเข้มข้นของเม็ดเลือดแดง (Hct) ความเข้มข้นของ โปรตีนในเลือด

ถ้า Blood viscosity ↑ → Hct ↑, Protein ใน Blood ↑

ชีพจร คือ จังหวะของการยืดของ Arteries โดยความดันของเลือดในเลือดผ่าน Arteries โดยการหดตัวของ Ventricle ในช่วง Systole

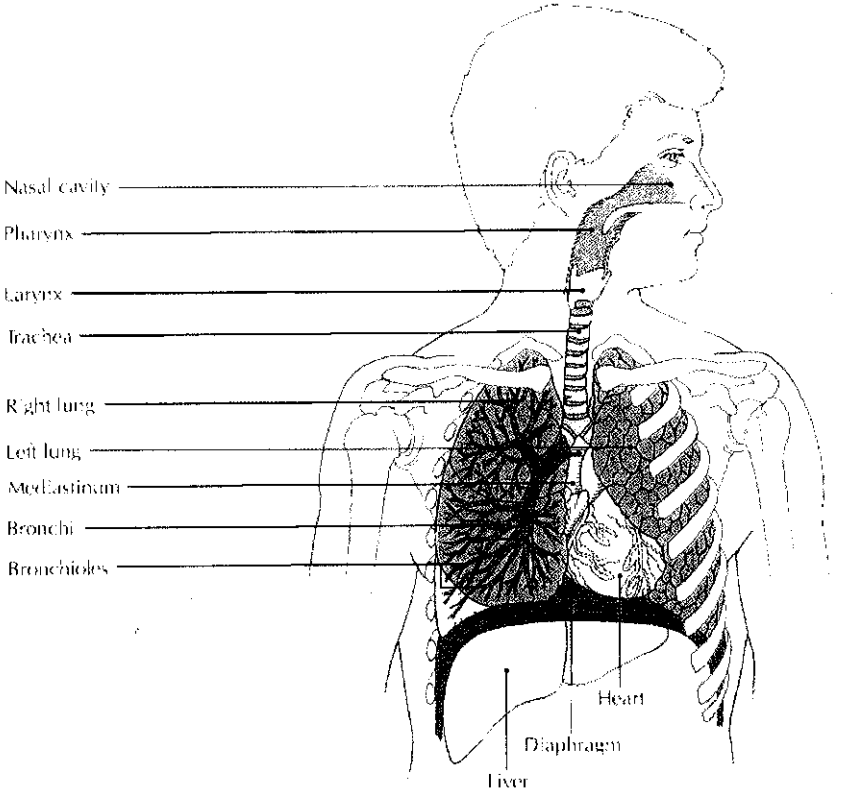
BP จะขึ้นอยู่กับ Cardiac Out put และแรงต้านทางการไหลของเลือด การไหลของเลือดจะเร็วที่สุดเมื่ออยู่ใกล้หัวใจ ทั้ง BP และ velocity จะ ↓ เมื่อเข้าไปใน Arterioles การที่ความดันลดลงเนื่องมาจากแรงต้านทานในการไหลของเลือด ซึ่งสาเหตุมาจาก Fiction ระหว่างเลือดกับผนังของหลอดเลือด Arterioles ด้านใน แรงต้านจะสูงเพราะเลือดไปแตะที่ผิวของผนังจำนวนมาก แรงต้านที่สูงนี้จึงทำให้เราสามารถจับ Pulseได้ที่ Arteries เท่านั้น และเครื่องมือที่ใช้วัด BP เราเรียกว่า Sphygmo manometer

ระบบหายใจ (Respiratory System)

การหายใจ → ขบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยน gas

คือ รับ O_2 จากอากาศ → cell

ขับ Co_2 ที่เกิดจาก metabolism → ออกนอกร่างกาย



รูปที่ 8.1 : ระบบหายใจ (Carola, R., et.al., 1990)

โครงการและหน้าที่ของระบบหายใจ

■ แบ่งตามการทำงานได้ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนทางนำของอากาศ (Conducting portion)

■ เป็นทางผ่านของอากาศ

■ ช่วยทำให้อากาศอุ่นและชุ่มชื้น

■ ไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส

ประกอบด้วย (รูปที่ 8.1)

1.1 จมูก 4 โพรงจมูก → รับกลิ่น , กรองอากาศ

1.2 คอหอย → ทางให้อากาศผ่าน

1.3 กล่องเสียง → ทางให้อากาศผ่าน และ ทำให้เกิดเสียง

1.4 หลอดลม (Trachea) → ภายในดาดด้วย Mucous membrane และมี Ciliated epithelium และ Mucous เหนียว ๆ คอยดักฝุ่น และ ผงละออง

1.5 หลอดลมเล็ก (Bronchus)

1.6 หลอดลมฝอย (Bronchioles)

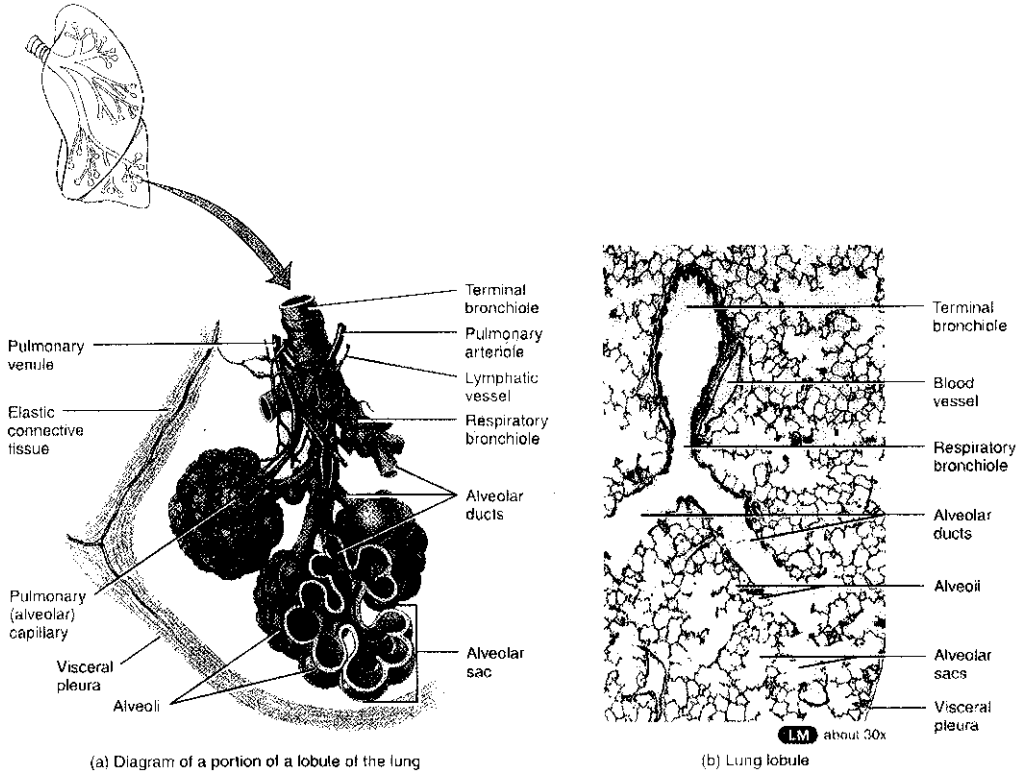
1.7 หลอดลมฝอยส่วนปลาย (Terminal bronchioles)

2. ส่วนที่แลกเปลี่ยนแก๊ส (Respiratory portion) รูปที่ 8.2

■ เริ่มจากหลอดหายใจฝอย (Respiratory bronchioles) → ท่อของถุงลม (Alveolar ducts)

→ถุงลมใหญ่ (Alveolar sacs) → ถุงลมเล็ก (Alveoli)

→ การแลกเปลี่ยนของแก๊ส ระหว่างปอดและเลือดเกิดขึ้นที่ผนังถุงลมเล็ก ๆ



รูปที่ 8.2: ส่วนประกอบของถุงลมปอด (Tortora, G.J., and Grabowski, S.R., 2000)

โครงสร้างของผนังของถุงลม ประกอบด้วย Epithelium cell ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ :-

1. Type I alveolar cell → แลกเปลี่ยนแก๊ส

2. Type II alveolar cell → สร้างสารที่ลดแรงตึง (Surfactant)

→ Alveolar pressure (P_{alv}) or Intrapulmonary pressure

คือ ความดันอากาศในถุงลมปอด (Alveoli)

ปกติ $P_{alv} = 0$ mm Hg

→ Intrapleural pressure (P_{ip}) or Intrathoracic pressure

คือ ความดันอากาศในช่องเยื่อหุ้มปอด (Intrapleural fluid)

ปกติ $P_{ip} = -4$ mm Hg

→ Transpulmonary pressure

คือ ค่าความดันที่แตกต่างกันระหว่าง P_{alv} กับ P_{ip} ซึ่งจะเป็นแรงที่ดึงให้ปอดยืดออกไม่ให้แฟบ

$\therefore P_{alv} - P_{ip} = 4$ mm Hg

(0) - (-4)

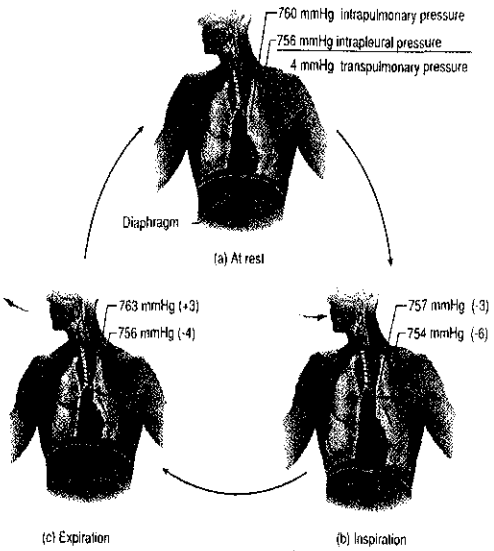
ปอด (Lung)

- อวัยวะสำหรับหายใจ
- Elasticity ยืดหยุ่นได้ดี
- Right. lung สั้นกว่า Left. lung
- Left. lung แคบกว่า Right. lung
- ปอดทั้ง 2 ข้าง ติดต่อถึงกันด้วย Bronchus

→ Pulmonary arteries → รับเลือดดำจากหัวใจ→ ฟอกที่ปอด

→ Pulmonary veins → นำเลือดแดงจากปอด → หัวใจ

→ Visceral pleura → ชั้นใน , Parietal pleura → ชั้นในนอก ในระหว่างชั้น Visceral pleura และParietal pleura จะมี Pleural fluid



รูปที่ 8.3: กลไกการหายใจ a=ระยะพัก , b= หายใจเข้า, c=หายใจออก (Saladin,K.S., 1998)

กลไกการหายใจ (Mechanics of breathing) ดังแสดงในรูปที่ 8.3

1. การหายใจเข้า (Inspiration)

2. การหายใจออก (Expiration)

การหายใจเข้า (Inspiration)

■ กล้ามเนื้อที่ใช้ → กระบังลม (Diaphragm) และกล้ามเนื้อซี่โครงด้านนอก (External intercostal muscle)

■ ใช้ Active process

กระบังลม(เลื่อนตัวลง)และกล้ามเนื้อซี่โครงด้านนอก (หดตัว)

↓

ช่องทรวงอกมีปริมาตร**เพิ่มขึ้น**

↓

ความดันภายในปอด**ลดลง** → Boyle's law

↓ $P \propto \frac{1}{v}$

ความดันในถุงลม < ความดันในบรรยากาศ

↓

อากาศก็จะไหลเข้ามาตามลาดของความดัน (pressure gradient)

↓

หายใจเข้า

การหายใจออก (Expiration)

■ เป็นขบวนการแบบ Passive

กระบังลม(เลื่อนตัวขึ้น)และกล้ามเนื้อซี่โครงด้านนอก คลายตัว

↓

ช่องทรวงอกมีปริมาตร**ลดลง**

↓

ความดันภายในปอด**เพิ่มขึ้น**

↓

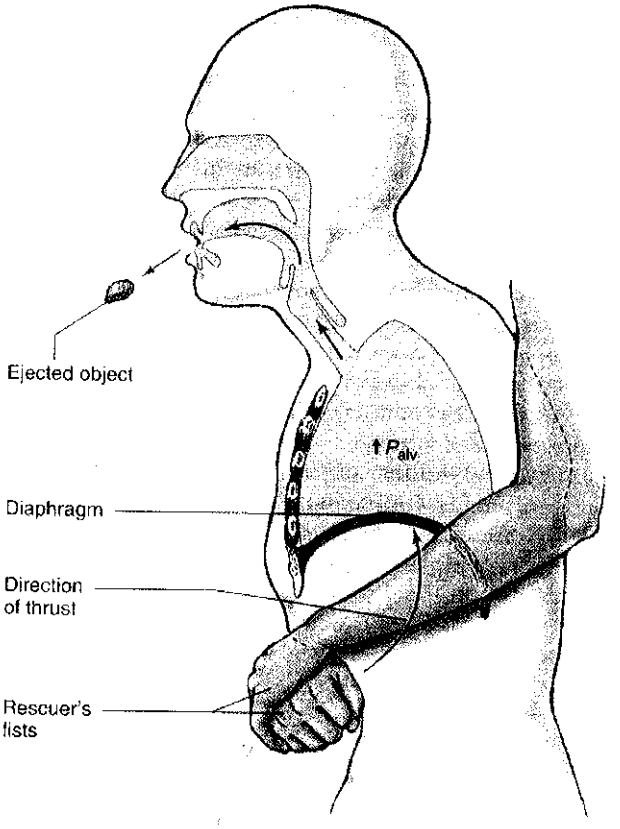
ความดันในถุงลม > ความดันในบรรยากาศ

↓

หายใจออก

→ Phrenic nerve → ควบคุมการหด + คลายตัวของกระบังลม

→ Intercostal nerve → ควบคุมการหด + คลายตัวของ กล้ามเนื้อซี่โครงด้านนอก



รูปที่8.4 : Heimlich maneuver เป็นการปฐมพยาบาลในเบื้องต้นเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมขนาดเล็กอุดตันในหลอดลม (Vander, A., et.al., 2001)

การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างปอด , เลือด และเนื้อเยื่อ

(Gas exchange between the lungs, blood and tissues)

■ ความดันบรรยากาศ (ที่ระดับน้ำทะเล)	=	760 mm Hg			
ในอากาศ มี gas N_2	=	78%	→	593	mm Hg
O_2	=	21%	→	160	mm Hg
CO_2	=	0.04%	→	0.3	mm Hg
gas อื่นๆ	=	0.9%	→	6.7	mm Hg
				760	mm Hg

Dalton's law

$$Px = P_{total} \times F$$

Px = ความดันย่อยของแก๊ส ; mm Hg

P_{total} = ความดันรวมของแก๊สผสม ; mm Hg

F = % หรือ อัตราส่วนของแก๊สนั้น ๆ

$Px = (P_{total} - P_{H2O}) \times F$

ปกติ P_{H2O} (ความดันไอน้ำ) = 47 mm Hg เมื่อ T = 37°C

→ P_{H2O} จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ

P_{H2O} ที่ 0°C = 5 mm Hg

ที่ 100°C = 760 mm Hg

ที่ 37°C = 47 mm Hg

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแพร่

$$D = \frac{\Delta P \times A \times S}{d \times MW}$$

D = อัตราการแพร่

ΔP = ลาดความแตกต่างของความดัน

A = พื้นที่ผิว

S = ความสามารถในการละลายของแก๊ส

d = ระยะทางในการแพร่

MW = น้ำหนักโมเลกุล

อุณหภูมิของของเหลวก็เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการแพร่ แต่ถ้าเป็นอุณหภูมิภายในร่างกาย จะมีค่าคงที่

O_2 จะแพร่จากถุงลมปอด → Alveolarcapillary membrane

↓

Interstitial fluid

↓

Cell

CO_2 จะแพร่จาก cell → Interstitial fluid

↓

หลอดเลือดที่ถุงลม

การขนส่ง O_2 (O_2 transport)

แบ่งเป็น 2 ทาง คือ :-

1. ละลายใน plasma ~ 2% O_2 ละลายในน้ำได้น้อยมาก

2. จับกับ Hb. ~ 98%

ในเลือดคนปกติ 100 มิลลิลิตร จะมี Hb = 15 กรัม

Hg 1 กรัม จะจับกับ O_2 ได้ ~ 1.34 มิลลิลิตร

ถ้าเลือด 100 มิลลิลิตร จะสามารถขนส่ง O_2 ได้ **20.1** มิลลิลิตร

$Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$

(OxyHb)

Hb 1 โมเลกุลประกอบด้วย heme 4 โมเลกุล

∴ Hb 1 โมเลกุลจับ O_2 ได้ 4 โมเลกุล

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการ Shift ของ Oxygen - dissociation curve (รูปที่ 8.5)

1.อุณหภูมิ

T ↑ → $Hb + O_2$ ↓ → Shift ขวา

T ↓ → $Hb + O_2$ ↑ → Shift ซ้าย

2.PCO_2 หรือ Acidity

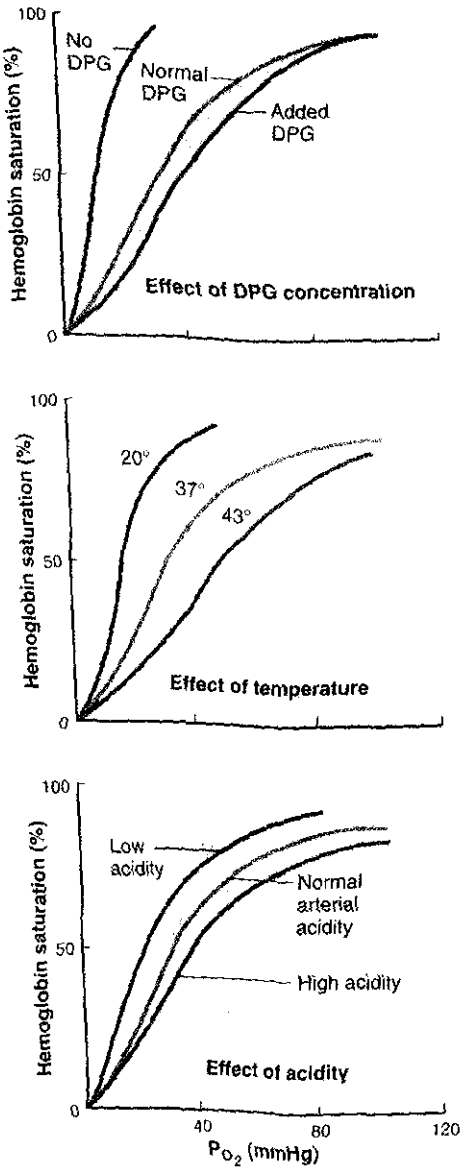
PCO_2 ↑
high acidity
(pH ↓) → $Hb + O_2$ ↓ → Shift ขวา

PCO_2 ↓ + pH ↑ → $Hb + O_2$ ↑ → Shift ซ้าย

3.2, 3 - DPG (Diphosphoglycerate)

2,3 - DPG ↑ → $Hb + O_2$ ↓ → Shift ขวา

2,3 - DPG ↓ → $Hb + O_2$ ↑ → Shift ซ้าย



รูปที่ 8.5: ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการ Shift ของ Oxygen - dissociation curve (Vander, A., et al., 2001)

Bohr effect

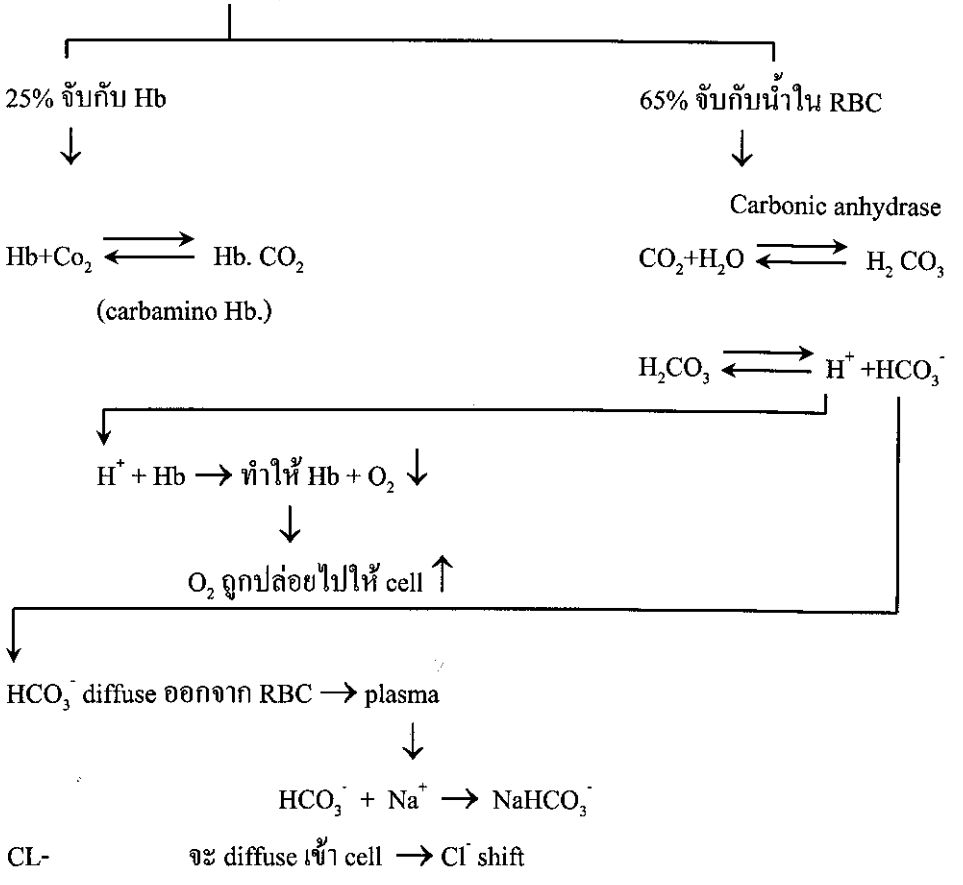
- การจับของ HbและO_2 ↓ เมื่อ pH ↓ → curve shift ขวา
- เป็นปัจจัยที่ควบคุม pH ของเลือด

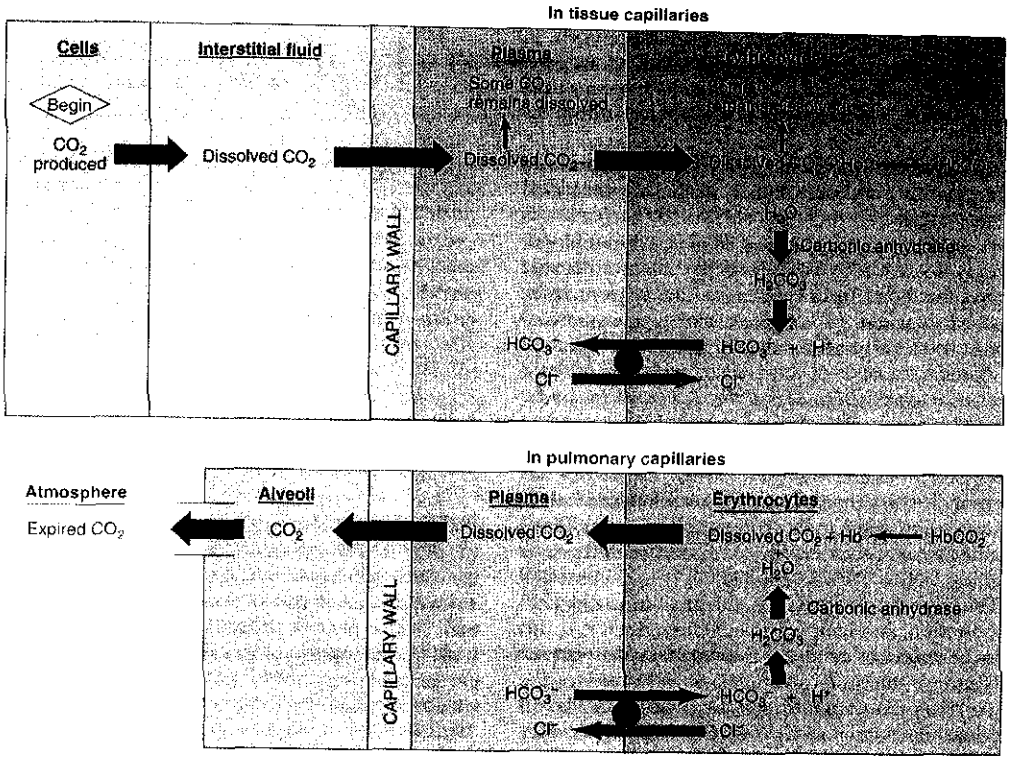
การขนส่ง CO_2 (CO_2 transport) ดังแสดงในรูปที่ 8.6

แบ่งเป็น 2 ทาง คือ :-

1. ละลายใน plasma ~ 10% CO_2 ละลายในน้ำได้

2. ละลายใน RBC ~ 90%



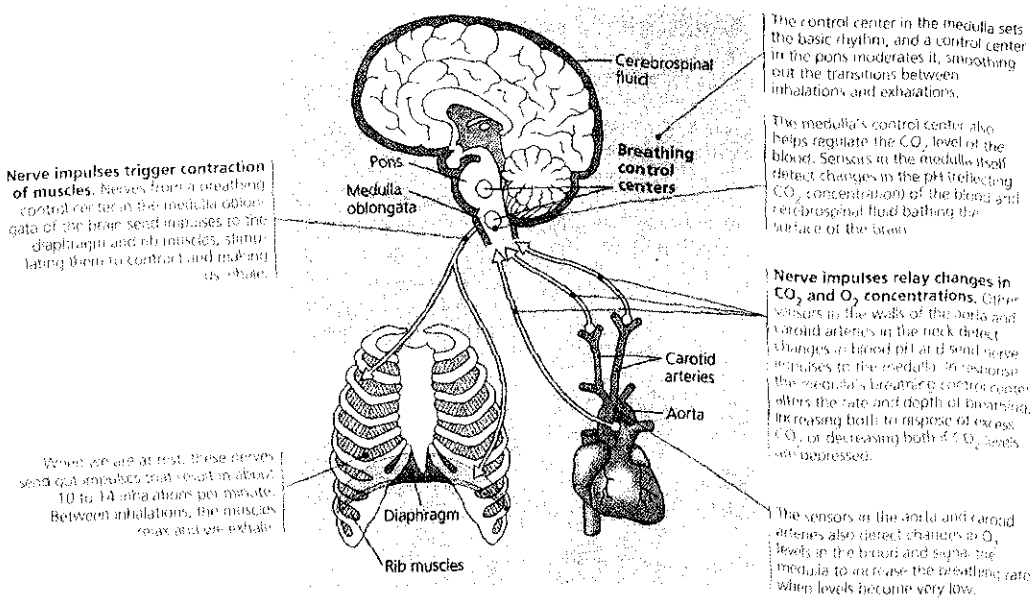


รูปที่ 8.6 : การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ (Vander, A., et al., 2001)

การควบคุมการหายใจ (Control of breathing)

แบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ ๆ (รูปที่ 8.7) คือ

1. การควบคุมทางประสาท
   1.1 การควบคุมอัตโนมัติ (Autonomic control)
   1.2 การควบคุมภายใต้อำนาจจิตใจ (Voluntary control)
2. การควบคุมทางเคมี



รูปที่ 8.7 : การควบคุมการหายใจ (Campbell, N.A., and Reece, J.B., et.al., 2002)

1. การควบคุมทางประสาท

- ศูนย์ควบคุมการหายใจ อยู่ที่ Medulla oblongata และ Pons.

→ Medulla oblongata → ควบคุมจังหวะการหายใจเข้า และ ออก

Nerve impulse จาก Active inspiratory area

↓

Phrenic และ Intercostal nerve.

↓

Diaphragm และ External intercostal muscle. หดตัว

↓

Inspriation

↓

~ 2 sec → Inspiratory nerveจะ inactive

↓

Muscle relax

↓

Expiration

→ **Pneumotaxic area** จะอยู่ในส่วนของ Pons.

↓

Impulse ไปยับยั้งศูนย์หายใจเข้า→ ถ้าปอดถูกยืดขยาย

↓

เกิดการหายใจออก

→ **Apneustic area** จะอยู่ในส่วนของ Pons

↓

จะactive เมื่อ Pneumotaxic → Inactive

↓

กระตุ้นให้หายใจเข้านานขึ้น + ยับยั้งการหายใจออก

→ **Apneusis → การหายใจเข้าค้างลึก + ยาวนาน**

→ **Hering Breuer Reflex**

เป็น reflex ที่ป้องกันอันตรายไม่ให้ปอดถูกขยายมากเกินไป **(Tidal volume > 1.5 ลิตร)**

↓

Impulse ส่งไปที่ Vagus nerve.

↓

ยับยั้งการหายใจเข้า และ ทำให้เกิดการหายใจออกตามมา

2. **การควบคุมทางเคมี** : รักษาระดับของ O_2 และ CO_2 ในเลือดให้คงที่

- แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ :-

2.1 Central chemoreceptor (Chemosensitive area)

- ตอบสนองต่อการปรับปรุงของความเข้มข้นของ H^+ ใน ECF
- ความเข้มข้น H^+ จะขึ้นอยู่กับ

→ H^+ + P CO_2 ใน CSF

→ PCO_2 ในเลือดที่มาเลี้ยงสมอง

→ Metabolism ของเซลล์สมองเอง

→ **ถ้า CO_2 ในเลือด ↑**

↓

ผ่านเข้า Blood Brain Barrier

(ไม่ยอมให้ H^+ ผ่านได้ แต่ยอมให้ CO_2 ผ่านได้)

↓

CSF ในสมอง

↓

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2Co_3 \rightarrow H^+ + HCO_3^-$

↓

กระตุ้น Chemorecepter

↓

การหายใจ ↑

→ ถ้า PCO_2 ในเลือด > 40 mm Hg

↓

Hypercapnia

↓

หายใจ↑

2.2 Peripheral chemoreceptors

- ตัวรับการปรับปรุงของสารเคมี (PO_2, $PCO_2 + H^+$) ในหลอดเลือด ได้แก่

2.2.1 Carotid body

2.2.2 Aortic body

ถ้า PO_2 < 50 mm Hg

↓

Peripheral chemoreceptor → Active

↓

Carotid body → Nerve 9

(Vagus nerve.)

↓

Medulla oblongata

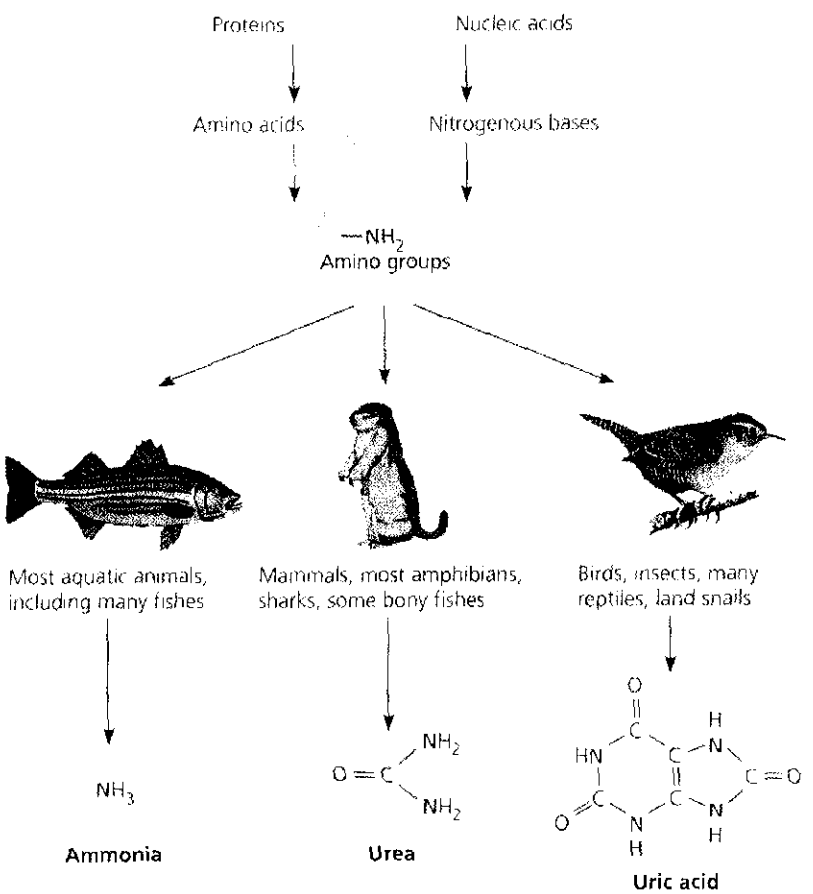
↓

การหายใจ ↑ (Hypoventilation)

ระบบขับถ่ายของเสีย (Excretory system)

อวัยวะที่ช่วยในการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย (Excretory organs)

1. ต่อมน้ำเหลือง → ขับสิ่งแปลกปลอมโดยวิธี Phagocytosis และขับออกทางเลือด
2. ปอด → ขับ CO_2 , ความร้อน และไอน้ำ
3. ตับ → ขับสารพิษพวกสารเคมีต่าง ๆ และสารที่แตกสลายจากพวก Hemoglobin
4. ม้าม → กรองเลือดและขับเซลล์เม็ดเลือดแดง เก่าทิ้ง
5. ลำไส้ใหญ่ → ขับพวกกากอาหาร ,น้ำและความร้อน
6. ไต → ขับของเสียที่ร่างกายไม่ต้องการออกทางปัสสาวะ
7. ผิวหนัง → ขับ H_2O ,เกลือ , ความร้อนและพวกไนโตรเจนบางชนิด



รูปที่ 10.1 : ของเสียจากพวกไนโตรเจน (Campbell, N.A., and Reecec, J.B., 2002)

Excretion of nitrogenous wastes

■ Nitrogenous waste product → Protein, Nucleic acid และสารที่มี N_2 เป็น ส่วนประกอบ. (ดังแสดงในรูปที่ 10.1)

Ammonia (NH_3)

■ ↑ NH_3 conc. → No cell can survive.

1 กรัม N_2 ต้องใช้น้ำ 300-500 มิลลิลิตร.

■ สัตว์ที่สามารถขับ NH_3 ออกมาได้ เราเรียกว่า Ammonotelic เช่น ปลาน้ำจืด & ปลาน้ำเค็ม

Urea

■ Less toxic < NH_3

1 กรัม Urea ต้องใช้น้ำ 50 มิลลิลิตร

■ สัตว์ที่สามารถขับ Urea ได้เรียกว่า Ureotelic เช่น ช้าง , ปลาฉลาม , สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ เป็นต้น

Uric acid

■ Less toxic < urea < NH_3

1 กรัม uric acid ต้องใช้น้ำ 10 มิลลิลิตร

■ สัตว์ที่สามารถขับ Uric acid ได้เรียกว่า Uricotelic เช่น นก, แมลง , สัตว์เลื้อยคลาน เป็นต้น

■ ถ้ามี Uric acid ↑ → Gout.

การขับถ่ายของเสียใน Embryo ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม เช่น

■ Embryo ของนกจะสร้าง Ammonia → Urea → Uric acid

■ Embryo ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะสร้าง Urea → Placenta ของแม่ → ไต → ปัสสาวะ

■

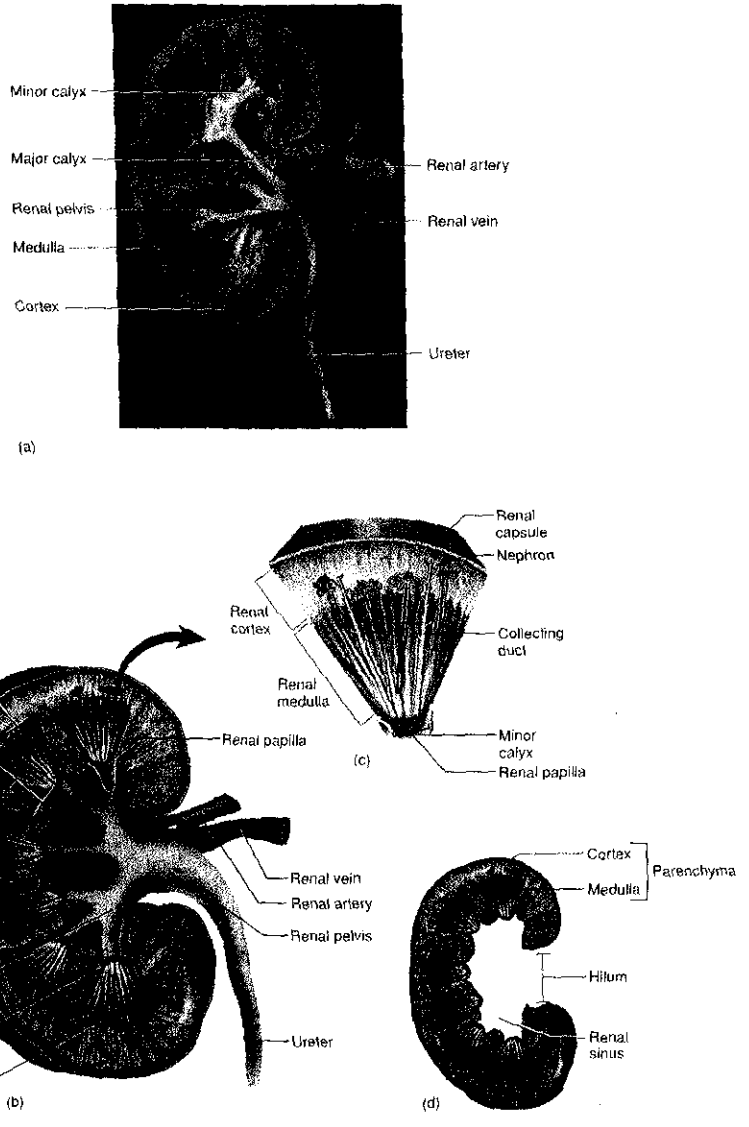
หน้าที่ของไต

1. ควบคุมความสมดุลของน้ำ และ Osmolarity ของของเหลวในร่างกาย
2. ควบคุมปริมาณและความเข้มข้นของ Ion ที่อยู่นอกเซลล์รวมทั้ง Na^+ , Cl^- , K^+ เป็นต้น ให้คงที่อยู่เสมอ
3. ช่วยในการขับถ่ายของเสียที่เกิดจากการเผาผลาญอาหาร เช่น ยูเรีย จากโปรตีน Creatinine จาก Creatine ในกล้ามเนื้อ
4. ช่วยขับสารแปลกปลอมที่ร่ายกายได้รับ เช่น ยาฆ่าแมลง , สารถนอมอาหาร เป็นต้น
5. ช่วยรักษาสมดุล กรด-ด่าง ในร่างกาย

ระบบขับถ่ายปัสสาวะ

ประกอบด้วย

1. ไต (Kidney) มี 2 ข้าง
   - ■ กำจัดของเสียและสารส่วนเกิน
   - ■ สร้างน้ำปัสสาวะ
2. หลอดไต (Ureter) - มี 2 ข้าง
   - ■ นำน้ำปัสสาวะออกจากไต → กระเพาะปัสสาวะ
3. กระเพาะปัสสาวะ (Bladder)
   - ■ เป็นที่เก็บน้ำปัสสาวะ ~ 0.6 - 1 ลิตร (ขึ้นอยู่กับเพศ + ขนาดของร่างกาย)
4. หลอดปัสสาวะ (Urethra)
   - ■ เป็นท่อนำน้ำปัสสาวะจากกระเพาะปัสสาวะ → ออกสู่ภายนอก



รูปที่ 10.2: โครงสร้างของไตภายใน (Saladin,K.S., 1998)

โครงสร้างของไต (ดังแสดงในรูปที่ 10.2)

- ไตเป็นอวัยวะคู่ รูปร่างคล้ายถั่ว
- มีน้ำหนัก ~ 150 กรัม
- ถ้าผ่าตามยาวแบ่งเนื้อไตออกเป็น 2 ส่วน คือ :-
  1. ชั้นนอก → Cortex
     - Cortical region (ด้านนอก)
     - Juxtamedullary (ด้านใน)
  2. ชั้นใน → Medulla ประกอบด้วย Renal pyramid → Renal pelvis → Ureter → Bladder
- ไตทำหน้าที่กรองเลือด ~ 1.8 ลิตร / วัน
- หน่วยย่อย ๆ ของไตเรียกว่า Nephron มี ~ 1 ล้านอัน

Nephron

- ทำหน้าที่กรอง (Filtration), ดูดกลับ (Reabsorption) และขับออก (Secretion)
- ประกอบด้วย
  1. Renal corpuscle ประกอบด้วย :-
     - Bowman's capsule :- ลักษณะเหมือนถ้วย หุ้ม
     - Glomerulus :- กรอง Plasma และ Protein. โมเลกุลเล็ก ๆ
  2. Renal tubule ประกอบด้วย :-
     - Proximal tubule
     - Loop of Henle — Descending limb
       Ascending limb : Thin ascending limb. and Thick ascending. Limb.
     - Distal tubule & Collecting duct

ปกติเลือดจะไหลผ่านเข้าไต ~ 25% ของ Cardiac output (~ 1,200 มล/นาที)

Renal artery
↓
Interlobar artery
↓
Arcuate artery
↓
Interlobular artery
↓

Afferent arterioles

↓

Efferent arterioles (Eff. < Aff. arteries ความดันที่ Glomerulus ↑ GFR↑)

↓

Peritubular capillaries (Vasa recta) จะพาเอา น้ำ และ สารที่ถูกดูดกลับมาจากท่อไต

↓

Renal vein.

↓

inferior vena cava

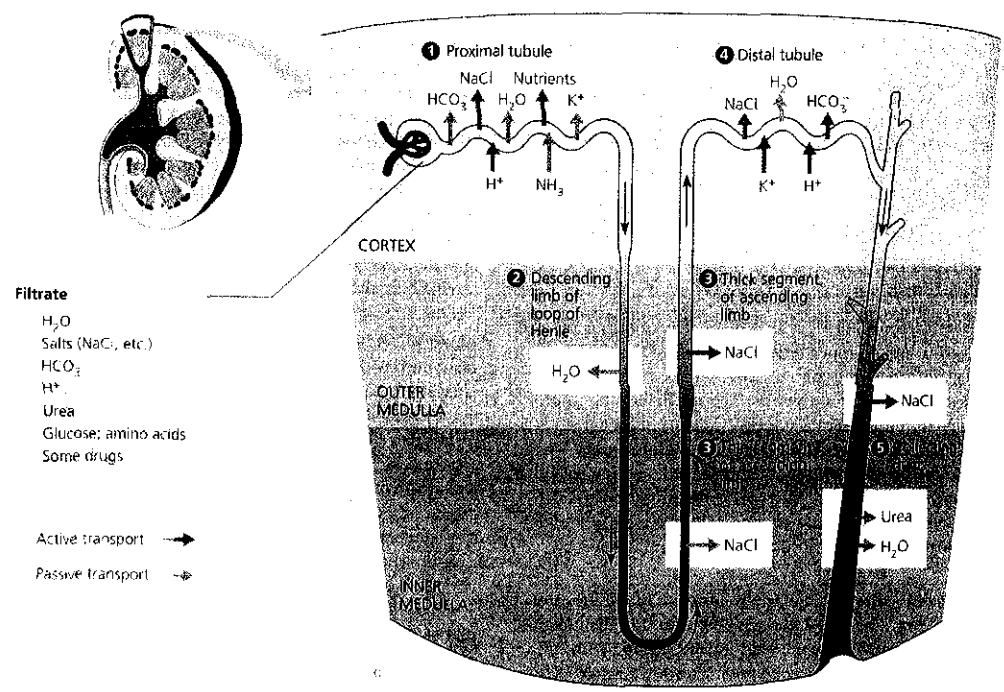
เส้นประสาทที่มาเลี้ยงไตเป็นแบบ Sympathetic nerve ทำหน้าที่

1. ควบคุมการปรับปรุงอัตราการกรอง
2. ควบคุมการดูดกลับของสารที่ท่อไต
3. ควบคุมการหลั่ง Renin

กระบวนการที่ทำให้เกิดน้ำปัสสาวะ (รูปที่ 10.3)

■ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. Filtration
2. Tubular reabsorption
3. Tubular secretion



รูปที่ 10.3 : ขั้นตอนในการเกิดน้ำปัสสาวะ (Campbell,N.A., Reece, S.R., 2002)

Step 1 → ที่ Glomerular filtration

■ กรองสารอาหาร , น้ำ , Urea, Amino acid , Na^+, Cl^- น้ำตาล

Step 2 → ที่ Proximal tubule

■ ดูด น้ำ , สารอาหาร , Na^+ , Cl^- กลับ ~ 60-70%

Step 3 → ที่ Descending limb

■ น้ำเคลื่อนออกจาก Tubule → Interstitial fluid

■ Osmolarity ใน Tubule ↑

Step 4 → ที่ Ascending limb

■ จะไม่ยอมให้ น้ำ ผ่าน

■ จะมี active pump Na^+ , Cl^- → ออกนอก tubule

■ Osmolarity ใน tubule ↓

Step 5 → ที่ Distal และ Collecting duct

■ จะไม่ยอมให้ น้ำและ เกลือแร่ผ่าน

■ ต้องอาศัยฮอร์โมนกระตุ้น

Step 6 → ความเข้มข้นของปัสสาวะจะ ∝ Permeability ต่อน้ำ ที่ Distal tubule

ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องในระบบการขับถ่ายของเสีย

1. Antidiuretic hormone (ADH) หรือ Vasopressin

■ ช่วยควบคุมการดูดน้ำกลับคืนจากการ กรอง เพื่อเข้าสู่กระแสเลือด

■ ช่วยป้องกันการสร้างน้ำปัสสาวะมากเกินไป

Hypothalamus

↓

Posterior Pituitary gland

↓

สร้าง ADH

ถ้า ↓ H_2O ในเลือด

Posterior Pituitary gland

↓

↑ ADH

↓

ปัสสาวะเข้มข้น

■ Nicotine, barbiturate → ↑ ADH → ↓ ปัสสาวะ

■ Alcohol → ↓ ADH → ↑ ปัสสาวะ

■ อาหารพวก Mustand , พริกไทย , น้ำชา , กาแฟ , Vitamin C → ↓ ADH → ↑ ปัสสาวะ

2.ฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องในการควบคุมการดูดซึมของ Na^+ คือ

2.1.Renin-angiotensin-aldosterone

■ หลั่ง Renin ซึ่งมีปัจจัยที่สำคัญคือ

2.1.1แรงดันเลือดที่มาไต

ถ้าแรงดันเลือด ↓ → Baroreceptor → Renin ↑

2.1.2 กระตุ้น Sympathetic nerve → Renin ↑

2.1.3$Na^+ + Cl^-$ ↓ → Renin ↑

■ ปกติ Renin ไม่มีผลต่อการทำงานของไต แต่จะเป็นน้ำย่อยของ โปรตีน

ในตับ → Polypeptide angiotensinogen

↓← Renin

Angiotensin I

↓ ← converting enzyme.

ในปอด → Angiotensin II

หน้าที่ของ Angiotensin II

1. กระตุ้นการหลั่ง Aldosterone จากต่อมหมวกไต (Adrenal cortex)
2. กระตุ้นการหลั่ง ADH จาก Posterior pituitary และ Thrist center
3. ทำให้เส้นเลือดในระบบไหลเวียน + เส้นเลือดที่มาเลี้ยงไตหดตัว → ความดัน ↑
4. กระตุ้นการหลั่ง Catecholamine → ↑ การดูดกลับของ $Na^+ + Cl^-$ ที่ท่อไตส่วนต้น

Aldosterone

■ ควบคุมความเข้มข้นของ Na^+ ในเลือด + K^+ ในต่อมหมวกไต

ถ้า $Na^+ \downarrow$ → $\downarrow Na^+$ ในเลือด

↓

Adrenal cortex

↓

$\uparrow$ Aldosterone

↓

ในส่วน Proximal tubule จะมีการดูด Na^+ กลับเข้ากระแสเลือด $\uparrow$ + $K^+ \uparrow$ เข้ามาใน tubule เพื่อที่จะขับออกทางปัสสาวะ

↓

$\uparrow Na^+$ ในเลือด

3. Atrial natriuretic hormone (ANH)

■ ฮอร์โมนที่หลั่งโดยหัวใจ

■ ช่วยรักษาความดันในเลือดให้คงที่

เมื่อ Volume และ Pressure. ในเลือด $\uparrow$

↓

กล้ามเนื้อ หัวใจ จะถูกกระตุ้น

↓

ANH $\uparrow$

มีการสูญเสีย Na^+ , น้ำ $\uparrow$

↓

ปัสสาวะ $\uparrow$

↓

Volume และ Pressure. ในเลือด $\downarrow$

■ ANH → ยับยั้งการหลั่ง Aldosterone ที่ต่อมหมวกไต

→ ยับยั้งการหลั่ง Renin

→ ขัดขวางการหลั่งของ ADH

การกระหายน้ำ (Thrist)