

บทที่ 7

การดำรงชีวิตของสัตว์

Maintenance of Animals Life

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. เขียนแผนผังโครงสร้างของระบบย่อยอาหารของสัตว์และมนุษย์
2. อธิบายการย่อยและการดูดซึมอาหาร
3. บอกชื่ออวัยวะที่ใช้ในการหายใจของสัตว์และมนุษย์
4. อธิบายการแลกเปลี่ยนแก๊สในระบบหายใจของสัตว์และมนุษย์
5. อธิบายการสลายโมเลกุลของสารอาหารให้เป็นพลังงาน
6. บอกชื่ออวัยวะที่ใช้ในการลำเลียงสารของสัตว์และมนุษย์
7. อธิบายการลำเลียงสารในระบบหมุนเวียนโลหิต
8. อธิบายกลไกการสร้างภูมิคุ้มกันของร่างกาย
9. บอกชื่ออวัยวะขับถ่ายของเสียของสัตว์และมนุษย์
10. อธิบายกลไกการทำงานของไต
11. อธิบายกลไกการรักษาอุณหภูมิของน้ำ แร่ธาตุ และอุณหภูมิของร่างกาย
12. บอกชื่ออวัยวะในระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัส
13. อธิบายกลไกการทำงานของระบบประสาท
14. บอกชื่อต่อมไร้ท่อภายในร่างกายมนุษย์
15. อธิบายการทำงานของฮอร์โมนต่าง ๆ

สัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ (Multicellular Organisms) มีการจัดระเบียบของร่างกาย ตั้งแต่ระดับของกลุ่มเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนกัน และทำหน้าที่อย่างเดียวกันเป็นเนื้อเยื่อ (Tissues) เนื้อเยื่อหลายชนิดทำหน้าที่ร่วมกัน เป็นอวัยวะ (Organs) อวัยวะต่าง ๆ ทำหน้าที่ร่วมกัน เป็นระบบอวัยวะ (Organ System) ในแต่ละระบบนอกจากทำหน้าที่ของ

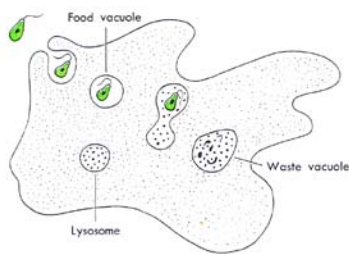
ระบบแล้ว ยังมีการประสานงานกับระบบอื่น ๆ ซึ่งทำให้ร่างกายสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างปกติ ระบบอวัยวะต่าง ๆ มีองค์ประกอบและหน้าที่ ดังนี้

ระบบอวัยวะ (Organ System)	องค์ประกอบที่สำคัญ (Main Components)	หน้าที่สำคัญ (Main Functions)
ระบบย่อยอาหาร (Digestive)	ปาก (Mouth) คอหอย(Pharynx) หลอดอาหาร (Esophagus) กระเพาะอาหาร (Stomach) ลำไส้ (Intestine) ตับ (Liver) ตับอ่อน (Pancreas) ทวาร หนัก (Anus)	กระบวนการทางอาหาร (Food Processing) ได้แก่ การกิน (Ingestion) การ ย่อย (Digestion) การดูดซึม (Absorption) และการกำจัด กากอาหาร (Elimination)
ระบบไหลเวียนและ ภูมิคุ้มกัน (Circulatory and Immune)	หัวใจ (Heart) หลอดเลือด (Blood Vessels) เลือด (Blood) ไขกระดูก (Bone Marrow) ต่อมน้ำเหลือง (Lymph Nodes) ธัยมัส (Thymus) ม้าม (Spleen) หลอดน้ำเหลือง (Lymph Vessels) เม็ดเลือดขาว (WBC)	กระจายสารภายในร่างกาย (Internal Distribution of Materials) ป้องกันร่างกาย โดยต่อสู้กับเชื้อโรคที่เข้าสู่ ร่างกาย และเซลล์มะเร็ง (Body Defense ; Fighting Infections and Cancer)
ระบบประสาท (Nervous)	สมอง (Brain) ไขสันหลัง (Spinal Cord) เส้นประสาท (Nerves) และอวัยวะรับสัมผัส (Sensory Organs)	ประสานการทำงานของ ร่างกาย (Coordination of Body Activities)
ระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine)	ต่อมใต้สมอง (Pituitary) ธัยรอยด์ (Thyroid) ตับอ่อน (Pancreas) และต่อมอื่น ๆ ที่หลังฮอร์โมน	ประสานการทำงานของ ร่างกาย (Coordination of Body Activities)

7.1 ระบบย่อยอาหาร (The Digestive System)

สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้จะต้องได้รับอาหารเพื่อนำไปสร้างพลังงาน สร้างและซ่อมแซมเนื้อเยื่อ เพื่อการเจริญเติบโต โดยอาหารจะเข้าสู่ร่างกายด้วยกระบวนการกิน (Ingestion) มีการย่อย (Digestion) เพื่อให้ได้โมเลกุลของสารอาหารที่เป็นโมเลกุลเดี่ยว เพื่อดูดซึม (Absorption) เข้าสู่เซลล์ และเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึมให้เป็นพลังงานสำหรับการดำรงชีวิต กับสารอาหารบางส่วนนำไปสร้างเป็นสารประกอบของเซลล์ที่ร่างกายต้องการ

การย่อยอาหารของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว



รูปที่ 7.1.1 การกินและการย่อยอาหารของอะมีบา (จาก John W. Kimball, 1965. Biology. หน้า 159)

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวพวกโปรโตซัว กินอาหารโดยกระบวนการ endocytosis ที่แตกต่างกัน เช่น อะมีบาใช้วิธีสร้างขาเทียมโอบล้อมอาหาร (Phagocytosis) พารามีเซียมใช้ซี่เลี้ยวที่ช่องปาก (Oral Groove) โบกพัดอาหารเข้าสู่เซลล์ ต่อจากนั้นอาหารจะเข้าสู่เซลล์โดยฟาโกไซโตซิส

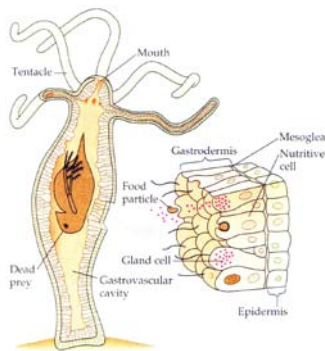
เมื่ออาหารเข้าสู่เซลล์ จะสร้างเป็นถุงอาหาร (Food Vacuole) แล้วไปหลอมรวมกับถุงไลโซโซม (Lysosome) เพื่อทำการย่อยอาหารที่ย่อยแล้วจะ

ดูดซึมอยู่ในไซโตพลาสซึม ส่วนกากอาหารจะอยู่ในถุงของเสีย (Waste Vacuole) ซึ่งจะถูกนำไปหลอมรวมกับเยื่อเซลล์ เพื่อขับออกจากเซลล์ต่อไป การย่อยวิธีนี้เป็นการย่อยภายในเซลล์ (Intracellular Digestion) ซึ่งต่างจากแบคทีเรีย ฟังไจ และจุลินทรีย์บางชนิดที่มีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารและดูดซึมสารที่ย่อยได้เข้าสู่เซลล์ เป็นการย่อยภายนอกเซลล์ (Extracellular Digestion)

การย่อยอาหารของสัตว์

สัตว์ชั้นต่ำพวกฟองน้ำ (Sponge) ยังไม่มีทางเดินอาหาร มีเซลล์พิเศษที่เนื้อเยื่อชั้นใน คือ เซลล์โคแอดโนไซต์ หรือ เซลล์คอลลาร์ (Choanocyte Cell or Collar Cell) ทำหน้าที่จับอาหารที่ผ่านมากับน้ำในช่องลำตัวโดยวิธีฟาโกไซโตซิส สร้างเป็นถุงอาหาร

(Food Vacuole) ซึ่งจะส่งเข้าเซลล์อะมีโบไซต์ (Amoebocyte Cell) ในชั้นมีโซเกลีย (Mesoglea) และหลอมรวมกับถุงเอนไซม์ (Lysosome) ทำการย่อยและดูดซึมสารอาหาร สัตว์ที่มีทางเดินอาหารไม่สมบูรณ์ (Incomplete Digestive Tract) พวกซีเลนเตอเรต (Coelenterates) เช่น ไฮดรา ซีแอนิโมนี ปะการัง มีทางเดินอาหารเป็นช่องกลางลำตัว คือ ช่องแกสโตรวาสคิวลาร์ (Gastrovascular Cavity) ซึ่งมีปลายเปิดด้านเดียว ทำหน้าที่เป็น ทั้งปากและทวารหนัก มีการย่อยอาหารทั้งภายนอกและภายในเซลล์

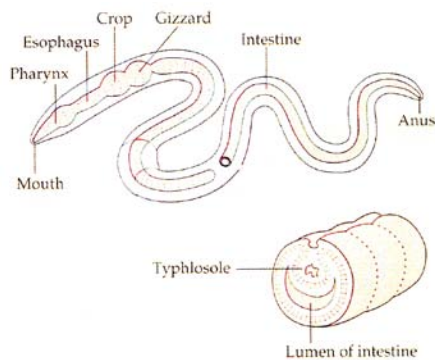


รูปที่ 7.1.2 การกินและการย่อย
อาหารของไฮดรา
(จาก Campbell, 1996)

อาหารเป็นสัตว์ขนาดเล็ก เช่น พวกโคพีพอด จะถูกทำให้เป็นอัมพาตจากเซลล์นีมาโตซิสต์ (Nematocyst) บนหนวด (Tentacles) ที่อยู่รอบปาก แล้วส่งเข้าปาก ลงสู่ช่องแกสโตรวาสคิวลาร์ เซลล์ต่อม (Gland Cells) จะขับน้ำย่อยออกมาย่อยอาหารให้มีขนาดเล็กลง ต่อจากนั้นเซลล์เอพิเทลิโอ ไดเจสทีฟ หรือ เซลล์ฟาโกไซติก (Epithelio Digestive Cell or Phagocytic Cell) จะกินอาหารที่ถูกย่อยนำเข้าไปย่อยภายในเซลล์อีกครั้งหนึ่ง

หนอนตัวแบน พวกพลาเนเรีย มีทางเดินอาหารยาวตลอดลำตัว และแตกแขนงเป็นท่อเล็ก ๆ มีปากอยู่ด้านท้อง การย่อยอาหารเกิดขึ้นในทางเดินอาหาร กากอาหารถูกกำจัดออกทางปาก

พยาธิใบไม้ (Fluke) มีการดำรงชีวิตเป็นปรสิตดูดกินอาหารทางปากที่อยู่ใกล้กับอวัยวะดูด (Sucker) อาหารคือเลือดของโฮสต์จึงไม่ต้องการย่อย เช่นเดียวกับตัวตืด (Tape Worm) ที่ดำรงชีวิตเป็นปรสิตโดยดูดซึมอาหารที่ย่อยแล้วของโฮสต์ทางผิวของลำตัว ทางเดินอาหารจึงไม่พัฒนาเป็นพวกไม่มีทางเดินอาหาร

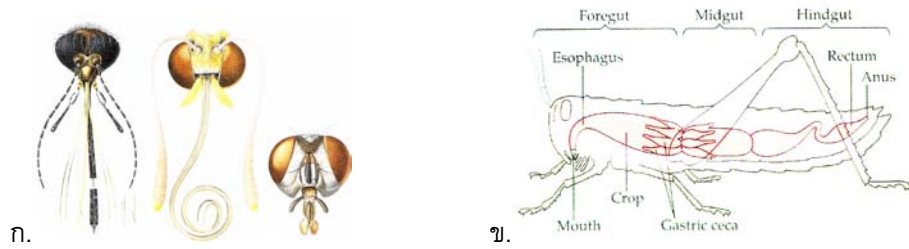


รูปที่ 7.1.3 ทางเดินอาหารของไส้เดือนดิน
(จาก Campbell et al, 1999)

สัตว์ที่มีทางเดินอาหารสมบูรณ์ (Complete Digestive Tract) คือ มีปลายเปิดให้อาหาร เข้ากับขับกากอาหารคนละช่องทาง ตอนกลาง เป็นส่วนย่อยอาหาร เริ่มมีในสัตว์พวกหนอน ตัวกลม (Nematode) แต่ยังไม่เจริญมากนัก หนอนปล้อง พวกไส้เดือนดินมีทางเดินอาหาร ที่เจริญมาก เริ่มจากปากที่มีริมฝีปาก (Prostomium) คอหอย (Pharynx) หลอดอาหาร (Esophagus) กระเพาะพักอาหาร (Crop) ก้อน (Gizzard) มี ผนังหนา มีเม็ดกรวดทราย ทำหน้าที่เป็น กระเพาะบดอาหารให้ละเอียด เป็นการย่อย

เชิงกล (Mechanical Digestion) มีลำไส้ (Intestine) ที่ผลิตน้ำย่อย อาหารจะถูกย่อยเชิง เคมี (Chemical Digestion)

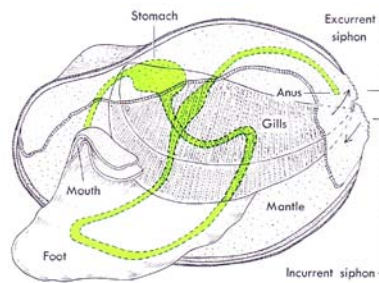
สัตว์พวกอาร์โทรพอด (Arthropods) ได้แก่ แมลง (Insects) มีการพัฒนาปากที่ หลากหลายรูปแบบ ตามชนิดของอาหารที่กิน พวกที่กินอาหารแข็ง เช่น ใบไม้ จะมีฟัน กราม และเขี้ยวที่แข็งแรง ใช้กัดและบดเคี้ยวอาหาร พวกที่กินอาหารเหลว จะมีปากหลาย แบบ เช่น คล้ายเข็มสำหรับเจาะดูดในยุง ม้วนเป็นวงในผีเสื้อ เป็นฟองน้ำซับดูดในแมลงวัน เป็นใบมีดตัดเนื้อเยื่อแล้วเลียของเหลวที่ไหลออกมาในพวกเห็บ เป็นต้น ที่ปากยังมีต่อม น้ำลาย (Salivary Gland) สร้างน้ำเมือกและเอนไซม์ จากปากเป็นหลอดอาหาร (Esophagus) กระเพาะพักอาหาร (Crop) กระเพาะบดอาหาร หรือ ก้อน (Gizzard) กระเพาะย่อยอาหาร (Stomach) มีแกสตริก ซีคา (Gastric Caeca) สร้างน้ำย่อยให้กับกระเพาะอาหาร อาหารที่ ย่อยในกระเพาะจะลำเลียงเข้าสู่ลำไส้ใหญ่ (Large Intestine) ลำไส้เล็ก (Small Intestine) เพื่อทำการย่อยและดูดซึม กากอาหารจะไม่เก็บรอการขับถ่ายในลำไส้ตรง (Rectum) ซึ่ง ปลายสุด คือ ทวารหนัก (Anus)



รูปที่ 7.1.4 ชนิดของปากแมลงแบบต่าง ๆ (ก) และทางเดินอาหารของแมลง (ข)

(จาก George B. Johnson, 1997 และ Campbell et al, 1999)

สัตว์พวกมอลลัส (Mollusks) ได้แก่ หอยและหมึก



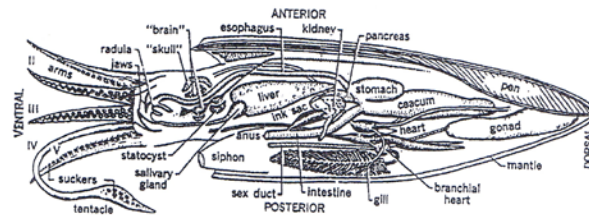
รูปที่ 7.1.5 ทางเดินอาหารของหอย

(จาก John W. Kimball, 1965)

หอยกินอาหารโดยการกรองอาหารออกจากน้ำ (Filter Feeding) ที่บริเวณเหงือก (Gills) ที่มีซี่เลี้ยว น้ำจะเข้าสู่ร่างกายทางช่องน้ำเข้า (Incurrent Siphon) เข้าไปที่เหงือก พร้อมกับปล่อยออกซิเจนเพื่อใช้หายใจ เมื่อที่เหงือกจะจับอนุภาคของอาหารและนำเข้าไปปาก ส่วนน้ำจะกรองออกไปทางช่องน้ำออก (Excurrent Siphon) อาหารจะถูกลำเลียงไปที่กระเพาะอาหารและลำไส้ เพื่อทำการย่อยและดูดซึม

กากอาหารจะเก็บที่ลำไส้ตรงเพื่อขับถ่ายออกทางทวารหนัก ซึ่งเปิดออกที่ช่องทางน้ำออก

หมึก (Squid) มีระบบย่อยอาหารที่เจริญมาก ทางเดินอาหารประกอบด้วย ปากที่มีขากรรไกร (Jaw) 1 คู่ มีฟัน (Radula) มีต่อมน้ำลาย (Salivary Gland) ที่สร้างน้ำย่อยหลอดอาหาร (Esophagus) ยาวจากปากไปถึงกระเพาะ (Stomach) ซึ่งมีซีกัม (Caecum) ขนาดใหญ่ ผลิตน้ำย่อย นอกจากนี้ยังมีตับ (Liver) และตับอ่อน (Pancreas) ติดต่อกับกระเพาะอาหาร มีลำไส้ (Intestine) ต่อจากกระเพาะอาหาร โดยมีถุงสร้างหมึก (Ink Sac) เปิดเข้าสู่ลำไส้ โดยสารหมึกจะถูกขับออกทางทวารหนักที่อยู่ปลายสุดของลำไส้



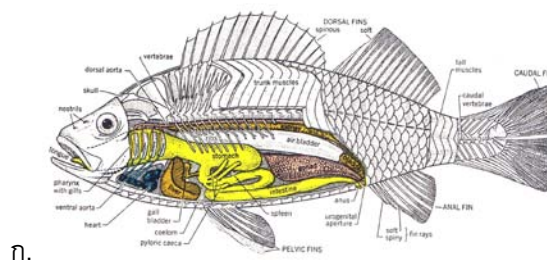
รูปที่ 7.1.6 ระบบย่อยอาหารของหมึก

(จาก Tracy I. Storer & Robert L. Usinger, 1965)

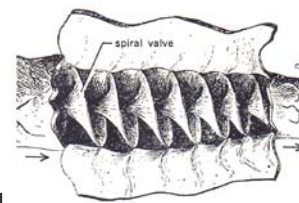
ระบบย่อยอาหารของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

ปลากระดูกแข็ง (Bony Fish) มีระบบย่อยอาหารที่เจริญ ทางเดินอาหารเริ่มจากปากที่มีขากรรไกร ซึ่งมีฟันขนาดเล็ก มีต่อมเมือก แต่ไม่มีต่อมน้ำลาย มีลิ้นขนาดเล็ก ลำคอมีเหงือกอยู่ทั้งสองข้าง หลอดอาหารสันติดต่อกับกระเพาะอาหาร มีลำไส้ซึ่งมีไพโลริกซีคา (Pyloric Caeca) 3 ท่อ ทำหน้าที่สร้างเอนไซม์ให้ลำไส้เพื่อช่วยย่อยอาหาร ทวารหนักอยู่ปลายลำไส้เปิดออกบริเวณครีบท้อง (Anal Fin) นอกจากนี้ยังมีตับขนาดใหญ่อยู่ด้านหน้าลำตัว สร้างน้ำดีเก็บอยู่ในถุงน้ำดีที่มีท่อน้ำดีติดต่อกับลำไส้ มีตับอ่อนขนาดเล็กช่วยสร้างน้ำย่อยให้ลำไส้

ปลากระดูกอ่อน (Cartilage Fish) พวกฉลาม ปากมีฟันแหลมคมอยู่บนขากรรไกร 1 คู่ ฟันแถวหลังที่เกิดใหม่จะทดแทนฟันแถวหน้าที่หลุดไปได้ตลอดเวลา ปากมีลิ้น และที่สำคัญคือ มีผนังลำไส้บิดเป็นเกลียว (Spiral Valves) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซึม มีตับยาวและมีถุงน้ำดี



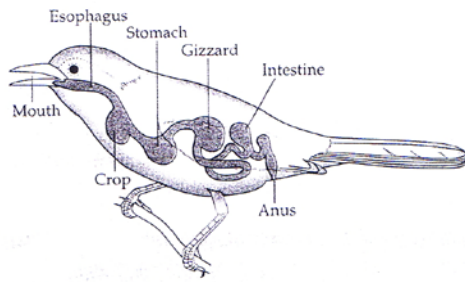
ก.



ข.

รูปที่ 7.1.7 ทางเดินอาหารของปลากระดูกแข็ง (ก) และลำไส้ของปลากระดูกอ่อน (ข)

(จาก Tracy I. Storer & Robert L. Usinger, 1965)

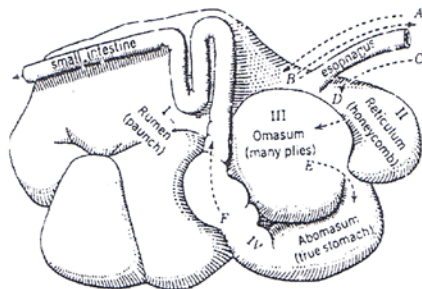


รูปที่ 7.1.8 ทางเดินอาหารของพวกสัตว์ปีก
(จาก Campbell et al, 1999)

สัตว์ปีก (Birds) พวกนก เปิด ไข่ ระบบย่อยอาหารมีทางเดินอาหารที่เริ่มจากปากที่มีกระดูกอ่อนหุ้ม (Break) มีลิ้นเล็กแหลม ลำคอสั้นต่อด้วยหลอดอาหารยาวสุดคอปปลายโป่งพองเป็นถุงพักอาหาร (Crop) ต่อด้วยกระเพาะอาหารส่วนหน้า (Proventriculus) มีผนังหนาสร้างน้ำย่อย ถัดไปเป็นกระเพาะแบนหรือกึ่ง (Ventriculus of Gizzard) มีผนังหนามาก ทำ

หน้าที่บดอาหาร เซลล์ผิวหนังในผลิตน้ำย่อยได้ ต่อด้วยลำไส้เล็ก (Intestine) ซึ่งยาวติดต่อกับลำไส้ตรง (Rectum) ซึ่งมีซีกาเป็นถุงตัด (Caeca (Cut)) 2 ถุง ทำหน้าที่สร้างน้ำย่อยให้ลำไส้เล็ก ปลายลำไส้ตรงเป็นทวารร่วม (Cloaca) ซึ่งเป็นทางผ่านของกากอาหารและเซลล์สืบพันธุ์

ระบบย่อยอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่กินพืชเป็นอาหาร



รูปที่ 7.1.9 กระเพาะอาหารของสัตว์พวกวัว ควาย

สัตว์พวก วัว ควาย แพะ แกะ กินอาหารที่เป็นพืชล้วน ๆ ซึ่งมีเซลลูโลสมาก และเนื่องจากมีร่างกายขนาดใหญ่จึงต้องกินอาหารปริมาณมาก การย่อยใช้เวลาหลายวัน มีกระเพาะสำรองอาหารถึง 4 กระเพาะ 3 กระเพาะแรกเปลี่ยนแปลงมาจากหลอดอาหาร ส่วนกระเพาะที่ 4 เป็นกระเพาะจริง แต่ละกระเพาะมีหน้าที่ ดังนี้

1. รูเมน (Rumen) หรือ กระเพาะผ้าขี้ริ้ว มีขนาดใหญ่กว่ากระเพาะอื่น เป็นที่เก็บอาหารที่สัตว์กลืนลงไปทั้งหมด อาหารจะถูกสำรองออกมาเคี้ยวใหม่อย่าง ช้า ๆ แล้วกลืนกลับเข้าไปอีก อาหารจะถูกหมักอยู่ในกระเพาะนี้นานหลายวัน โดยมีแบคทีเรียและโปรโตซัวช่วยทำการย่อย โปรตีน ไขมัน และเซลลูโลสให้เป็นกรดไขมันอย่างง่าย แล้วดูดซึมเข้ากระแสเลือด นำไปใช้เป็นพลังงานและสร้างน้ำนม นอกจากนี้ยังช่วยในการสังเคราะห์กรดไขมันจากคาร์โบไฮเดรต สังเคราะห์กรดอะมิโนจากยูเรียและแอมโมเนีย ซึ่งได้จากการหมัก (Fermentation) และสังเคราะห์วิตามินบี 12

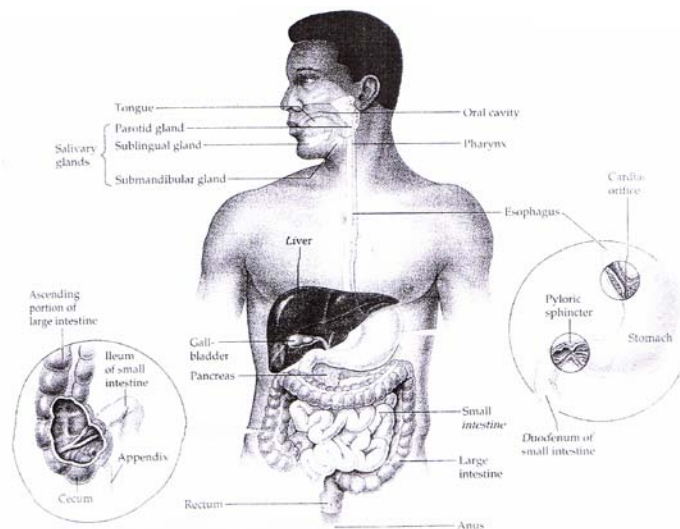
2. เรติคิวลัม (Reticulum) หรือกระเพาะรังผึ้ง อาหารจากรูเมนจะย้อนกลับมาที่เรติคิวลัมทางหลอดอาหารโดยไม่มีการย่อย

3. โอมาซัม (Omasum) หรือกระเพาะสามสิบกลีบ เป็นกระเพาะที่รับอาหารมาจากเรติคิวลัม เพื่อทำการบดและบีบน้ำออก ทำให้อาหารเป็นก้อน

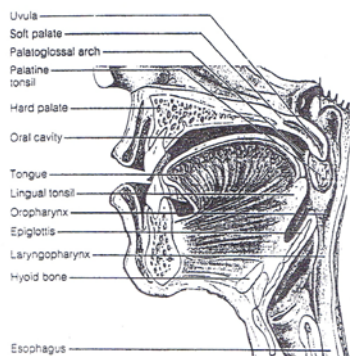
4. อะโบมาซัม (Abomasum) หรือกระเพาะจริง จะทำหน้าที่ย่อยอาหารที่ส่งมาจากโอมาซัมด้วยเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ อาหารที่ย่อยแล้วจะถูกส่งไปย่อยต่อในลำไส้เล็ก ซึ่งมีเอนไซม์จากลำไส้และจากตับอ่อนช่วยย่อยโปรตีน ไขมัน และแป้ง และมีน้ำดีที่สร้างจากตับช่วยในการแตกตัวของไขมัน นอกจากนี้ยังมีไส้ติ่งขนาดใหญ่และยาวที่มีจุลินทรีย์ช่วยย่อยอาหารอีกด้วย

ระบบย่อยอาหารในคน

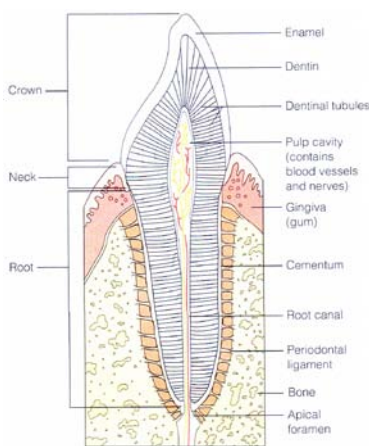
ทางเดินอาหารของคน ประกอบด้วยปาก (Mouth) ลำคอ (Pharynx) หลอดอาหาร (Esophagus) กระเพาะอาหาร (Stomach) ลำไส้เล็ก (Small Intestine) ลำไส้ใหญ่ (Large Intestine) และทวารหนัก (Anus)



รูปที่ 14.10 ทางเดินอาหารของคน (จาก Campbell et al, 1999)



รูปที่ 14.11 โครงสร้างของปาก
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)



รูปที่ 14.12 โครงสร้างของฟัน
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

1. ปาก (Mouth) ประกอบด้วยริมฝีปากบนและล่าง ภายในช่องปาก (Oral Cavity) มีโครงสร้างที่เป็นกระดูกเพดานปาก ด้านหน้าเป็นเพดานแข็ง (Hard Palate) ด้านในเป็นเพดานอ่อน (Soft Palate) ซึ่งตอนปลายเป็นเนื้อนิ่ม คือ ลิ้นไก่ (Uvula) ยื่นลงไปในลำคอ ด้านล่างมีลิ้น (Tongue) มีฟัน (Teeth) จัดเรียงตัวอยู่ในร่องฟันของกระดูก ขากรรไกร (Jaw) บนและล่าง นอกจากนี้ยังมีต่อมน้ำลาย (Salivary Gland)

โครงสร้างของฟัน ฟันแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

ตัวฟัน (Crown) เป็นส่วนที่อยู่เหนือเหงือก มีสารเคลือบฟัน (Enamel) เคลือบเนื้อฟัน (Dentine) ตรงกลางเป็นโพรงฟัน (Pulp Cavity) ซึ่งบรรจุเส้นเลือดและเส้นประสาท

คอฟัน (Neck) เป็นส่วนที่อยู่บริเวณเหงือก (Gum)

รากฟัน (Root) เป็นส่วนที่ฝังอยู่ในร่องกระดูก ขากรรไกร ภายในร่องรากฟัน (Root Canal) ที่ต่อมาจากโพรงฟัน รากฟันจะยึดติดกับร่องกระดูกขากรรไกรด้วยเนื้อเยื่อซีเมนต์ (Cementum)

ฟันของคนมี 2 ชุด คือ ฟันน้ำนม (Milk Teeth or Deciduous Teeth) เป็นฟันชุดแรก มี 20 ซี่ มีอายุประมาณ 10 ปี ก็จะหลุดไป และเกิดฟันชุดที่ 2 คือ ฟันแท้ (Permanent Teeth) มี 32 ซี่ ประกอบด้วย ฟันตัด (Incisors) 8 ซี่ เขี้ยว (Canines) 4 ซี่ กรามเล็ก (Premolars) 8 ซี่ และกราม (Molars) 12 ซี่ ซึ่งมีสูตรฟันแท้ (Dental Formula) คือ ICPM = 2123 (1/2 ของครึ่งปาก)

ต่อมน้ำลาย (Salivary Gland) ภายในปากมีต่อมน้ำลาย 3 คู่ ได้แก่

ต่อมน้ำลายใต้กกหู (Parotid Gland) มีท่อเปิดเข้าสู่ช่องแก้ม มีการสร้างเฉพาะน้ำลายใส (Serous Secretion) วันละ 25 % ของน้ำลายทั้งหมด มีเอนไซม์อะไมเลสมาก

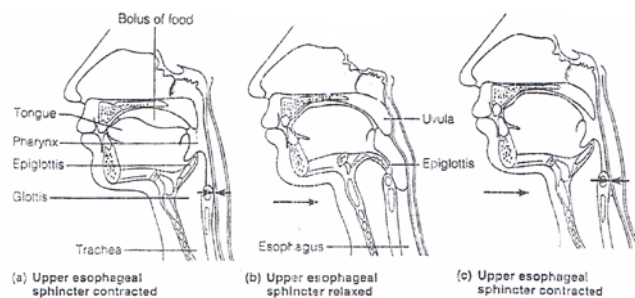
ต่อมน้ำลายใต้ขากรรไกร (Submaxillary Gland or Submandibular Gland) มีท่อมาเปิดเข้าสู่ช่องปาก สร้างน้ำลายใส วันละ 70 % ของน้ำลายทั้งหมด

ต่อมน้ำลายใต้ลิ้น (Sublingual Gland) มีท่อเปิดเข้าสู่ช่องปาก สร้างน้ำลายข้นมากกว่าน้ำลายใส เนื่องจากเป็นต่อมที่มี Mucous Cell มาก

น้ำลาย ประกอบด้วย เมือก (Mucous) ช่วยทำให้อาหารรวมกันเป็นก้อน มีเอนไซม์อะไมเลสช่วยย่อยแป้งไกลโคเจนให้เป็นอะไมโลส เอนไซม์ไลเปสจากต่อมใต้ลิ้นช่วยสลายไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมันสายสั้น ๆ ไลโซไซม์ อิมมูโนโกลบูลิน (IgA) ย่อยผนังเซลล์ของแบคทีเรีย มีอิเล็กโทรไลต์ ได้แก่ Na^+ K^+ Cl^- HCO_3^- ตัวที่สำคัญ คือ ไบคาร์บอเนต อีออน ที่ช่วยปรับสภาพความเป็นกรดในปาก ซึ่งทำลายสารเคลือบฟัน จึงป้องกันไม่ให้ฟันผุ

2. ลำคอ หรือ คอหอย (Pharynx) เป็นท่ออยู่หลังหลอดลม (Trachea) และปากเป็นทางติดต่อระหว่างระบบทางเดินอาหารกับระบบหายใจ คือ ปาก จมูก และคอ เป็นทางผ่านของอากาศจากจมูกไปยังกล่องเสียง (Larynx) และเป็นทางผ่านของอาหารจากปากไปหลอดอาหาร รวมทั้งช่วยให้เกิดเสียง นอกจากนี้ลำคอยังติดต่อกับท่อยูสเทเซียน (Eustachian Tube) ของหูส่วนกลาง ซึ่งทำหน้าที่ปรับความดันของอากาศภายนอกกับภายในร่างกายให้เท่ากัน

การกลืนอาหารและน้ำ เนื่องจากอาหารและน้ำต้องเคลื่อนที่ผ่านลำคอ ลงสู่หลอดอาหารที่อยู่ด้านหลังของหลอดลม การกลืนจึงต้องมีกลไกควบคุมการเปิดปิดหลอดลม เพื่อป้องกันการพลัดตกของอาหารลงไปหลอดลม ในขณะที่มีการเคี้ยวอาหาร อากาศจากโพรงจมูก (Nasal Cavity) ยังคงผ่านลำคอเข้าสู่หลอดลมได้ตามปกติ เพราะกล้ามเนื้อหูรูดด้านบนของหลอดอาหารจะอยู่ในสภาพที่หดตัว (Upper Esophageal Sphincter Contracted) ทำให้หลอดลมเปิด เมื่อก่อนอาหาร (Bolus of Food) เคลื่อนเข้าหลอดอาหาร เพดานอ่อนจะยกตัวขึ้นไปปิดช่องโพรงจมูก กล้ามเนื้อหูรูดด้านบนของหลอดอาหารจะคลายตัว (Upper Esophageal Sphincter Relaxed) และฝาปิดกล่องเสียง (Epiglottis) จะยกตัวปิดกล่องเสียง (Glottis) ทำให้หลอดลมถูกปิด การหายใจจะหยุดไปชั่วขณะหนึ่ง เพื่อให้ก้อนอาหารผ่านลงไปหลอดอาหาร ต่อจากนั้น เพดานอ่อน กล้ามเนื้อหูรูดด้านบนของหลอดอาหาร และฝาปิดกล่องเสียงจะกลับไปอยู่ในสภาพเดิม ทำให้หายใจได้ตามปกติ

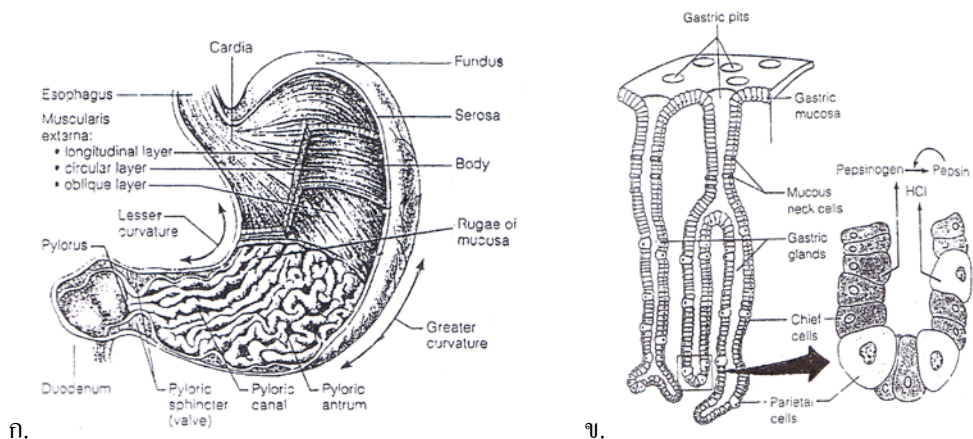


รูปที่ 7.1.13 การกลืนอาหาร (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

3. หลอดอาหาร (Esophagus) เป็นหลอดจากลำคอทะลุผ่านกระบังลมไปเชื่อมต่อกับกระเพาะอาหาร มีความยาวประมาณ 10 นิ้ว ก้อนอาหารที่อยู่ในหลอดอาหารจะเคลื่อนเข้าสู่กระเพาะอาหารโดยการบีบรัด (Peristalsis) ซึ่งก้อนอาหารจะเคลื่อนที่ไล่กันเป็นระลอก แต่ละก้อนใช้เวลาประมาณ 5-8 วินาที ถ้าก้อนอาหารมีขนาดใหญ่ การบีบตัวครั้งเดียวไม่สามารถไล่อาหารทั้งหมดให้ผ่านไปได้อาหารส่วนที่ค้างอยู่ในหลอดอาหารจะกระตุ้นปลายประสาท วากัส ทำให้การบีบรัดครั้งที่ 2 เกิดขึ้นตามมา เพื่อไล่ให้อาหารที่ค้างอยู่ลงสู่กระเพาะ การบีบตัวของหลอดอาหารทำให้หูรูดของหลอดอาหาร ซึ่งติดต่อกับกระเพาะอาหารคลายตัว ทำให้อาหารผ่านเข้าสู่กระเพาะ แล้วจะปิดเพื่อป้องกันอาหารย้อนกลับ ในหลอดอาหารมีต่อมเมือก สร้างเมือกออกมาหล่อลื่นก้อนอาหาร และบริเวณที่ติดต่อกับกระเพาะอาหาร สารเมือกยังช่วยป้องกันการย่อยผนังหลอดอาหารจากน้ำย่อยจากกระเพาะ (Gastric Juice) ที่ไหลย้อนขึ้นมาจากกระเพาะอาหาร

4. กระเพาะอาหาร (Stomach) เป็นทางเดินอาหารส่วนที่ขยายตัวกว้างเป็นถุงขนาดใหญ่ เมื่อมีอาหารบรรจุอยู่ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Corpus หรือ Body และ Antrum

Corpus หรือ Body เป็นกระเพาะส่วนบน ซึ่งประกอบด้วย ส่วนที่ติดกับหลอดอาหาร คือ Cardius หรือ Cardia ซึ่งตอนบนมีกล้ามเนื้อหูรูด (Cardiac Sphincter) กันไม่ให้อาหารในกระเพาะไหลย้อนกลับเข้าไปในหลอดอาหาร ส่วนบนสุดของกระเพาะส่วนนี้มีลักษณะเป็นกระพุ้งใหญ่ เรียกว่า Fundus



รูปที่ 3.2.14 กระเพาะอาหาร (ก) และต่อมแกสตริก (ข) (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

Antrum เป็นกระเพาะส่วนกลางลงมา มีลักษณะโค้งเว้าลง ด้านบนแคบ (Lesser Curvature) ด้านล่างกว้าง (Greater Curvature) ตอนปลายสุด เรียกว่า Pylorus เชื่อมต่อกับลำไส้เล็ก โดยมีกล้ามเนื้อหูรูด (Pyloric Sphincter) กันไม่ให้อาหารเคลื่อนที่เข้าสู่ลำไส้เล็กเร็วเกินไป

กระเพาะอาหารเป็นถุงกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle) 3 ชั้น ชั้นนอกเป็นชั้นกล้ามเนื้อตามยาว (Longitudinal Layer) ชั้นกลางเรียงตัวเป็นวงแหวน (Circular Layer) และชั้นในเรียงตัวในแนวทแยง (Oblique Layer) ผนังชั้นในเป็นเยื่อเมือก (Mucosa) พับซ้อนกันทำให้มีลักษณะเป็นคลื่น เรียกว่า รูกี้ (Rugae) ทำให้เพิ่มพื้นที่ผิวของกระเพาะในเยื่อเมือกมีต่อมแกสตริก (Gastric Glands) ซึ่งมีเซลล์หลายชนิดทำหน้าที่สร้างและหลั่งสารต่าง ๆ ได้แก่

เซลล์พาริเทัล หรือ ออกซินติก (Parietal or Oxyntic) มีประมาณ 1 ใน 10 ของเซลล์ชนิดต่าง ๆ ในกระเพาะส่วนพินดัส ทำหน้าที่สร้างและหลั่งกรดเกลือ (HCl) และปัจจัยภายนอก (Intrinsic Factor)

เซลล์ชีฟ หรือ ไซโมเจน หรือ เปปติก (Chief or Zymogen of Peptic) ทำหน้าที่สร้างและหลั่งเปปซินโนเจน (Pepsinogen)

เซลล์เมือก (Mucous Cells) เป็นเซลล์ที่บุอยู่ตอนบนสุดของผนังกระเพาะทำหน้าที่สร้างสารเมือก ป้องกันการถูกย่อยจากเอนไซม์และกรดในกระเพาะ

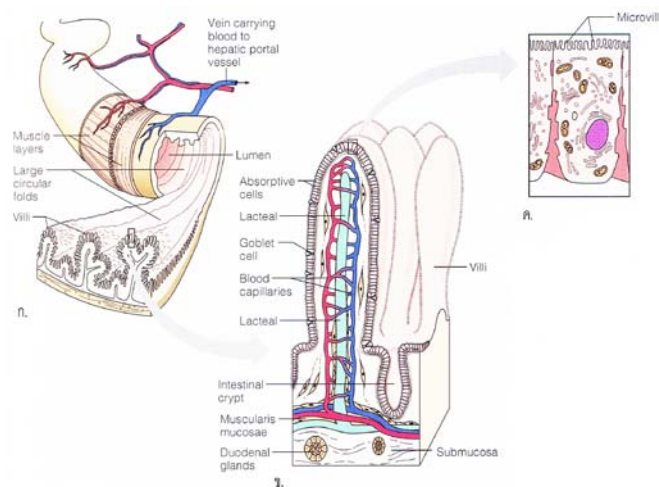
5. ลำไส้เล็ก (Small Intestine) เป็นส่วนที่ต่อจากกระเพาะอาหาร มีความยาวประมาณ 280 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

ดูโอดินัม (Duodenum) เป็นลำไส้เล็กตอนต้น มีความยาวประมาณ 20-25 เซนติเมตร มีเยื่อบาง ๆ ยึดให้ลำไส้ส่วนนี้ติดกับกระเพาะอาหารและตับ

เจจูนัม (Jejunum) เป็นลำไส้เล็กส่วนกลาง มีความยาวประมาณ 240 เซนติเมตร

ไอเลียม (Ileum) เป็นลำไส้เล็กส่วนปลายมีขนาดเล็กและผนังบางกว่าส่วนอื่น ๆ ไปสิ้นสุดและเชื่อมต่อกับลำไส้ใหญ่ทางด้านขวาของช่องท้อง

ผนังลำไส้เล็กบุด้วยเซลล์ชั้นเดียวพับทบไปมายื่นเข้าไปในลำไส้ เรียกว่า วิลไล (Villi) ซึ่งภายในวิลไลมีท่อน้ำเหลืองขนาดเล็ก (Lacteal) ที่ล้อมรอบด้วยหลอดเลือดฝอย (Blood Capillaries) ด้านบนของเยื่อบุผิว พัฒนาเป็นวิลไลเล็ก (Microvilli หรือ Brush Border) เซลล์ที่อยู่ส่วนบนของวิลไลทำหน้าที่ดูดซึม ส่วนเซลล์ที่อยู่ส่วนล่างทำหน้าที่หลั่งน้ำย่อย โดยการแตกของเซลล์เพื่อปล่อยน้ำย่อย หรือ เซลล์หลุดออกจากวิลไลก่อนที่จะแตกสลาย นอกจากนี้ที่ลำไส้เล็กยังมีหลอดเลือดดำ (Vein) นำเลือดที่มีสารอาหารไปที่ตับ โดยเส้นเลือดเวนของตับ (Hepatic Portal Vein)

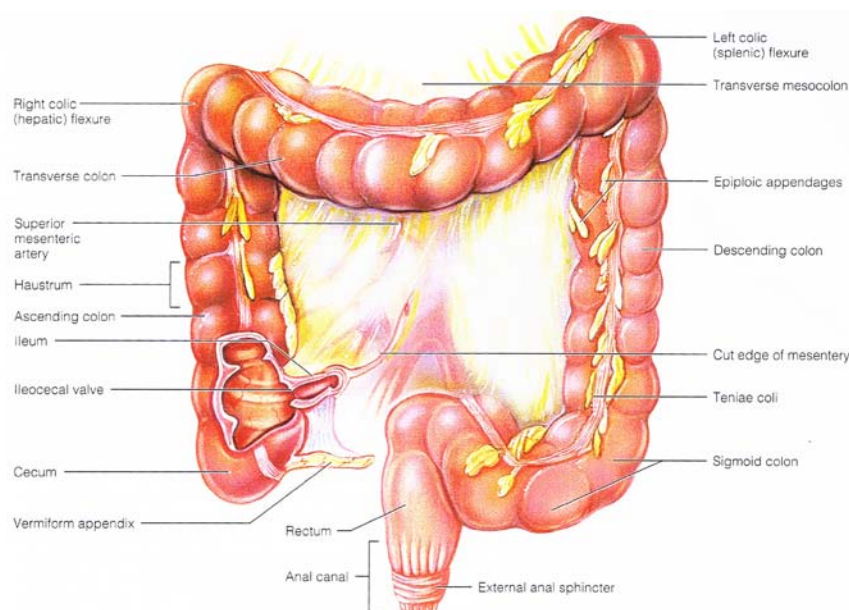


รูปที่ 7.1.15 โครงสร้างภายในของลำไส้ (ก) วิลไล (ข) และไมโครวิลไล (ค)

(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

6. ลำไส้ใหญ่ (Large Intestine or Colon) เป็นทางเดินอาหารส่วนที่ต่อจากลำไส้เล็ก บริเวณที่สูงจากซีกัมประมาณ 1.5 นิ้ว เรียกว่า Ileocecal Junction ซึ่งจะมีลิ้นกั้นระหว่างลำไส้เล็กกับลำไส้ใหญ่ คือ Ileocecal Valve มีความยาวทั้งสิ้น 150 เซนติเมตร แบ่งเป็นส่วน ๆ เริ่มจาก ซีกัม (Cecum) อยู่ในช่องท้องด้านขวา มีลักษณะเป็นถุงตัน (ต่างจากซีกัมของปลาและสัตว์อื่นที่สร้างน้ำย่อย) มีส่วนของไส้ติ่ง (Vermiform Appendix)

ยื่นออกไปในไส้ติ่ง มีต่อมน้ำเหลืองช่วยป้องกันเชื้อโรค จากซีกัมเป็นลำไส้ใหญ่ที่ตรงขึ้นมาถึงใต้ตับ เรียกว่า Ascending Colon ต่อจากนั้นจะขวางช่องท้อง เรียกว่า Transverse Colon จนถึงใต้ม้าม แล้ววกกลับลงมาทางช่องท้องด้านซ้าย คือ Descending Colon แล้วโค้งลง เรียกว่า Sigmoid Colon แล้วพุ่งตรงลงมา เรียกว่า ไส้ตรง (Rectum) ช่วงปลายยาวประมาณ 2 นิ้ว คือ ช่องทวาร (Anal Canal) ซึ่งมีกล้ามเนื้อหูรูดทวารหนักทั้งภายนอกและภายใน (External and Internal Sphincter) ควบคุมการปิดเปิดของทวารหนัก (Anus) ซึ่งอยู่ปลายสุดของทางเดินอาหาร



รูปที่ 7.1.16 ลำไส้ใหญ่ส่วนต่าง ๆ (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

ลำไส้ใหญ่ไม่มีวิลไลและไม่มีการสร้างน้ำย่อย แต่มีต่อมเมือกสร้างเมือกที่มีฤทธิ์เป็นด่าง วันละประมาณ 50 มิลลิลิตร เพื่อช่วยให้อุจจาระเคลื่อนได้สะดวก หน้าที่สำคัญของลำไส้ใหญ่ คือ การดูดน้ำกลับ (Reabsorption) กากอาหารจะเข้าสู่ลำไส้ใหญ่โดยวิธี Peristalsis และอยู่ในลำไส้ใหญ่ เป็นเวลา 12-24 ชั่วโมง และมีการดูดน้ำกลับประมาณ 90 % ทำให้กากอาหารเป็นก้อนที่มีน้ำอยู่ประมาณ 10 % พักอยู่ในส่วนของลำไส้ตรงเพื่อรอเวลาขับถ่าย

ที่ลำไส้ใหญ่จะมีแบคทีเรียพวก *Escherichia Coli* ซึ่งไม่เป็นอันตราย ช่วยย่อยกากอาหาร ทำให้ได้วิตามินหลายชนิด ได้แก่ ไบโอติน (Biotin) กรดโฟลิก (Folic Acid) วิตามินเค

และวิตามินบีหลายชนิด ซึ่งร่างกายนำไปใช้ได้ การทำงานของแบคทีเรียที่เรียกว่าได้ยูเรียและแก๊ส เช่น มีเทน และ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้อุจจาระมีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ลำไส้ใหญ่ยังช่วยกำจัดเกลือแร่ เช่น เหล็กและแคลเซียมในเลือดที่สูงเกินไป จะถูกขับออกมากับอุจจาระ

นอกจากทางเดินอาหารแล้วในระบบย่อยอาหารยังมีอวัยวะที่อยู่นอกทางเดินอาหารที่มีการทำงานร่วมด้วย คือ ตับ และตับอ่อน

ตับ (Liver) เป็นอวัยวะขนาดใหญ่ ลักษณะคล้ายลิ้นหนักประมาณร้อยละ 2 ของน้ำหนักร่างกาย อยู่ในช่องท้องด้านขวาใต้กระบังลม แบ่งเป็น 2 พู ด้านล่างมีถุงน้ำดี (Gallbladder) ตับทำหน้าที่สำคัญหลายอย่าง ได้แก่

1) หน้าที่ทางชีวเคมี ได้แก่ การสร้างโปรตีนในเลือด เช่น อัลบูมิน ซึ่งเป็นโปรตีนที่ช่วยในการแข็งตัวของเลือด โปรตีนขนส่งสาร (Transport Protein) เมแทบอลิซึมสารแอมโมเนีย และเพียรีน สร้างกลีโคโนดี

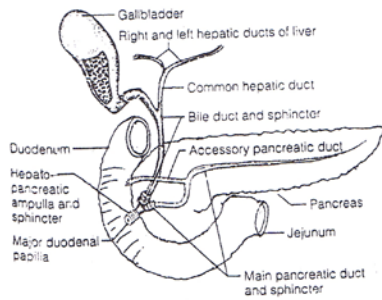
2) เมแทบอลิซึม สารอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดอะมิโน สร้างเอนไซม์เพื่อใช้ในการกระบวนการชีวเคมีของตับ และเป็นแหล่งสะสมวิตามินเอ และบี 12

3) แลกเปลี่ยนสารต่าง ๆ ได้แก่ การเปลี่ยนและขับออกยาและสารพิษที่เข้าสู่ร่างกายให้มีฤทธิ์มากขึ้นหรือลดลงก่อนขับออกทางน้ำดี ขับสารสเตอรอยด์ที่สร้างจากต่อมหมวกไต และอวัยวะสืบพันธุ์ รวมถึง เปปไทด์ ฮอร์โมน และกลีโคโนดี

4) สร้าง เก็บ และหลั่งน้ำดี โดยน้ำดีที่สร้างจากเซลล์ตับจะหลั่งไปตามท่อนตับ (Common Hepatic Duct) เก็บไว้ในถุงน้ำดี (Gall Bladder) ซึ่งมีความจุ 30-50 ลูกบาศก์-เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความเข้มข้นก่อนที่จะนำไปใช้ ซึ่งจะถูกลำเลียงไปทางท่อน้ำดี (Bile Duct) ที่รวมกับท่อที่มาจากตับอ่อนเป็นน้ำดีรวม (Hepatopancreatic Duct) ก่อนที่จะเปิดเข้าสู่ลำไส้เล็กตอนต้น

น้ำดี (Bile) ไม่มีเอนไซม์ย่อยอาหาร แต่มีกลีโคโนดี (Bile Salt) ช่วยทำให้ไขมันแตกตัว และเข้ารวมกับน้ำในการย่อย นอกจากนี้ยังช่วยในการดูดซึมไขมัน กลีโคโนดีจะถูกดูดกลับที่ลำไส้ใหญ่เข้าสู่ตับเพื่อนำไปใช้ได้ใหม่ สีน้ำดี (Bile Pigment) เป็นส่วนที่เกิดจากเม็ดเลือดแดงที่ถูกทำลายที่ตับ ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการย่อยไขมัน เป็นสิ่งที่ร่างกายกำจัดออกมาพร้อมกับอุจจาระ ทำให้อุจจาระมีสีน้ำตาล ในน้ำดียังมีโคเลสเตอรอล ซึ่งอาจมีการจับตัวกันเป็นก้อนอยู่ในท่อน้ำดีก็ได้ ทำให้ท่อน้ำดีอุดตัน

ตับอ่อน (Pancreas) เป็นต่อมขนาดใหญ่ ลักษณะยาวคล้ายใบไม้วางตัวขนานอยู่ใต้กระเพาะอาหาร ประกอบด้วย ต่อม 2 ชนิด คือ



รูปที่ 7.1.17 ตับอ่อน ถุงน้ำดี และลำไส้เล็กตอนต้น

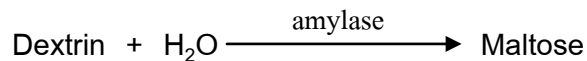
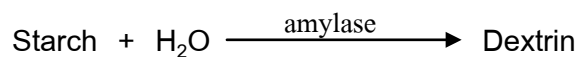
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

1. ต่อมมีท่อมีเซลล์ที่หลั่งน้ำย่อย คือ เซลล์อะซินาร์ (Acinar Cell) เป็นกลุ่มเซลล์ที่มีท่อตับอ่อน (Pancreatic Duct) ไปเชื่อมรวมกับท่อน้ำดี (Bile Duct) ก่อนเปิดเข้าสู่ดูโอดีนัม ผ่านทางแอมพูลาและหูรูด Oddi

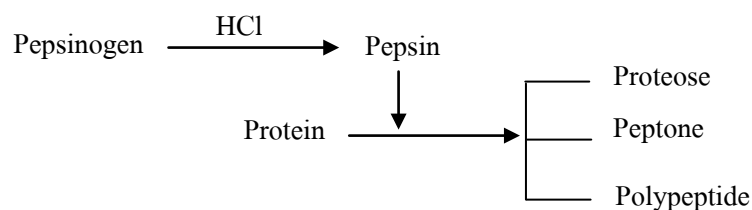
2. ต่อมไร้ท่อ เป็นส่วนของ Islet of Langerhans ซึ่งสร้างฮอร์โมน อินซูลิน (Insulin) และกลูคากอน (Glucagon)

การย่อยอาหาร

การย่อยในปาก ในน้ำลายมีเอนไซม์อะไมเลส และมีฤทธิ์เป็นเบส จึงมีแต่การย่อยแป้ง (Starch) ให้เป็นเดกทริน (Dextrin) และมอลโตส (Maltose)



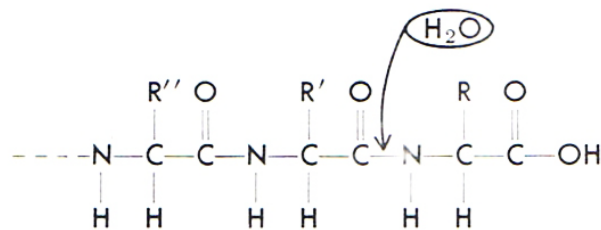
การย่อยในกระเพาะอาหาร เอนไซม์ที่สร้างจากกระเพาะอาหาร (Gastric Juice) จะย่อยโปรตีนในสภาพที่เป็นกรด คือ Pepsin สลายโปรตีนโมเลกุลใหญ่ให้เป็นโมเลกุลเล็ก



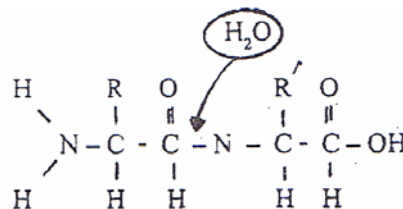
การย่อยในลำไส้เล็ก สารที่ช่วยย่อยในลำไส้เล็กมาจาก 3 แหล่งด้วยกัน คือ น้ำย่อยจากลำไส้เล็ก (Intestinal Juice) น้ำย่อยจากตับอ่อน (Pancreatic Juice) และน้ำดี (Bile) จากตับในลำไส้เล็กมีการย่อยในสภาพที่เป็นเบส

1. Intestinal juice สร้างมาจาก Doudenum ได้แก่

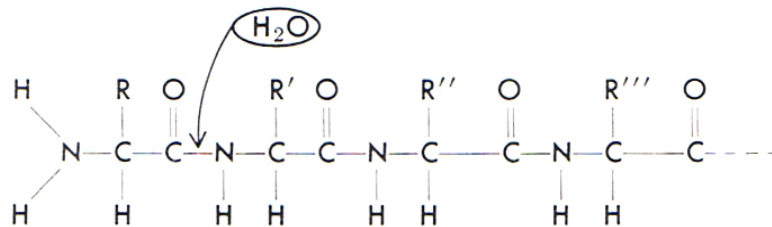
- 1) Disaccharase ย่อย Disaccharide $\longrightarrow$ Monosaccharide
- 2) Enterokinase กระตุ้น Trypsinogen (จากตับอ่อน) $\longrightarrow$ Trypsin
- 3) Carboxypeptidase ย่อย Polypeptide ทางปลาย C ได้เป็นกรดอะมิโน 1 โมเลกุล



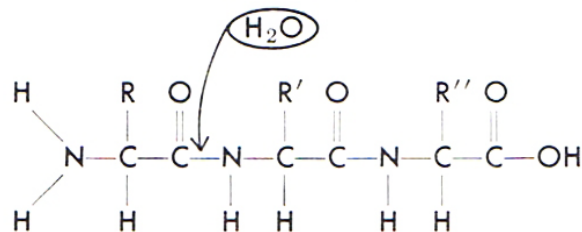
- 4) Dipeptidase ย่อย Dipeptide ได้ กรดอะมิโน 2 โมเลกุล



- 5) Aminopeptidase ย่อย Polypeptide ทางปลาย N ได้ กรดอะมิโน 1 โมเลกุล



- 6) Tripeptidase ย่อย Tripeptide ได้ กรดอะมิโน 1 โมเลกุล กับ Dipeptide 1 โมเลกุล



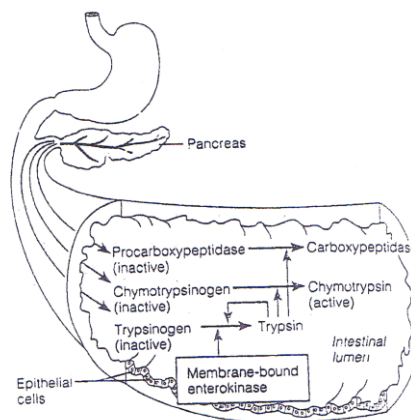
- 7) Nuclease ย่อย Nucleic acid ได้ Nucleotide
- 8) Nucleotidase ย่อย Nucleotide ได้ Nucleoside และ Phosphoric Acid

9) Nucleosidase ย่อย Nucleoside ได้ น้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม (C₅- Sugar) และ เบส Purine กับ Pyrimidine

10) Intestinal Lipase ทำให้ไขมันเป็นหยดเล็ก ๆ (Emulsified) ด้วยน้ำดีและได้เป็น Fatty acid กับ Glycerol

2. Pancreatic Juice มีฤทธิ์เป็นเบสอ่อน pH 7-8 ตับอ่อนสร้างแล้วส่งเข้าสู่ Duodenum ได้แก่

- 1) Trypsin (Trypsinogen $\xrightarrow{\text{Enterokinase}}$ trypsin) ย่อย Protein ให้ได้ Polypeptide
- 2) Chymotrypsin (Chymotrypsinogen $\xrightarrow{\text{Trypsin}}$ chymotrypsin) ย่อย Protein หรือ Polypeptide ได้เป็น Peptide สายสั้น ๆ
- 3) Carboxypeptidase (Procarboxypeptidase $\xrightarrow{\text{Trypsin}}$ Carboxypeptidase) มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับชนิดที่ผลิตจากลำไส้เล็ก
- 4) Pancreatic Lipase ย่อย Emulsified Fat ได้เป็น Fatty Acid กับ Glycerol
- 5) Pancreatic Amylase ย่อยแป้งและน้ำตาลต่อจากการย่อยในปากได้เป็น Maltose



รูปที่ 7.1.18 การเปลี่ยน Zymogen ของตับอ่อนให้เป็นเอนไซม์ในลำไส้เล็ก
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

3. น้ำดี (Bile) ตับทำหน้าที่สร้างน้ำดีและส่งไปเก็บในถุงน้ำดี เพื่อเพิ่มความเข้มข้น น้ำดีมีคุณสมบัติเป็นเกลือ แต่มี pH เป็นเบสเล็กน้อย น้ำดีช่วยทำให้ไขมันแตกตัวเป็นหยด

เล็ก ๆ (Emulsified Fat) เพื่อที่จะเข้ารวมกับน้ำในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ที่มี Lipase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

นอกจากนี้ น้ำดียังช่วยทำลายความเป็นฤทธิ์กรดในอาหารที่มาจากกระเพาะอาหาร โดยเปลี่ยนสภาพอาหารให้เป็นเบส ช่วยทำให้เกิดการดูดซึมไขมันและวิตามินที่ละลายในไขมันได้ดี

การควบคุมการหลั่งน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร

การหลั่งน้ำย่อยจากกระเพาะอาหาร ถูกควบคุมโดยระบบประสาทและระบบฮอร์โมน แบ่งได้ 3 ระยะ

1. Cephalic phase เป็นระยะก่อนอาหารตกถึงกระเพาะ เป็นระยะที่ได้รับรส กลิ่น เห็น คิดถึงรสหรือกลิ่น รวมถึงความอยากอาหาร เป็นตัวกระตุ้นให้เกิดการส่งกระแสประสาททาง Vagus Nerve ให้หลังสารสื่อประสาทไปกระตุ้นกระเพาะให้เกิดการเคลื่อนที่ (บีบตัว) มากขึ้น พร้อมกับการหลั่ง HCl และเอนไซม์ เพิ่มขึ้นประมาณ 1 ใน 3 หรือ 1 ใน 2 ของการหลั่ง

2. Gastric phase เป็นระยะที่อาหารตกถึงกระเพาะ อาหารจะกระตุ้นให้มีการเพิ่มการหลั่งน้ำย่อย ประมาณ 2 ใน 3 ของการหลั่ง อาหารพวกโปรตีนจะกระตุ้นให้เกิดการหลั่ง HCl และฮอร์โมน Gastrin

3. Intestinal phase เป็นระยะที่อาหารจากกระเพาะเข้าสู่ลำไส้เล็ก การยืดของผนังลำไส้ทำให้มีการหลั่ง Gastrin เพิ่มขึ้น แล้วไปมีผลต่อการหลั่งน้ำย่อยอาหารเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื้อเยื่อผนังลำไส้เล็ก ส่วนดูโอดินัม นอกจากนี้ยังมีการหลั่งฮอร์โมน Secretin ออกมายับยั้งการหลั่ง Gastrin, HCl และ Pepsinogen อีกด้วย

การควบคุมการขับน้ำย่อยจากตับอ่อน

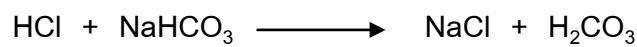
การหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อนถูกควบคุมโดยระบบประสาทและระบบฮอร์โมน แต่ฮอร์โมนมีบทบาทสำคัญกว่า

1. Cephalic phase การได้กลิ่น รส มองเห็นหรือเคี้ยวอาหารจะกระตุ้นให้มีการส่งกระแสประสาทไปตาม Vagus Nerve ไปที่ตับอ่อนทำให้เร่งการขับน้ำย่อย

2. Gastric phase การยืดตัวของกระเพาะเนื่องจากการตกลงมาของก้อนอาหารจะกระตุ้นให้ส่งกระแสประสาททาง Vagus Nerve ไปที่ตับอ่อนกระตุ้นให้มีการขับน้ำย่อย ทั้ง 2 ระยะนี้ทำให้มีการขับน้ำย่อยในระดับปานกลางและมีเพียงเล็กน้อยที่ส่งไปลำไส้เล็ก

3. Intestinal phase เมื่ออาหารเข้าสู่ลำไส้เล็กน้ำย่อยจากตับอ่อนจะถูกขับออกมา โดยมีฮอร์โมน 2 ชนิด ที่สร้างจากลำไส้เล็กส่งไปกระตุ้น คือ

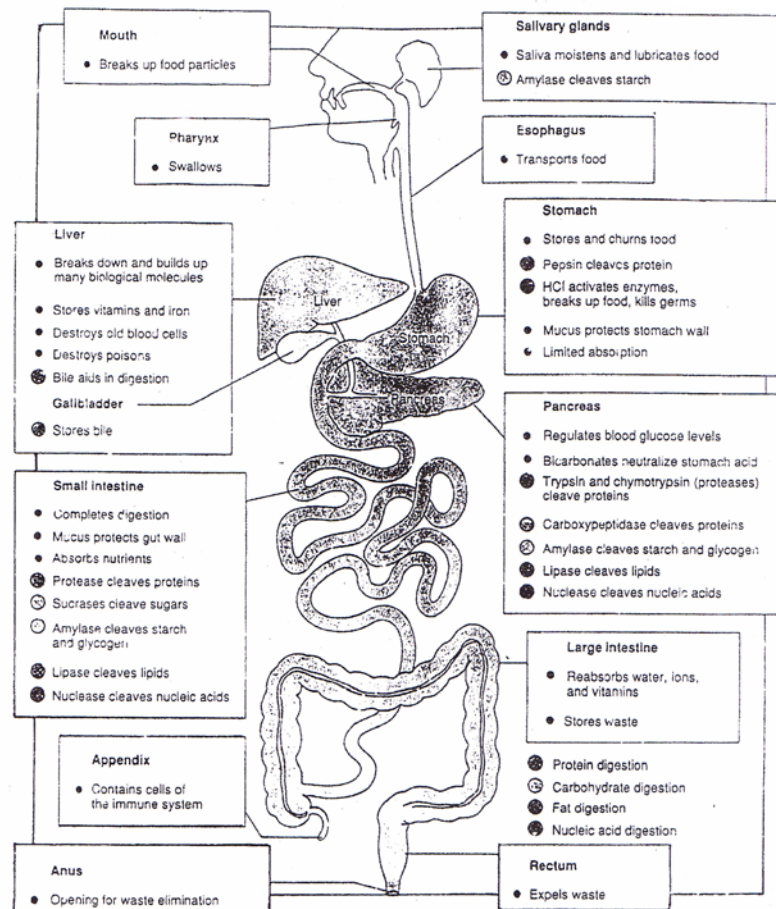
1) Secretin จะไปกระตุ้นให้กับตับอ่อนขับ NaHCO_3 ออกมาทำปฏิกิริยากับ HCl ที่ติดมากับอาหารจากกระเพาะ



H_2CO_3 จะสลายตัวเป็น CO_2 กับ H_2O และเมื่อ CO_2 รวมกับน้ำทำให้น้ำย่อยใน Duodenum เป็นกลาง ทำให้น้ำย่อยจากกระเพาะที่ติดมากับอาหารหมดหน้าที่

2) Pancreozymin เมื่ออาหารโดยเฉพาะ Proteose และ Peptone อยู่ในลำไส้เล็กจะกระตุ้นให้ขับฮอร์โมนนี้ออกมาและไปมีผลกระตุ้นตับอ่อนให้ขับน้ำย่อย

สรุปการย่อยอาหารและการดูดซึมในอวัยวะต่าง ๆ ของระบบย่อยอาหาร



รูปที่ 7.1.19 การย่อยอาหารและการดูดซึมในระบบย่อยอาหารของคน
(จาก George B. Johnson. 1995. The Living World. หน้า 468)

7.2 ระบบไหลเวียน และ ภูมิคุ้มกันร่างกาย

(The Circulatory and Immune System)

กระบวนการชีวิต (Life Processes) ของสัตว์ ต้องการอาหารและออกซิเจน เพื่อการสันดาปในทุกเซลล์ทุกส่วนของร่างกาย ซึ่งจะทำให้เกิดของเสียที่ต้องขับทิ้งออกทันที ในพวกสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น โปรโตซัว สามารถแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายในกับภายนอกเซลล์ได้ด้วยการไหลของไซโตพลาสซึม สัตว์หลายเซลล์แบบง่าย ๆ สามารถแลกเปลี่ยนสารโดยการแพร่ระหว่างผิวหนังกับเซลล์ร่างกายได้ ซึ่งต่างกับสัตว์หลายเซลล์ที่ร่างกายซับซ้อนมาก จะต้องมียวาระและเนื้อเยื่อสำหรับเคลื่อนย้ายสารด้วยระบบหมุนเวียน

(Circulatory System) สำหรับการลำเลียงสารภายใน (Internal Transport) ซึ่งมีความแตกต่างกันในสัตว์ต่าง ๆ

การลำเลียงสารในสัตว์ที่ไม่มีระบบไหลเวียนโลหิต

สัตว์ในไฟลัมพอริเฟอร่า พวกฟองน้ำ ไฟลัมซีเลนเทอราตา พวกไฮดรา แมงกะพรุน และไฟลัมเอไคโนเดอมาตา พวกดาวทะเล เป็นพวกที่ไม่มีระบบหมุนเวียนเลือด ใช้น้ำช่วยในการลำเลียงสารโดยการบีบลำตัวหรือเนื้อเยื่อให้น้ำไหลผ่านไปตามช่องว่างของลำตัว

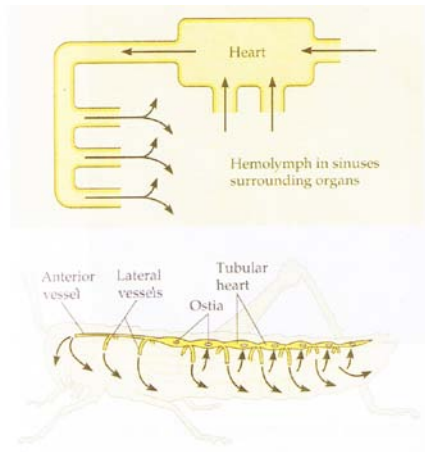
ฟองน้ำมีช่อง Spongocoel ให้น้ำผ่าน และมีเซลล์ Amoebocytes ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารที่ย่อยแล้วให้เซลล์ทั่วร่างกาย

ไฮดราและแมงกะพรุนมีช่อง Gastrovascular ให้น้ำผ่านและมีเอนไซม์ย่อยอาหารให้อาหารมีขนาดเล็กลง ซึ่งจะถูกนำไปย่อยต่อใน Nutritive Cell ที่บุช่อง Gastrovascular พร้อมกับลำเลียงไปให้เซลล์ต่าง ๆ

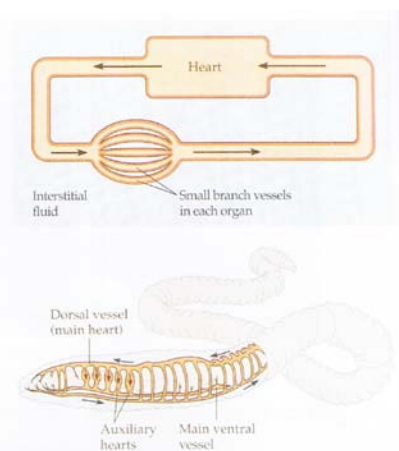
ดาวทะเล มีท่อรัศมี (Radial Canal) ที่แยกมาจากท่อวงแหวน (Circular Canal) เป็นทางน้ำผ่านทำหน้าที่ช่วยลำเลียงสารอาหารไปยังเซลล์ต่าง ๆ

สัตว์ในไฟลัมแพลทีเฮลมินทีส พวกพยาธิตัวแบนมีทางเดินอาหารที่แตกเป็นกิ่งคล้ายชั้นบันไดแทรกไปตามลำตัว เรียกว่า Diverticulum ช่วยนำสารอาหารไปให้เซลล์ทั่วร่างกาย

การลำเลียงสารในสัตว์ที่มีระบบไหลเวียนโลหิต



รูปที่ 7.2.1 ระบบไหลเวียนแบบเปิดในแมลง
(จาก Campbell et al, 1999)



รูปที่ 7.2.2 ระบบไหลเวียนแบบปิดใน
ไส้เดือนดิน (จาก Campbell et al, 1999)

ระบบไหลเวียนโลหิตในสัตว์ มี 2 ระบบ คือ ระบบเปิดและระบบปิด ระบบไหลเวียนแบบเปิด (Open Circulatory System) เป็นระบบที่มีการลำเลียงสารในเลือดส่วนหนึ่งที่ไม่ไปโดยท่อเลือดและอีกส่วนหนึ่งผ่านเข้าสู่ช่องว่างที่อยู่ระหว่างเนื้อเยื่อ (Haemocoel) การไหลของเลือดส่วนที่อยู่ในท่อเกิดจากการบีบตัวของเส้นเลือดส่วนที่พองออกทำหน้าที่เป็นหัวใจ เส้นเลือดอยู่บริเวณกลางลำตัวด้านหลังการไหลของเลือดในฮีโมซัลอาศัยการเคลื่อนไหวของระบบหายใจ และการเคลื่อนไหวของลำตัว เช่น แมลงหายใจทางรูหายใจข้างลำตัว โดยการขยับปล้องท้องในลักษณะหดเข้าและยืดออก

ระบบไหลเวียนแบบปิด (Closed Circulatory System) เป็นระบบที่มีการลำเลียงสารในเลือดระบบท่อเลือดทั่วร่างกาย เป็นระบบที่มีในสัตว์ไฟลัมแอนเนลิด พวกไส้เดือน และสัตว์ชั้นสูงทั่วไป สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง ส่วนใหญ่ยังไม่มีหัวใจ แต่มีเส้นเลือดบางส่วนพองตัว และบีบตัวเป็นจังหวะ ทำหน้าที่เป็นหัวใจ เรียกว่า หัวใจเทียม (Pseudoheart)

ระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular System)

ระบบลำเลียงสารในร่างกาย ระบบไหลเวียนแบบปิด ที่ประกอบด้วย หัวใจ หลอดเลือด และเลือด เรียกว่า ระบบหัวใจและหลอดเลือด มีในสัตว์มีกระดูกสันหลังที่รวมถึงคนด้วย เนื่องจากสัตว์ในกลุ่มนี้มีร่างกายขนาดใหญ่ ต้องมีระบบไหลเวียนเลือดได้เร็วและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องมีอวัยวะสูบฉีดเลือดที่ทำงานได้ดี คือ มีหัวใจที่แท้จริง โดยการสูบฉีดเลือดเข้าหัวใจทางห้องบน (Auricle or Atrium) และไหลออกทางห้องล่าง (Ventricle) หัวใจของสัตว์มีวิวัฒนาการตั้งแต่ 2-4 ห้อง

หัวใจ 2 ห้อง ในพวกปลา ประกอบด้วย Auricle หรือ Atrium กับ Ventricle อย่างละ 1 ห้อง เลือดดำจากอวัยวะต่าง ๆ ลำเลียงมาโดยเส้นเลือดดำท้องส่วนหน้าและส่วนหลัง (Anterior and Posterior Cardinal Vein) มารวมกันที่แอ่งรับเลือด (Sinus Venosus) แล้ว



รูปที่ 7.2.3 ระบบไหลเวียนแบบปิดของปลา
(จาก John W. Kimball, 1965)

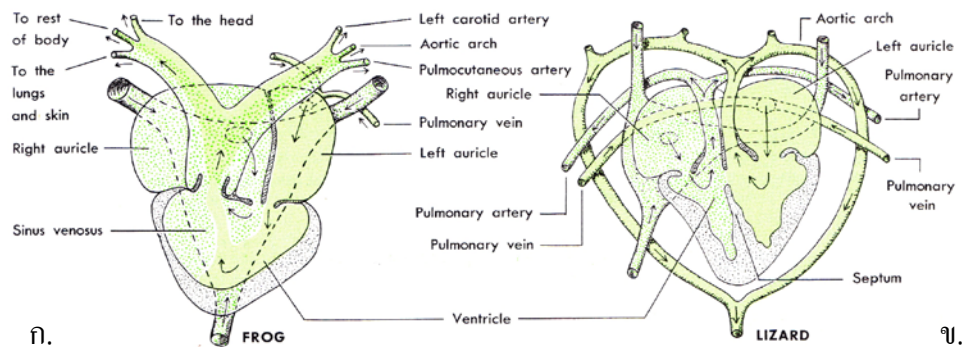
ส่งเข้าสู่ Auricle และ Ventricle ตามลำดับ เลือดออกจาก Ventricle เข้าสู่เส้นเลือด Ventral Aorta แล้วแยกเป็น 4 เส้น เข้าไปในเหงือก 4 แถว เพื่อแลกเปลี่ยนแก๊สกับเซลล์เหงือก เลือดดีจะออกจากเหงือกโดยเส้นเลือด 4 เส้น เข้าสู่เส้น Dorsal Aorta ที่อยู่ด้านหลัง ไปเลี้ยงเซลล์ทั่วร่างกาย

การไหลเวียนของปลาเป็นแบบวงจรเดียว (Single Circulation) เลือดที่ออกจากเหงือกไปที่อวัยวะต่าง ๆ จะช้ามาก เพราะเลือดไม่ผ่านหัวใจ แรงดันเลือดและน้ำจึงลดลงมาก ปลาจึงแก้ปัญหาด้วยการว่ายน้ำตลอดเวลา

หัวใจ 3 ห้อง ในสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ ประกอบด้วย Auricle 2 ห้อง กับ Ventricle 1 ห้อง Auricle ขวา รับเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายมารวมกันที่แอ่งรับเลือด ก่อนเลือดจะออกจาก Auricle ขวา จะเข้าสู่ Ventricle ส่วน Auricle ซ้าย จะรับเลือดที่ฟอกแล้วจากปอดเข้าสู่ Ventricle ดังนั้นใน Ventricle จึงมีทั้งเลือดดำและเลือดแดงผสมกัน เมื่อ Ventricle บีบตัว เลือดจะออกจากหัวใจ เข้าสู่เส้นเลือดใหญ่ที่แตกเป็น 3 แขนงย่อยและแยกซ้ายขวานำเลือดไปเลี้ยงเซลล์ทั่วร่างกาย

หัวใจ 4 ห้อง ไม่สมบูรณ์ ในสัตว์เลื้อยคลาน โดย Ventricle เริ่มมีแผ่นก้ามเนื้อกั้นกลางแต่ไม่ตลอด (ยกเว้นจระเข้ที่มีหัวใจ 4 ห้องสมบูรณ์) หัวใจบีบตัวให้เลือดแดงจากห้องบนซ้าย ลงสู่ ห้องล่างซ้าย เลือดดำจากห้องบนขวา ไหลลงสู่ ห้องล่างขวา เลือดแดงจาก

ห้องล่างซ้ายจะเข้าสู่เส้นเลือด Aorta ซึ่งจะแยกเป็นซ้ายขวา ก่อนที่จะไปรวมกันใหม่ ส่วนเลือดดำในห้องล่างขวาจะเข้าสู่เส้นเลือด Pulmonary Artery ที่แยกไปยังปอดซ้าย-ขวา



รูปที่ 7.2.4 เปรียบเทียบหัวใจ 3 ห้องของสัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ (ก) และหัวใจ 4 ห้องไม่สมบูรณ์ของสัตว์เลื้อยคลาน (ข) เลือดแดงและเลือดดำไม่ผสมกันในหัวใจของพวกสัตว์เลื้อยคลาน (จาก John W. Kimball , 1965 Biology p. 227)

หัวใจ 4 ห้อง ในสัตว์พวกนก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม โดย Ventricle มีแผ่นกล้ามเนื้อกั้นตลอด แบ่งเป็น ซีกซ้ายและขวา หัวใจซีกขวาเป็นส่วนของเลือดดำ และหัวใจซีกซ้ายเป็นส่วนที่มีเลือดแดง

ระบบไหลเวียนในคน

หัวใจ (Heart)

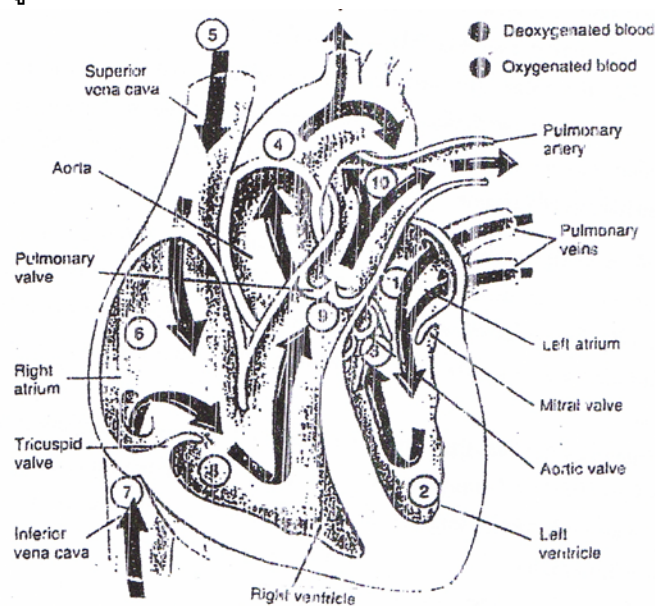
หัวใจคนตั้งอยู่ในทรวงอกค่อนไปทางซ้าย มีเยื่อหุ้มหัวใจ (Pericardium) ซึ่งมีน้ำหล่อลื่นอยู่ภายใน หัวใจมีเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ชั้นนอกและชั้นในเป็นเนื้อเยื่อบุผิวบาง ๆ ชั้นกลางเป็นกล้ามเนื้อหนา มีลักษณะลายเล็กน้อยทำงานนอกอำนาจจิตใจ

หัวใจมี 4 ห้อง คือ ห้องบน (Atrium) 2 ห้อง และห้องล่าง (Ventricle) 2 ห้อง เลือดแดงอยู่ทางซีกซ้าย เลือดดำอยู่ทางซีกขวา ซีกซ้ายมีเส้นเลือด 2 เส้น คือ Pulmonary Vein รับเลือดแดงจากปอดซ้ายและขวา ซีกขวามีเส้นเลือด 2 เส้น รับเลือดดำจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา คือ Superior Vena Cava รับเลือดดำจากหัวและลำตัวส่วนบน Inferior Vena Cava รับเลือดดำจากขาและลำตัวส่วนล่าง เส้น Vena Cava เป็นเส้นเลือดที่มีผนังบาง และมีขนาดใหญ่ที่สุดเก็บเลือดได้มาก หัวใจห้องบนขวาคติดต่อกับห้องล่างขวา โดยมีลิ้นสามแฉก (Tricuspid Valve) กันลักษณะลิ้นลู่ลงสู่ห้องล่างขวา แสดง

การไหลของเลือดมีทิศทางจากบนลงล่าง จากห้องล่างขวามีเส้นเลือด Pulmonary Artery นำเลือดดำไปฟอกเลือดที่ปอดซ้ายขวา หัวใจห้องบนซ้ายกับห้องล่างซ้ายมีลิ้นสองแฉก (Bicuspid Valve or Mitral Valve) กันไม่ให้เลือดไหลย้อนขึ้นห้องบน จากห้องล่างซ้ายมีเส้นเลือด Aorta นำเลือดแดงไปเลี้ยงเซลล์ทั่วร่างกาย โคนของเส้นเลือด Pulmonary Artery และ Aorta มีลิ้นลักษณะครึ่งวงกลม 3 ชั้นวางชนกัน คือ Semilunar Valve เพื่อไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับเข้าสู่หัวใจอีก

บนหัวใจมีเส้นเลือดที่นำเลือดมาเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ คือ Coronary Artery

หัวใจห้องล่างมีกล้ามเนื้อหนากว่าห้องบน เพราะต้องบีบตัวเพื่อส่งเลือดออกไป ส่วนห้องบนเพียงแต่รับเลือด ห้องล่างซ้ายมีกล้ามเนื้อหนากว่าห้องล่างขวาเพราะต้องบีบตัวมากเพื่อให้เกิดความดันเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนห้องล่างขวาเพียงส่งเลือดไปที่ปอดซึ่งอยู่ใกล้กับหัวใจ



รูปที่ 7.2.5 หัวใจของคน แสดงห้องหัวใจและเส้นเลือดที่เกี่ยวข้อง (จาก George B. Johnson, 1997)

การควบคุมการทำงานของหัวใจ

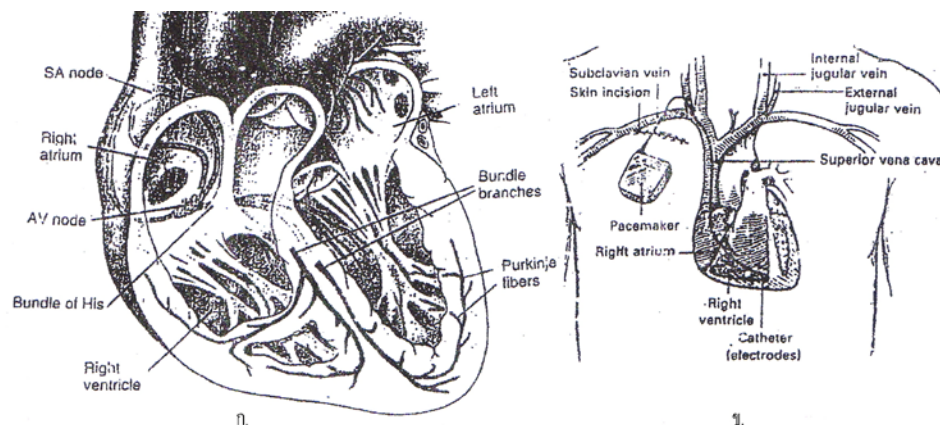
หัวใจมีเนื้อเยื่อโนดัล (Nodal Tissue) ซึ่งได้แก่ Sinoatrial node (S-A node) และ Atrio-Ventricular node (A-V node) ทำหน้าที่ควบคุมการเต้นของหัวใจ โดย S-A node ซึ่งอยู่ที่ผนังเอเตรียมขวาใกล้กับทางเข้าของเวนา คาวา สามารถสร้างกระแสประสาทได้

เองโดยไม่ต้องมีสิ่งกระตุ้น จึงเรียกจุดนี้ว่าผู้ให้จังหวะ (Pace Maker) โดยให้จังหวะประมาณ 75-80 ครั้งต่อนาที ซึ่งเท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจของคนปกติ

กระแสประสาทจาก S-A node จะส่งไปตามกล้ามเนื้อหัวใจห้องบนทั้ง 2 ห้อง พร้อมกับไปกระตุ้น A-V node ซึ่งอยู่บริเวณฐานของหัวใจห้องบนขวา กระแสประสาทจะส่งจาก A-V node ไปยังผนังห้องล่างทางเส้นประสาทที่แตกแขนงไปยังหัวใจห้องล่าง คือ Artrioventricular Bundle (a-v bundle หรือ bundle of His) กับเส้นประสาทที่แตกกิ่งออกไปอีก คือ Purkinje Fiber

กระแสประสาทที่ส่งจาก A-V node ไปยังหัวใจห้องล่างส่งได้เร็วกว่าที่ส่งไปยังห้องบน จึงทำให้หัวใจห้องล่างหดตัวได้ก่อนที่หัวใจห้องบนจะคลายตัว นอกจากการให้จังหวะได้ด้วยตัวเองแล้ว หัวใจยังมีระบบประสาทควบคุมการทำงานอีกด้วย

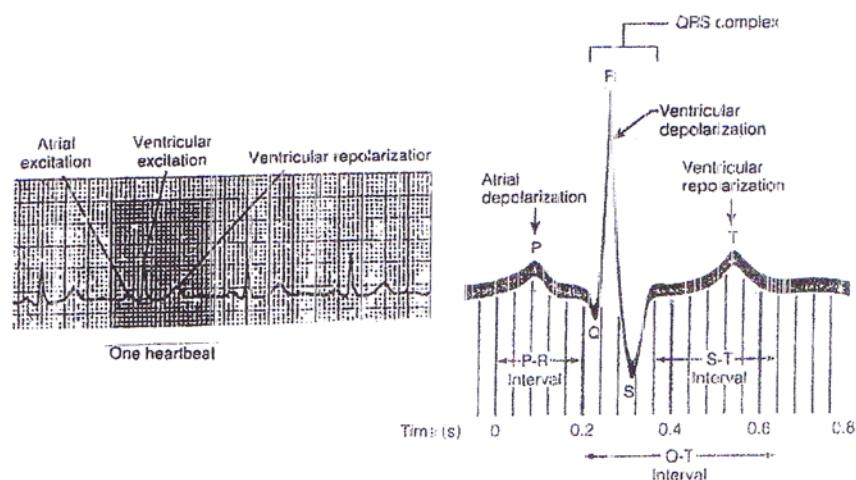
ในคนที่หัวใจเต้นไม่เป็นจังหวะหรือเป็นจังหวะไม่แน่นอน จะมีการผ่าตัดฝังเครื่องทำจังหวะ คือ Artificial Pace Maker ไว้ในกล้ามเนื้อทรวงอกแล้วโยงสายจากตัวเครื่องเข้าทางเส้นเวนบริเวณลำคอ เช่น External Jugular Vein เพื่อส่งเข้าสู่ Inferior Vena Cava ผ่านเอเทรียมขวา ผ่านลิ้น Tricuspid เข้าสู่ Ventricle ช้าย ไปสู่กล้ามเนื้อหัวใจ เพื่อกระตุ้นให้หัวใจเต้นเป็นปกติ คือ 72 ครั้งต่อนาที



รูปที่ 7.2.6 หัวใจคน แสดงเนื้อเยื่อและเส้นประสาทที่ควบคุมการทำงานของหัวใจ (ก) และการใส่ Pace Maker ในผู้ป่วยที่หัวใจเต้นไม่เป็นจังหวะ (ข) (จาก George B. Johnson, 1997)

การทำงานของหัวใจเป็นวงจร (Cardiac Cycle) วงจร คือ ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มการเต้นของหัวใจ จนกระทั่งถึงการเต้นของหัวใจรอบใหม่ ซึ่งประกอบด้วย กล้ามเนื้อหัวใจบีบ

ตัว (Systole) เพื่อส่งเลือดเข้าสู่เวนทริเคิลและเข้าสู่เส้นเลือด ต่อมากล้ามเนื้อคลายตัว (Diastole) เพื่อให้เลือดเข้าสู่หัวใจห้องที่ว่าง ในแต่ละวงจรมีการกระตุ้นที่ S-A node ทำให้กระแสประสาทส่งไปยังกล้ามเนื้อหัวใจ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว แต่ละวงจรมีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าและทางกล ซึ่งสามารถใช้ Electrocardiograph วัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งแสดงออกเป็นรูปกราฟ เรียกว่า Electrocardiogram (EKG หรือ ECG)



รูปที่ 7.2.7 เส้นกราฟคลื่นหัวใจ (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

ความดันเลือด (Blood Pressure)

ความดันเลือดเป็นแรงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเลือดไปปะทะกับผนังหลอดเลือด แล้วทำให้เกิดการไหลเวียนของเลือด ซึ่งแบ่งเป็นความดันเลือดแดงและความดันเลือดดำ มีหน่วยวัดเป็น มิลลิเมตรปรอท (mmHg)

ความดันในหลอดเลือดแดงเริ่มจากการหดตัวของ Ventricle ซ้าย สูบฉีดเลือดเข้าสู่หลอดเลือดแดง ทำให้เกิดความดันขึ้นในหลอดเลือดแดงและเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด คือ ค่าเฉลี่ย 120 mmHg เมื่อหัวใจบีบตัวด้วยแรงสูงสุด ต่อจากนั้น Ventricle จะคลายตัวจนลิ้น Aortic ปิด ซึ่งจะไม่ให้เลือดเข้าสู่ Aorta อีก ความดันจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งต่ำสุด ที่ค่าเฉลี่ย 80 mmHg ซึ่งเป็นช่วงที่หัวใจคลายตัวเต็มที่ ดังนั้น ความดันเลือดจึงมี 2 ค่า คือ ค่าความดันเลือดแดงขณะหัวใจบีบตัว (Systolic Blood Pressure; Ps) กับความดันเลือดขณะหัวใจคลายตัว (Diastolic Blood Pressure; Pd) ค่าความดันเลือดแดงจึงนิยมเขียนค่า Ps/Pd เป็น 120/80 mmHg

ความดันเลือดใน Aorta จะมีค่าสูงสุดแล้วลดลงในหลอดเลือดแดงขนาดกลางและขนาดเล็ก แต่จะลดลงมากและรวดเร็วในหลอดเลือดแดงขนาดเล็ก ซึ่งเป็นผลมาจากความต้านทานของเลือดในหลอดเลือดที่มีสูง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความดันเลือด ได้แก่ อายุ เพศ รูปร่าง ช่วงเวลา ผลของการย่อยอาหาร การนอนหลับ การออกกำลังกาย แรงดึงดูดของโลก ท่าทาง และความหนืดของเลือด

ชีพจร (Arterial Pulse)

ชีพจรเกิดจากการหดตัวของ Ventricle เพื่อส่งเลือดเข้าสู่หลอดเลือดทำให้เกิดความดันเลือดในหลอดเลือด ผนังหลอดเลือดจะยืดออกทำให้เกิดความตึงตัวและเกิดความดันขึ้นอีก ความแรงของการหดตัวของ Ventricle กับ ความตึงตัวของผนังหลอดเลือดเป็นผลให้เลือดปริมาตรหนึ่งไหลเข้าสู่หลอดเลือดที่อยู่ถัดไป ทำให้ผนังหลอดเลือดส่วนนี้ยืดออกและมีความตึงตัวมากยิ่งขึ้น เหตุการณ์นี้เกิดต่อเนื่องกันไปตั้งแต่เอออร์ตาจนถึงหลอดเลือดขนาดกลาง ก่อนเข้าสู่หลอดเลือดแดงเล็กทำให้มีคลื่นความดันแผ่กระจายไปตามผนังหลอดเลือดแดง คลื่นความดันนี้เรียกว่า ชีพจร (Arterial Pulse) ซึ่งเราสามารถรู้สึกได้เมื่อคลำบริเวณเส้นเลือดแดงขนาดใหญ่ หรือขนาดกลาง

เส้นเลือด (Blood Vessels)

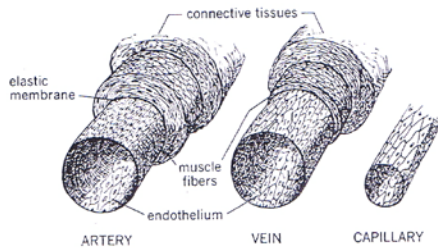
เส้นเลือดในร่างกาย แบ่งเป็น 2 ระบบ ดังนี้

1. ระบบอาร์เตอรี (Arterial System) เป็นระบบที่นำเลือดออกจากหัวใจ เริ่มจากเส้นเลือดขนาดใหญ่ไปถึงขนาดเล็ก คือ Aorta , Artery และ Arteriole ตามลำดับ

2. ระบบเวน (Venous System) เป็นระบบที่รับเลือดจากเส้นเลือดฝอย (Capillary) กลับเข้าสู่หัวใจ เริ่มจากเส้นเวนขนาดเล็กไปถึงขนาดใหญ่ คือ Venule , Vein และ Vena cava ตามลำดับ

เส้นเลือดขนาดใหญ่ Artery และ Vein ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ ชนิดต่าง ๆ 3 ชั้น คือ ชั้นในสุด เป็นเนื้อเยื่อผิว (Endothelium) มีความหนาของเซลล์ชั้นเดียว ชั้นที่ถัดออกมาเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle) และเส้นใยที่มีความยืดหยุ่น (Elastic Fiber) ชั้นนอกสุดเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective Tissue)

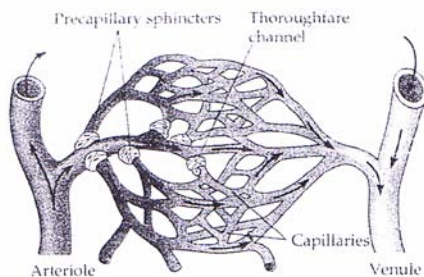
ผนังของ Artery มีกล้ามเนื้อที่หนากว่า Vein ทั้งนี้เพื่อต้านทานความดันเลือดที่ส่งออกจากหัวใจ และรักษาค่าความดันเลือดไม่ให้ลดลงมาก นอกจากนี้ Artery ยังยืดหยุ่นได้ดีกว่า Vein ทำให้บีบตัวเป็นคลื่นตามจังหวะการบีบตัวของหัวใจเป็นคุณสมบัติที่ช่วยรักษาความดันเลือด



รูปที่ 7.2.8 โครงสร้างของหลอดเลือด อาร์เทอร์มีชั้นกล้ามเนื้อหนากว่าเวน ปกติเส้นเวนจะมีขนาดใหญ่กว่าอาร์เทอร์ แคพิลลารีมีเพียงเยื่อเอนโดทีเลียมเท่านั้น (จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

ผนังของ Vein มีกล้ามเนื้อที่บางกว่า Artery มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับ Artery ที่มีขนาดเท่ากับเส้น Vein จึงยืดขยายได้มากทำให้เก็บเลือดไว้เป็นจำนวนมาก ๆ

สำหรับ Artery และ Venule เป็นเส้นเลือดที่มีผนังบางมากมีเนื้อเยื่อบุหนา 20 ไมครอน น้ำและสารละลายต่าง ๆ ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (ยกเว้นโปรตีน) สามารถผ่านออกมาได้โดยแรงดันของเลือด



รูปที่ 7.2.9 เส้นเลือดฝอย (Blood Capillaries) (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

การเชื่อมต่อระหว่าง Artery และ Vein ผ่านทางเส้นเลือดฝอย (Capillary) โดย Arteriole แตกแขนงเป็นเส้นเลือดฝอย (Capillaries) มากมาย ทำให้มีพื้นที่หน้าตัดรวมของเส้นเลือดเพิ่มขึ้น และทำให้ความเร็วในการไหลของเลือดช้าลง ซึ่งเหมาะกับการแลกเปลี่ยนสารระหว่างเลือดในเส้นเลือดฝอยกับเนื้อเยื่อที่อยู่รอบ ๆ ปลายอีกด้านหนึ่งของเส้นเลือดฝอย รวมเป็นเส้น Vein ขนาดเล็ก

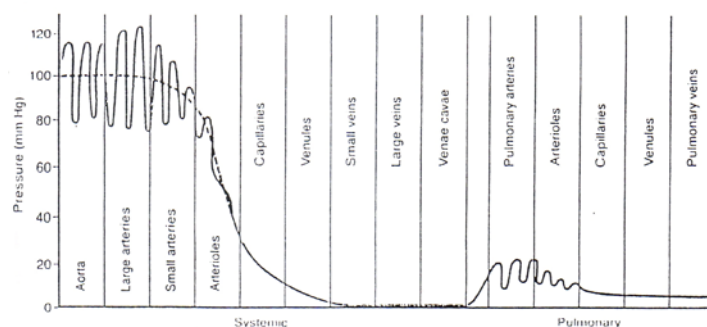
(Venule) หลาย Venule รวมกันเป็นเส้น Vein ซึ่งจะรวบรวมเลือดเข้าสู่ Vena Cava ก่อนเข้าสู่เอเทรียมขวาต่อไป

ระบบไหลเวียนของเลือด

ระบบไหลเวียนของเลือดในร่างกายประกอบด้วย 2 ระบบ ได้แก่

1. ระบบไหลเวียนทั่วร่างกาย (Systemic Circulation) เป็นระบบที่นำเลือดแดง (Oxygenated Blood) ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อของร่างกาย โดยผ่านจากเส้นเลือดแดงใหญ่ไปจนถึงเส้นเลือดแดงฝอยแล้วนำเลือดดำ (Venous Blood) กลับเข้าสู่เอเทรียมขวาทางหลอดเลือด Vein เป็นระบบที่มีความดันโลหิตสูง คือ ความดันเลือดใน Aorta เฉลี่ยประมาณ 120 mmHg ในขณะที่หัวใจหดตัวและลดลงเฉลี่ยประมาณ 80 mmHg ขณะหัวใจคลายตัว จากนั้นความดันเลือดจะลดลงช้า ๆ จนถึงระดับหลอดเลือดแดงเล็กจะลดลงค่อนข้างเร็วเฉลี่ยประมาณ 25 mmHg และเหลือประมาณ 10 mmHg ในหลอดเลือดแดงฝอยและลดลงต่ำสุด 0 mmHg เมื่อเข้าสู่หลอดเลือดเวนใหญ่ก่อนเข้าสู่หัวใจ แรงดันเลือดนี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและนำเลือดกลับสู่หัวใจ

2. ระบบไหลเวียนของปอด (Pulmonary Circulation) เป็นระบบที่นำเลือดดำจากหัวใจซีกขวาเข้าสู่ปอดเพื่อรับออกซิเจน โดยออกจาก Pulmonary Artery ไปจนถึงเส้นเลือดฝอยรอบ ๆ ถุงลม เพื่อแลกเปลี่ยนแก๊ส หลังจากนั้นเลือดแดงจะกลับเข้าสู่หัวใจซีกซ้าย โดยหลอดเลือด Pulmonary Vein ความดันเลือดในระบบนี้ต่ำมาก คือ ความดันเลือดใน Pulmonary Artery ประมาณ 25 mmHg ขณะหัวใจหดตัว และลดลงเหลือ 8 mmHg ขณะหัวใจคลายตัว ความดันเฉลี่ยของทั้งระบบประมาณ 4-6 mmHg แต่ก็สามารถทำให้เลือดไหลจากหัวใจไปปอดได้ เพราะมีระยะทางสั้น



รูปที่ 7.2.10 การเปลี่ยนแปลงความดันเลือดในร่างกาย (Blood Pressure in Various Blood)

(จาก รัชฎา แก่นสาร, บรรณาธิการ, 2540. สรีรวิทยา, หน้า 271)

เลือด (Blood)

เลือดเป็นของเหลวที่อยู่ในหลอดเลือด ประกอบด้วย เซลล์ คือ เม็ดเลือด (Blood Corpuscles) ซึ่งแขวนลอยอยู่ในของเหลว (Plasma) ในสัดส่วน 45:55 มีความเป็นด่างเล็กน้อย (pH 7.35-7.45) ปริมาณเลือดในร่างกายมีประมาณร้อยละ 7-9 ของน้ำหนักร่างกาย หรือ 79 มิลลิลิตรต่อน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ผู้ชายมีเลือดโดยเฉลี่ย 5-6 ลิตร ผู้หญิง 4-5 ลิตร

ในระบบไหลเวียนมีเลือดกระจายอยู่ตามอวัยวะต่าง ๆ ร้อยละ 84 ในจำนวนนี้จะอยู่ในหลอดเลือดดำร้อยละ 64 อยู่ในหลอดเลือดแดงร้อยละ 13 และอยู่ในหลอดเลือดฝอยร้อยละ 7 ในหัวใจมีเลือดร้อยละ 7 และร้อยละ 9 อยู่ในปอด

น้ำเลือด (Plasma)

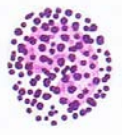
น้ำเลือดมีอยู่ประมาณร้อยละ 55 ของปริมาณเลือดหรือร้อยละ 5 ของน้ำหนักร่างกาย ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 93 ส่วนที่เหลือ ประกอบด้วยสารอาหารโมเลกุลเล็ก ๆ ที่เซลล์ร่างกายสามารถนำไปใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึม ได้แก่ กลูโคส กรดไขมัน กรดอะมิโน วิตามิน แก๊สต่าง ๆ ฮอร์โมน และอิเล็กโทรลัยต์

สารที่มีความสำคัญในน้ำเลือด คือ โปรตีนชนิดต่าง ๆ ได้แก่ อัลบูมิน โกลบูลิน ไฟบริโนเจน เป็นต้น โปรตีนเหล่านี้สังเคราะห์ที่ตับเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีการสร้างโปรตีนแกรมมา โกลบูลิน เป็นภูมิคุ้มกันของร่างกายจากเซลล์ของพลาสมา

เซลล์เม็ดเลือด (Blood Corpuscles)

เซลล์เม็ดเลือดมี 3 ชนิด ได้แก่ เซลล์เม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell ; RBC หรือ Erythrocytes) เม็ดเลือดขาว (White Blood Cell ; WBC หรือ Leucocytes) และเกร็ดเลือด (Blood Platelets) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 7.2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่าง ๆ

ชนิดของเซลล์	ลักษณะ	จำนวนเซลล์ ต่อลูกบาศก์ มิลลิเมตร ของเลือด	ระยะเวลาการ เจริญ (D) และอายุ (LS)	หน้าที่
เม็ดเลือดแดง (Erythrocytes) 	กลมแบน เว้า 2 ข้าง (Biconcave) ไม่มี นิวเคลียส สีแดงส้ม เส้นผ่าศูนย์กลาง 7-8 มิลลิเมตร	4-6 ล้าน	D : 5-7 วัน LS : 100-120 วัน	ขนส่งออกซิเจนและ คาร์บอนไดออกไซด์
เม็ดเลือดขาว (Leukocytes)	กลม มีนิวเคลียส	4,000-11,000		
แกรนูโลไซต์ (Granulocytes)				
นิวโทรฟิล (Neutrophil) 	นิวเคลียสมีหลายพู มี โครงสร้างที่เป็นเม็ดใน ไซโตพลาสซึม เส้นผ่าศูนย์กลาง 10- 14 มิลลิเมตร	3,000-7,000	D : 6-9 วัน LS : 6 ชั่วโมง ถึง 2-3 วัน	จับแบคทีเรียโดย ฟาโกไซโตซิส (Phagocytize Bacteria)
อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) 	มีนิวเคลียส 2 พู มีโครงสร้างเม็ด สีแดงในไซโตพลาสซึม เส้นผ่าศูนย์กลาง 10- 14 มิลลิเมตร	100-400	D : 6-9 วัน LS : 8-12 วัน	ฆ่าหนอนพยาธิ ปรสิต ทำลาย แอนติเจน-แอนติบอดี ไม่ทำให้เกิดการอักเสบ ต่อภูมิแพ้ของ สารเคมี
เบโซฟิล (Basophil) 	นิวเคลียสเป็นก้อนมี โครงสร้างเป็นเม็ดใหญ่ สีม่วงในไซโตพลาสซึม เส้นผ่าศูนย์กลาง 10- 12 มิลลิเมตร	20-50	D : 3-7 วัน LS : ? (2-3 ชั่วโมง ถึง 2-3 วัน)	หลั่งสารฮีสตามีนและ สารอื่น ๆ ที่ทำให้ เกิดการอักเสบ มีสาร เฮปาริน (Heparin) ซึ่งเป็นสารป้องกัน การแข็งตัวของเลือด (Anticoagulant)

ชนิดของเซลล์	ลักษณะ	จำนวนเซลล์ ต่อลูกบาศก์ มิลลิเมตร ของเลือด	ระยะเวลาการ เจริญ (D) และอายุ (LS)	หน้าที่
อะแกรนูโลไซต์ (Agranulocytes)				
ลิมโฟไซต์ (Lymphocyte)	นิวเคลียสทรงกลมหรือ ไตโตพลาสซึมมีสีน้ำ เงินจาง เส้นผ่า ศูนย์กลาง 5-17 มิลลิ ไมโครเมตร	1,500-3,000	D : หลายวัน ถึงหลาย สัปดาห์ LS : หลาย ชั่วโมงถึงหลาย ปี	ผลิตภูมิคุ้มกัน ตอบสนองโดยเข้า โจมตีกับเซลล์ โดยตรง หรือผ่าน ทางแอนติบอดี
โมโนไซต์ (Monocyte)	นิวเคลียสรูปตัวยูหรือ รูปไต ไซโต- พลาสซึม มีสีน้ำเงินเทา เส้นผ่าศูนย์กลาง 14- 24 มิลลิไมโครเมตร	100-700	D : 2-3 วัน LS : เป็น เดือน ๆ	ทำลายเชื้อโรค โดยวิธีฟาโกไซโตซิส พัฒนาไปเป็นเซลล์ แมคโครฟาจ (Macrophages) ใน เนื้อเยื่อ
เกร็ดเลือด (Platelets)	ไซโตพลาสซึมแตก เป็นชิ้นเล็ก ๆ มี โครงสร้างเม็ดเล็ก ๆ ย้อมติดสีม่วงเข้ม เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-4 มิลลิไมโครเมตร	250,000- 500,000	D : 4-5 วัน LS : 5-10 วัน	ปิดปากแผลขนาดเล็ก เล็กในเส้นเลือด เป็น เครื่องมือสำหรับการ แข็งตัวของเลือด

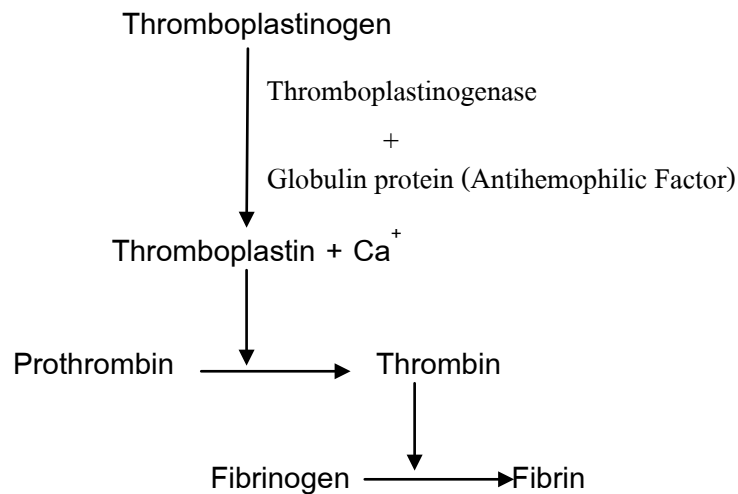
กลไกการป้องกันการสูญเสียเลือด (Hemostasis)

เลือดที่ไหลเวียนอยู่ในหลอดเลือดที่เป็นระบบปิด ย่อมมีแรงดันเลือดสูง การเกิดบาดแผลแม้เพียงเล็กน้อย ก็จะทำให้มีเลือดรั่วออกจากหลอดเลือดได้ และโดยสภาพปกติ คนทั่วไปก็จะมีการเสียเลือดจากการรั่วของหลอดเลือดเล็ก ๆ น้อย ๆ ทุกวันอยู่แล้ว แต่ปริมาณของเลือดก็ยังอยู่ในระดับปกติ ทั้งนี้เนื่องจากร่างกายมีกลไกการป้องกันการสูญเสียเลือด ซึ่งแบ่งได้ 3 วิธี

1. การหดตัวของหลอดเลือด (Vasoconstriction) เมื่อเกิดบาดแผลที่หลอดเลือด ทำให้เลือดไหลไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ กล้ามเนื้อเรียบที่ผนังหลอดเลือดจะหดตัว ทำให้รูรั่วแคบลง กลไกที่ทำให้กล้ามเนื้อเรียบหดตัว เกิดจากเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บปล่อยสารซีโรโทนิน และพอสตาแกนดิน ออกมากระตุ้นทั้งกล้ามเนื้อ และกระตุ้น เกร็ดเลือดให้ปล่อยสารดังกล่าวด้วย ในเส้นเลือดฝอยซึ่งไม่มีกล้ามเนื้อเรียบ การตีบตัวของรูรั่วเกิดจากเลือดที่รั่วออกไปกดทับบนหลอดเลือด กลไกการหดตัวของหลอดเลือดจะเกิดทันทีที่เกิดรูรั่ว และจะคงอยู่เป็นเวลาประมาณ 20 นาที

2. การทำงานของเกร็ดเลือด เมื่อมีการฉีกขาดของหลอดเลือด เกร็ดเลือดจะรวมตัวสร้างเป็นก้อนแข็งของเกร็ดเลือดที่เรียกว่า Hemostatic Plug จุดบริเวณที่ฉีกขาดกลไกนี้เกิดโดยเกร็ดเลือดจะเข้าไปจับกับเส้นใยคอลลาเจนที่ผนังหลอดเลือดที่ฉีกขาด พร้อมกับหลั่งสารซีโรโทนิน และพอสตาแกนดิน กระตุ้นให้กล้ามเนื้อเรียบที่หลอดเลือดหดตัว กระบวนการนี้ต้องใช้ ATP ร่วมด้วย ADP ที่เกิดจากการสลาย ATP จะเป็นตัวเร่งให้เกร็ดเลือดเข้ามาจับตัวมากขึ้นจนเป็น Plug อุดรูรั่วไว้

5. การแข็งตัวของเลือด (Blood Coagulation) เป็นกลไกการป้องกันการสูญเสียเลือด เมื่อหลอดเลือดถูกทำลายที่รุนแรงจน Hemostatic Plug ไม่อาจหยุดการไหลของเลือดได้ กลไกการแข็งตัวของเลือดโดยเกร็ดเลือดจะหลั่งเอนไซม์ทรอมโบพลาสติโนจีเนส (Thromboplastinogenase) ออกมารวมกับโปรตีนโกลบูลินในพลาสมา เปลี่ยนเป็น Thromboplastin เข้ารวมกับ Ca^{+} ไปกระตุ้นให้เอนไซม์โปรทรอมบิน เปลี่ยนไปเป็นทรอมบิน ซึ่งจะไปย่อยไฟบริโนเจนในพลาสมาให้เป็นไฟбрิน รวมตัวกันปิดรูรั่วของหลอดเลือด



รูปที่ 7.2.11 กลไกการแข็งตัวของเลือด

กลไกการแข็งตัวของเลือด ประกอบด้วย 2 กระบวนการที่แยกจากกัน คือ

1. กลไกภายนอกหลอดเลือด (Extrinsic System) เป็นกลไกป้องกันและควบคุมการไหลของเลือดอย่างรวดเร็ว เป็นกรณีที่มีการฉีกขาดของหลอดเลือด และเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียงได้รับอันตราย กลไกนี้เกิดโดยเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บจะหลั่งสาร Thromboplastin ออกรวมตัวกับ Phospholipid ที่หลั่งมาจากเกร็ดเลือด และเยื่อเซลล์ของเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บ สร้างเป็นสารกระตุ้นโปรทรอมบิน (Prothrombin Activator) ต่อจากนั้นจะเกิดกลไกร่วมกับกลไกภายใน

2. กลไกภายในหลอดเลือด (Intrinsic System) เป็นกลไกที่เกิดจากผนังหลอดเลือดด้านในถูกทำลาย หรือมีการระคายเคือง กลไกเกิดโดยผนังหลอดเลือดที่บาดเจ็บจะกระตุ้นแฟคเตอร์ต่าง ๆ ในน้ำเลือดให้ทำงาน สร้างสารกระตุ้น Prothrombin

ตัวกระตุ้นโปรทรอมบิน ทั้งที่เกิดจากกลไกภายนอกและภายในหลอดเลือด จะเข้าสู่การสร้างร่างแหไฟบรินต่อไป กลไกภายนอกจะใช้เวลาการสร้างร่างแหไฟบรินประมาณ 15 วินาที ในขณะที่กลไกภายในใช้เวลา 1-6 วินาที เกร็ดเลือดกับโปรตีนไฟบรินจะรวมกันเป็นก้อนแข็ง กดตัวรีดเอาซีรั่มออกมามีผลให้ก้อนเลือดแข็งตัวมากขึ้น

หมู่เลือดและการให้เลือด

หมู่เลือด ABO

นายแพทย์ Karl Lansteiner เป็นผู้ค้นพบปฏิกิริยาการตกตะกอน (Agglutination) ของเลือด ซึ่งเกิดจากการรวมกันระหว่างแอนติเจนกับแอนติบอดีเมื่อมีการถ่ายเลือดผิด เขาได้แบ่งหมู่เลือดออกเป็น 4 หมู่ คือ A , B , AB และ O ซึ่งมีคุณสมบัติต่างกัน ดังนี้

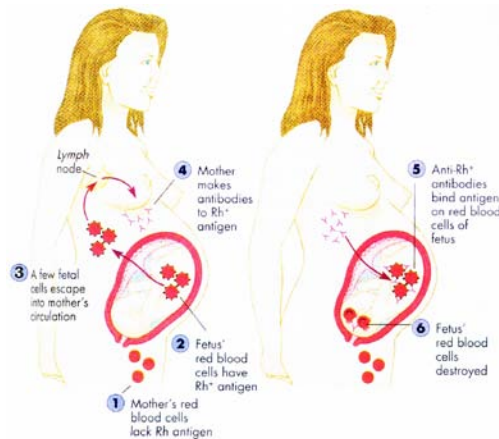
ชนิดของหมู่เลือด	ชนิดของแอนติเจนที่ผิวเม็ดเลือดแดง	ชนิดของแอนติบอดีในน้ำเลือด
A	A	b
B	B	a
AB	A , B	-
O	-	a , b

การให้เลือดถ้าให้ตรงหมู่จะมีความปลอดภัยที่สุด ในบางครั้งการให้เลือดต่างหมู่ กระทำได้บ้างแต่จะต้องไม่ให้แอนติเจนของผู้ให้ตรงกับแอนติบอดีของผู้รับโดยเด็ดขาด มิฉะนั้นเลือดจะเกิดการจับตัวเป็นตะกอน ดังนั้น หลักการให้เลือดอาจสรุปเป็นแผนผัง ดังนี้

		หมู่เลือดของผู้รับ			
		A	B	AB	O
หมู่เลือดของผู้ให้	A	✓	✗	✓	✗
	B	✗	✓	✓	✗
	AB	✗	✗	✓	✗
	O	✓	✓	✓	✓

หมู่เลือด Rh

นอกจากหมู่เลือด ABO แล้ว การให้เลือดยังต้องคำนึงถึงหมู่เลือด Rh ด้วย คนที่มีแอนติเจน Rh ที่ผิวเม็ดเลือดแดงจะไม่มีแอนติบอดี Rh ในน้ำเลือด เรียกว่ามี Rh⁺ (Rh positive) ส่วนคนที่ไม่มีแอนติเจน Rh และไม่มีแอนติบอดี Rh เรียกว่า Rh⁻ (Rh negative) คนที่มี Rh⁻ สามารถจะถูกกระตุ้นให้สร้างแอนติบอดี Rh ในน้ำเลือดได้ ถ้ารับ Rh⁺ เข้าไป การถ่ายเลือดคนที่ Rh⁻ จึงรับ Rh⁺ ไม่ได้ เพราะจะทำให้เกิดการสร้างแอนติบอดี Rh ขึ้นในน้ำเลือด และถ้าได้รับ Rh⁺ ในครั้งต่อไป อาจจะมีการจับกลุ่มของเม็ดเลือดแดงรุนแรงถึงตายได้



รูปที่ 7.2.12 การเกิดโรคเลือดแม่กับลูกเข้ากันไม่ได้ (จาก Postlethwait and Hopson, 1995)

อีกกรณี คือ หญิงที่มี Rh^- แต่งงานกับชาย Rh^+ และหากเกิดทารกในครรภ์มีเลือด Rh^+ ซึ่งได้รับยีนมาจากพ่อ เลือดของทารกจะกระตุ้นให้แม่สร้างแอนติบอดี Rh^+ ขึ้นมาต่อต้าน Rh^+ ทารกคนแรกอาจไม่ได้รับอันตรายเพราะอยู่ในท้องเพียง 9 เดือน แม่ยังสะสมแอนติบอดีไม่มาก แต่ถ้าลูกคนที่ 2 หรือคนถัดไปมี Rh^+ อีก แม่จะสร้างแอนติบอดีเพิ่มขึ้นและส่งเข้าไปยังรกไปสู่ลูกทำให้เม็ดเลือดแดงของลูกจับกลุ่มตตะกอน ทำให้ทารกตายได้ เรียกว่า โรคเลือดแม่กับลูกเข้ากันไม่ได้ (Erythroblastosis Fetalis)

ระบบน้ำเหลือง (Lymphatic System)

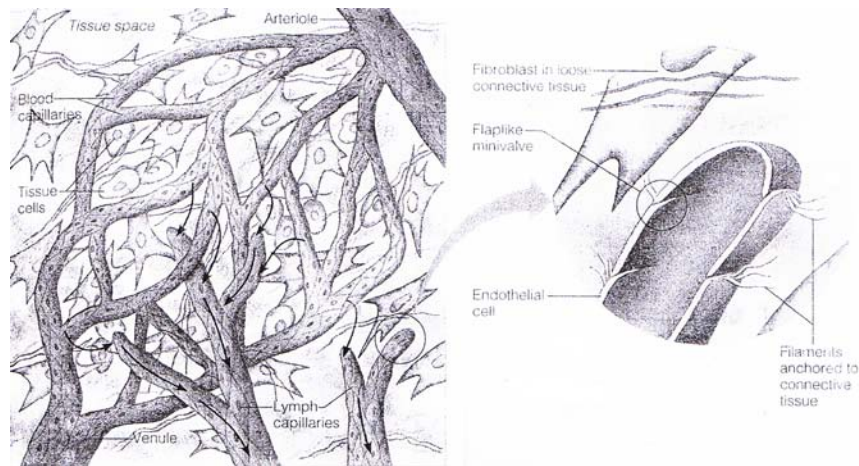
ระบบน้ำเหลืองเป็นระบบขนส่งสารจากช่องว่างระหว่างเซลล์เข้าสู่ระบบไหลเวียน ประกอบด้วย น้ำเหลือง (Lymph) หลอดน้ำเหลือง (Lymph Vessels) ต่อม้ำเหลือง (Lymph node) และอวัยวะน้ำเหลือง (Lymphoid Organs)

น้ำเหลือง

น้ำเหลืองเป็นของเหลวที่ซึมออกจากเส้นเลือดฝอยอาบอยู่รอบ ๆ เซลล์ มีสารต่าง ๆ ชนิดเดียวกับในน้ำเลือด ยกเว้น สารที่มีโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ซึ่งซึมออกมาไม่ได้ แต่อัลบูมินเป็นโปรตีนโมเลกุลเล็กสามารถซึมผ่านได้ สารต่าง ๆ ในน้ำเหลือง ได้แก่ น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำ เอนไซม์ ฮอร์โมน และเม็ดเลือดขาว ซึ่งได้แก่ Lymphocyte ร้อยละ 99 อีกร้อยละ 1 เป็น Granulocyte ในน้ำเหลืองมีโปรตีนน้อย การแข็งตัวของน้ำเหลืองช้ากว่าเลือด เพราะมี Fibrinogen น้อย

หลอดน้ำเหลือง (Lymph Vessels)

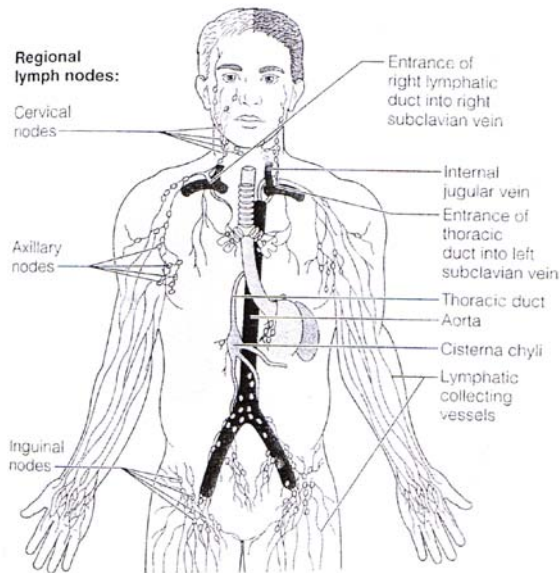
หลอดน้ำเหลืองเริ่มจาก หลอดน้ำเหลืองฝอย (Lymphatic Capillaries) ที่แทรกอยู่ระหว่างช่องว่างของเซลล์ เป็นเซลล์ Endothelium หนาชั้นเดียว มีปลายปิดขอบเซลล์และจะแยกกันเป็นเหมือนลิ้นที่ปิดเปิดในทิศทางเดียวกัน จึงทำให้สารที่ผ่านเข้ามาในหลอดแล้วออกไม่ได้ ภายในหลอดยังมีลิ้นกันเป็นช่วง ๆ ช่วยส่งให้น้ำเหลืองไหลไปสู่หลอดเลือดดำในทิศทางเดียวกัน คือ เข้าสู่หัวใจ ผนังของหลอดน้ำเหลืองฝอยจะยอมให้สารผ่านได้ง่ายกว่าหลอดเลือดแดงฝอย โดยเฉพาะสารโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ระบบน้ำเหลืองจึงเป็นระบบดูดกลับโปรตีนที่ออกมาจากเส้นเลือดฝอยมาอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์เข้าสู่ระบบหมุนเวียนโลหิตต่อไป



รูปที่ 7.2.13 เส้นน้ำเหลืองฝอย (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

เส้นน้ำเหลืองในร่างกาย

หลอดน้ำเหลืองฝอยรวมกันเป็นหลอดน้ำเหลืองขนาดใหญ่ ซึ่งมีกล้ามเนื้อเรียบและเส้นใย Elastic จึงทำให้หดตัวได้เอง ช่วยให้น้ำเหลืองไหลได้เร็วขึ้นตลอดเส้นทางที่มีต่อม



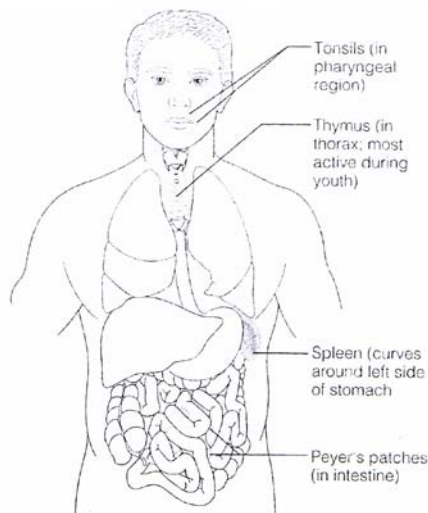
รูปที่ 7.2.14 เส้นน้ำเหลือง และ บริเวณต่อมน้ำเหลืองของร่างกาย (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

น้ำเหลืองอยู่เป็นระยะ ๆ โดยมีเส้นน้ำเหลืองนำเข้าสู่ต่อม 2-3 ท่อ เพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมและมีท่อน้ำเหลืองนำออกเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองที่ใหญ่ขึ้น เนื้อเยื่อส่วนบนซีกขวาของร่างกาย น้ำเหลืองเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองใหญ่ด้านขวา (Right Lymphatic Duct) ส่วนขา 2 ข้าง อวัยวะภายใน ท้อง และร่างกายส่วนบนซีกซ้ายทั้งหมด น้ำเหลืองเข้าสู่หลอดน้ำเหลืองทรวงอก (Thoracic Duct) หลอดน้ำเหลืองขนาดใหญ่ทั้ง 2 นี้ จะเปิดเข้าสู่หลอดเลือดดำใหญ่บริเวณมุมที่หลอดเลือด

ดำใหญ่ของคอ (Jugular Vein) พบกับหลอดเลือดดำใหญ่ของแขน (Subclavian Vein) ซึ่งจะนำน้ำเหลืองเข้าสู่ระบบหมุนเวียนต่อไป

ต่อมน้ำเหลืองและอวัยวะน้ำเหลือง (Lymph node and Lymphatic organs)

ต่อมน้ำเหลือง มีอยู่เป็นระยะ ๆ ตลอดทางเดินของท่อน้ำเหลือง รูปร่างรีคล้ายรูปไข่ ภายในมีเนื้อเยื่อและเม็ดเลือดขาว ส่วนอวัยวะน้ำเหลืองมีขนาดใหญ่กว่าต่อมน้ำเหลือง ได้แก่ ต่อมทอนซิล ม้าม ต่อมไทมัส ทั้งต่อมน้ำเหลืองและอวัยวะน้ำเหลือง ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคและเม็ดเลือดขาวที่หมดอายุ กรองเศษสารเล็ก ๆ และสร้าง Lymphocyte



รูปที่ 7.2.15 อวัยวะน้ำเหลือง

(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

ดังนั้นถ้ามีเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกายบริเวณใกล้ต่อมน้ำเหลืองจะมีอาการบวมหรืออักเสบของต่อมน้ำเหลืองบริเวณนั้น เช่น เชื้อโรคเข้าทางปากต่อมทอนซิลมักอักเสบบวมโต เป็นต้น นอกจากนี้ต่อมน้ำเหลืองอาจโตเนื่องจากมะเร็งที่เกิดจากบริเวณใกล้เคียงแพร่เข้าไปถึง รวมทั้งเกิดจากการที่ต่อมน้ำเหลืองเป็นโรค เช่น มะเร็งต่อมน้ำเหลือง วัณโรคต่อมน้ำเหลือง เป็นต้น

ต่อมไทมัส (Thymus Gland) เป็นต่อมไร้ท่อ

อยู่ในทรวงอกรอบเส้นเลือดใหญ่ของหัวใจ ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนในขณะที่สัตว์เจริญเติบโต และเนื้อเยื่อบางส่วนทำหน้าที่สร้าง Lymphocyte

ชนิด T-cell เข้าสู่กระแสเลือดและน้ำเหลืองและแอนติบอดี เมื่ออายุยังน้อยต่อมนี้นี้มีขนาดใหญ่ เมื่ออายุมากขึ้นขนาดของต่อมจะลดลงและเหี่ยวหายไป เข้าใจว่าจะกลายเป็นท่อน้ำเหลืองธรรมดา

ม้าม (Spleen) เป็นอวัยวะน้ำเหลืองขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ในทรวงอกด้านซ้าย เป็นอวัยวะที่ไม่มีท่อน้ำเหลืองมาติดต่อ แต่มีเส้นเลือดมาเลี้ยงมาก มีเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (Lymphatic Tissue) ทำหน้าที่สร้าง Lymphocyte และ Monocyte มีเนื้อเยื่อเรติคูลาร์ (Reticular Tissue) ทำหน้าที่สะสมเลือด นอกจากนี้ม้ามยังอาจสร้างเม็ดเลือดแดงได้ เช่น ในวัยเด็ก หรือ ในสภาวะที่เป็นโลหิตจาง

ระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System)

ปกติร่างกายมีระบบป้องกันสิ่งแปลกปลอม และเชื้อโรคจากภายนอกที่เข้าสู่ร่างกายอยู่ 2 ระบบ คือ

1. ระบบการป้องกันแบบไม่จำเพาะ (Nonspecific Defense System) เป็นระบบทำลายที่ไม่เจาะจงต่อชนิดของสิ่งแปลกปลอมแปลกปลอม ได้แก่

1) ระบบผิวหนัง และเยื่อเมือก (Skin and Mucous Membrane) ผิวหนังเป็นระบบห่อหุ้มร่างกาย (Body Covering System) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายจากสิ่งแวดล้อมภายนอก และมีการขับสารบางอย่าง เช่น กรดแลคติกในเหงื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรีย น้ำหล่อเลี้ยงอวัยวะ เช่น น้ำลาย น้ำเมือก มีฤทธิ์ทำลายแบคทีเรีย และจับยึดให้เป็นกลุ่มก้อนทำให้หลุดออกจากร่างกาย

2) ระบบเม็ดเลือดขาว (Leucocytes System) กรณีที่ผิวหนังได้รับอันตรายไม่สามารถป้องกันเชื้อโรคได้ ทำให้เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย เม็ดเลือดขาวบริเวณนั้นจะกำจัดเชื้อโรคโดยจับกินโดยตรง (Phagocytosis) การอักเสบ (Inflammation) และการหลั่งสารพวกโปรตีนออกมาทำลาย เนื่องจากเม็ดเลือดขาวที่อยู่ในท่อเลือด ท่อน้ำเหลือง และอวัยวะน้ำเหลือง สามารถรีดตัวผ่านผนังเส้นเลือดฝอย ท่อน้ำเหลืองฝอยออกมาอยู่ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้

2. ระบบการป้องกันแบบจำเพาะ (Specific Defense System) หรือการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน (Immune Response) เป็นระบบทำลายที่จำเพาะต่อชนิดของสิ่งแปลกปลอม เช่น จุลินทรีย์ สารพิษ (Toxins) และโมเลกุลของสารบางอย่าง รวมทั้งเซลล์ที่ผิดปกติของร่างกาย ได้แก่

1) Humoral (Antibody-Mediated) Immune Response เป็นกลไกการทำลายสารภายนอกเซลล์ ด้วยการสร้างแอนติบอดีขึ้นมาต่อต้าน

2) Cell-Mediated Immune Response เป็นกลไกการทำลายสารที่อยู่ภายในเซลล์ หรือเซลล์มะเร็ง

ระบบการป้องกันจำเพาะนี้ มักคุ้นเคยในชื่อเรียกว่า ภูมิคุ้มกัน (Immunity) หรือระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System)

เซลล์เม็ดเลือดขาวในระบบภูมิคุ้มกัน

เม็ดเลือดขาวที่มีความสำคัญในระบบภูมิคุ้มกัน ได้แก่ เซลล์บี (B-cell) และเซลล์ที (T-cell) ซึ่งสร้างมาจากเซลล์ต้นกำเนิด (Stem Cell) ในไขกระดูก ที่มีชื่อว่า Lymphoid Stem Cells มี 2 พวก พวกหนึ่งจะออกจากไขกระดูกไปเจริญในต่อมไทมัส คือ T-cell (Thymus Cell) ส่วนอีกพวกหนึ่งยังคงอยู่ในไขกระดูก คือ B-cell (Bone Marrow Cell) เซลล์ทั้ง 2 ชนิดนี้ เมื่อเจริญเต็มที่แล้วจะเคลื่อนย้ายตัวเองไปอยู่ตามเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (Lymphoid Tissue) ต่าง ๆ ได้แก่ ต่อมน้ำเหลือง ม้าม เลือด และน้ำเหลือง

B-cell และ T-cell มีลักษณะแตกต่างกว่าเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดอื่น ๆ คือ ที่ผิวเซลล์มีตัวรับแอนติเจน (Antigen-Receptor) ที่สามารถจับกับแอนติเจนจำเพาะได้มากถึง 100,000 ชนิด แต่จะไม่จับกับโมเลกุลของสารในร่างกายของตนเอง เนื่องจากมีการควบคุมโดย Programmed Cell Death ซึ่งจะทำลาย B-cell และ T-cell ชนิดที่มี Receptor จับกับโมเลกุลของร่างกายตนเอง ดังนั้นในร่างกายจึงมีเฉพาะ B-cell และ T-cell ที่มีแต่ Receptor จำเพาะต่อโมเลกุลจากภายนอกร่างกาย

B-cell และ T-cell เมื่อจับกับแอนติเจนแล้ว จะกระตุ้นให้มีการแบ่งเซลล์จำนวนมาก 2 ชนิด คือ เซลล์พลาสมา (Plasma Cell) และเซลล์เมมโมรี (Memory Cell) เซลล์พลาสมาจะสร้างแอนติบอดีจำเพาะต่อแอนติเจนที่เข้าสู่ร่างกายเข้าสู่กระแสเลือด ส่วนเซลล์เมมโมรีจะทำหน้าที่จำแอนติเจนและสร้างแอนติบอดีได้ทันทีเมื่อแอนติเจนชนิดเดิมเข้าสู่ร่างกาย

ชนิดของ T-cell

Lymphocyte Stem Cell ภายในต่อมไทมัส จะเจริญไปเป็น T-cell 3 ชนิด ได้แก่

1. Cytotoxic T-cell (Tc) หรือ Killer T-cell (Tk) มี Receptor จับกับผิวเซลล์ร่างกายที่ติดเชื้อ จึงมีบทบาทเป็น Cell Mediated Immune Response คือ จับสิ่งแปลกปลอมโดยวิธี Phagocytosis เช่น กลืนกินเซลล์มะเร็ง เซลล์ติดเชื้อไวรัสจากอวัยวะที่ร่างกายได้รับการปลูกถ่าย เป็นต้น

2. Helper T-cell (Th) มี Receptor จับกับผิวเซลล์ร่างกายที่เป็น Macrophage จึงมีบทบาทในการกระตุ้นให้ B-cell กลายเป็น Plasma Cell เพื่อสร้าง Antibody และกระตุ้น Tc ให้ทำลายเซลล์ร่างกายที่ติดเชื้อ

3. Suppressor T-cell (Ts) ทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้มีการตอบสนองทางภูมิคุ้มกันมากเกินไป โดยการสร้างและหลั่งสารลดการทำงานของ B-cell และ T-cell ไม่ให้มีการเพิ่มจำนวนมากเกินไป

กลไกการสร้างภูมิคุ้มกันจำเพาะของร่างกาย

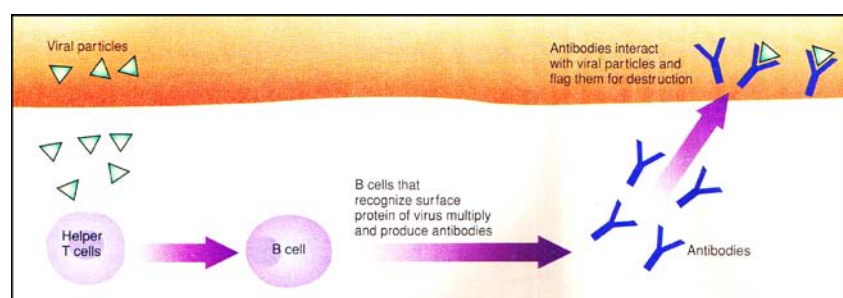
เมื่อมีเชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย จะถูกเม็ดเลือดขาวเข้าทำลายโดยวิธี Phagocytosis ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้เซลล์เม็ดเลือดขาวพวก B-cell และ T-cell ทำงานโดยการสร้าง Antibody ของ Antigen ชนิดนั้นขึ้นมา เพื่อต่อต้านเชื้อโรค หรือ Antigen ชนิดนั้นที่จะเข้าสู่ร่างกายอีก

กลไกการสร้างแอนติบอดีของ B-cell (The B-cell Immune Defense)

B-cell เป็นเซลล์สร้าง Specific Antibody เมื่อมี Antigen เข้าสู่ร่างกาย จะกระตุ้นให้ B-cell สร้าง Antibody ได้ 2 วิธี คือ

1. สร้างด้วยเซลล์บี โดยไม่ต้องมี helper T-cell ช่วย (T-independent antigens) เป็นพวก Polysaccharides และไม่มี Memory Cell เก็บ

2. สร้าง Antibody โดยมี helper T-cell ช่วย (T-dependent antigens) ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน และมี Memory Cell เก็บ เริ่มจากการที่เซลล์ Macrophage กินและย่อยสิ่งแปลกปลอม หรือ Antigen ซึ่งชิ้นส่วนที่ย่อยได้จะจับกับ Receptor ของ Macrophage เพื่อจะจับกับ Receptor ของ helper T-cell จากนั้น helper T-cell จะจับกับ B-cell ซึ่งจะถูกระตุ้นจาก Antigen ให้ helper T-cell หลั่ง Interleukin 2 ไปกระตุ้นให้ B-cell แบ่งตัวได้ Plasma Cell ให้หลั่ง Antibody และ Memory Cell

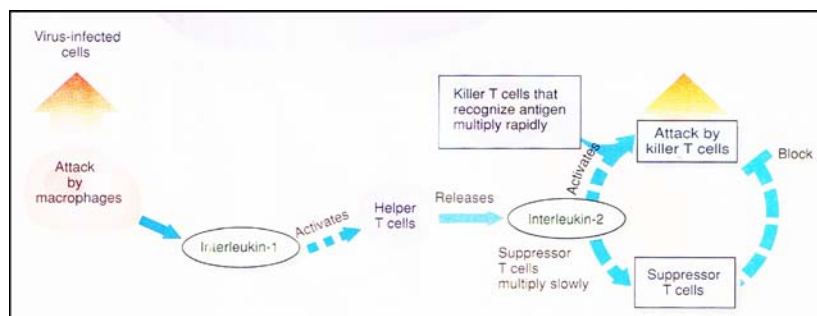


รูปที่ 7.2.16 กลไกการสร้าง Antibody ของ B-cell โดยมี helper T-cell ช่วย

(จาก George B. Johnson, 1997)

การป้องกันของภูมิคุ้มกัน T-cell (The T-cell Immune Defense)

เมื่อมีแอนติเจน หรือ เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย เซลล์ Macrophage จะเข้าทำลายโดยวิธี Phagocytosis พร้อมกับหลั่งสาร Interleukin 1 ไปกระตุ้นให้ helper T-cell หลั่งสาร Interleukin 2 ไปกระตุ้น 2 ทาง คือ ให้ Killer T-cell ซึ่งจำแอนติเจนได้เข้าทำลายแอนติเจน และไปกระตุ้น Suppressor T-cell อย่างช้า เพื่อให้ Suppressor T-cell ไปห้ามการทำงานของ Killer T-cell

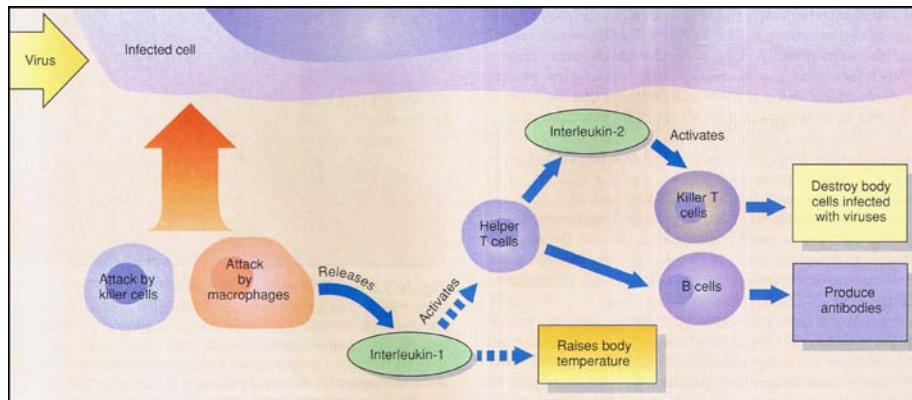


รูปที่ 7.2.17 กลไกการทำงานของ T-cell (จาก George B. Johnson, 1997)

การตอบสนองของภูมิคุ้มกัน (The Immune Response)

การตอบสนองของภูมิคุ้มกัน เริ่มตั้งแต่เซลล์เม็ดเลือดขาวเข้าทำลายแอนติเจนหรือเชื้อโรคที่เข้าสู่เซลล์ โดย Killer T-cell และ Macrophage จะทำลายเชื้อโรคโดยวิธี Phagocytosis พร้อมกันนี้ Macrophage Interleukin 1 ไปกระตุ้น 2 ทาง คือ ไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิที่สมองให้เพิ่มระดับอุณหภูมิในร่างกายให้สูงขึ้น เพื่อทำให้เอนไซม์ของเชื้อโรคทำงานไม่ได้ และอีกทางไปกระตุ้น helper T-cell ให้ทำงานโดย

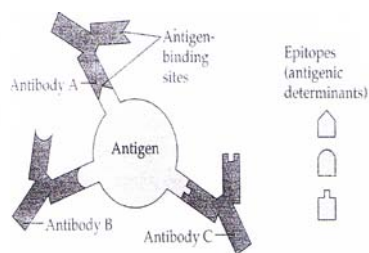
1. กระตุ้นให้ B-cell สร้าง Antibody
2. หลั่งสาร Interleukin 2 กระตุ้นการทำงานของ Killer T-cell โดยเข้าทำลายเซลล์ที่มีเชื้อโรค



รูปที่ 7.2.18 กลไกการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน (จาก George B. Johnson, 1997)

แอนติบอดี (Antibody)

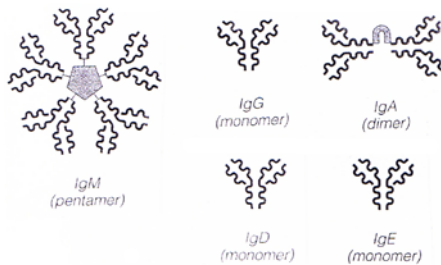
แอนติบอดี เป็นโปรตีน Immunoglobulin (Ig) โมเลกุลมีรูปร่างเป็นตัวยาว (Y) ที่มีหาง 2 ข้างไม่เท่ากัน หางหนึ่งยาว คือ Heavy Chain อีกหางหนึ่งสั้น คือ Light Chain ปลายหางมี 2 บริเวณ คือ บริเวณคงที่ (Constant Region, C) กับบริเวณที่เปลี่ยนแปลง



รูปที่ 7.2.19 การจับกันของ Antigen Binding Site ของแอนติบอดีกับ Epitope ของแอนติเจน (จาก Cambell et al , 1999)

ได้ (Variable Region, V) บริเวณ V จึงเป็นส่วนที่แตกต่างกันใน Antibody แต่ละตัว เป็นส่วนที่จับกับส่วนยัดเกาะ (Epitope) ที่ผิวของ Antigen โมเลกุลของ Antigen แต่ละชนิดจะมี Epitope อยู่จำนวนมาก แต่ละ Epitope จะกระตุ้นให้มีการสร้าง Specific Antibody ขึ้นมา ด้วยเหตุนี้ Antigen แต่ละตัว เช่น แบคทีเรีย 1 เซลล์ที่เข้าสู่ร่างกายจึงอาจจะจับกับ Antibody ได้จำนวนมาก ซึ่งพบว่าอาจจะได้ถึง 4 ล้านโมเลกุลเป็นต้น

ชนิดของแอนติบอดี (Type of Antibody)



รูปที่ 7.2.20 รูปร่างของ Igs ชนิดต่าง ๆ

(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

แอนติบอดีแบ่งตามชนิด C-region ของ Heavy Chain ได้ 5 ชนิด คือ IgM IgG IgA IgD และ IgE ซึ่งมีรูปร่างและหน้าที่แตกต่างกัน ดังนี้

IgM เป็นแอนติบอดีชนิดแรกที่พบในกระแสเลือด เมื่อมีแอนติเจนเข้าสู่ร่างกายจะพบมี IgM จำนวนมากในตอนเริ่มต้นการตอบสนองของภูมิคุ้มกัน และจะลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว เป็นโมเลกุลใหญ่ ประกอบด้วย แขนรูปตัว Y 5

อัน จัดเรียงตัวในรูป 5 เหลี่ยม ทำหน้าที่ให้แอนติเจนตกตะกอน

IgG เป็นแอนติบอดีที่พบมากในเส้นเลือดและเข้าสู่ของเหลวในเนื้อเยื่อ ผ่านเข้าสู่รกได้ ทำหน้าที่สร้างภูมิคุ้มกันรับมา (Passive Immunity) จากแม่สู่ทารก นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ป้องกันโดยการต่อต้านแบคทีเรีย ไวรัส และสารพิษในระบบไหลเวียนเลือดและน้ำเหลือง และมีบทบาทในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน

IgA เป็นแอนติบอดีที่มีโครงสร้างรูปตัว Y 2 ตัวต่อกัน สร้างมาจากเยื่อเมือกที่เป็นเซลล์ผิวบุอวัยวะต่าง ๆ จึงพบอยู่ในสารคัดหลั่งจำนวนมาก เช่น น้ำลาย น้ำตา เหงื่อ และน้ำนม น้ำเหลือง (Colostrum) ทำหน้าที่ป้องกันการยึดเกาะของไวรัสและแบคทีเรียที่เซลล์ผิวบุอวัยวะ และช่วยป้องกันการติดเชื้อในทางเดินอาหารของทารก

IgD เป็นแอนติบอดีที่ไม่กระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน และไม่สามารถเข้าสู่รกได้ ส่วนใหญ่พบอยู่บนผิวของ B-cell ทำหน้าที่จับกับ Receptor ของแอนติเจนในการเปลี่ยน B-cell ไปเป็น Plasma Cell และ Memory Cell

IgE เป็นแอนติบอดีที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า IgG เล็กน้อย และมีจำนวนน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแอนติบอดีชนิดอื่น ๆ ในเลือด บริเวณหางจะเกาะกับ Receptor บน Mast Cell และ Basophils เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแอนติเจนจะทำให้เซลล์หลั่งสาร Histamine และสารเคมีอื่น ๆ ที่เป็นปฏิกิริยาภูมิแพ้ ทำให้เกิดภูมิแพ้ (Allergic)

ระบบภูมิคุ้มกันจำเพาะ (Acquired Immunity หรือ Specific Immunity)

ร่างกายของสิ่งมีชีวิตนอกจากมีภูมิคุ้มกันที่ติดตัวมาแต่เกิด เป็นภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด (Innate Immunity) ได้แก่ แอนติบอดีในน้ำเลือดในระบบ ABO ซึ่งร่างกายสร้างขึ้นเองตามปกติแล้ว ร่างกายยังสามารถสร้างภูมิคุ้มกันที่เกิดจากการได้รับแอนติเจนจากภายนอก ร่างกายที่เรียกว่าภูมิคุ้มกันจำเพาะอีกด้วย

ภูมิคุ้มกันจำเพาะที่ร่างกายสร้างขึ้นมี 2 วิธี คือ

1. ภูมิคุ้มกันก่อเอง (Active Immunity) คือ การที่ร่างกายได้รับเชื้อหรือแอนติเจน แล้วกระตุ้นให้ร่างกายสร้างแอนติบอดีขึ้นมาต่อต้านและเก็บ Memory Cell ไว้ ถ้าเป็นเชื้อในธรรมชาติก็จะเป็น Natural Active Immunity แต่ถ้าเป็นวัคซีน (Vaccine) ที่ผลิตขึ้นนำมาฉีดเข้าร่างกาย เพื่อให้สร้าง Memory Cell ไว้ เมื่อได้รับเชื้อเดิมครั้งใหม่จะสามารถสร้างแอนติบอดีได้ทันที ก็จะเป็น Artificial Active Immunity

วัคซีน (Vaccine) สามารถผลิตได้หลายวิธี ได้แก่ จุลินทรีย์ที่ตายแล้วจากการสกัดเอาสารเฉพาะอย่างจากจุลินทรีย์ที่ตายแล้ว จากจุลินทรีย์ที่ยังมีชีวิต แต่นำมาทำให้อ่อนกำลังลง หรือผลิตจากสารพิษที่ผ่านขบวนการทำให้หมดสภาพความเป็นพิษ แต่สามารถกระตุ้นให้ร่างกายสร้างภูมิคุ้มกันโรคได้ ที่เรียกว่า toxoid เช่น วัคซีนป้องกันโรคคอตีบ โรคบาดทะยัก เป็นต้น

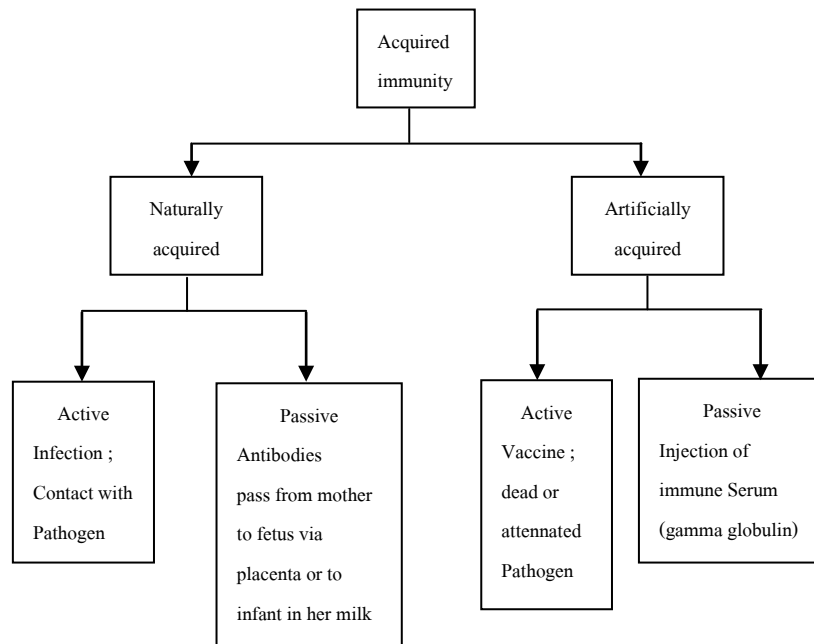
ภูมิคุ้มกันก่อเอง เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะมีอายุอยู่ได้นาน แต่มีข้อเสียคือเกิดได้ช้าเมื่อได้รับวัคซีนแล้วต้องใช้เวลา 4-7 วันจึงจะมีการตอบสนองต่อวัคซีน

2. ภูมิคุ้มกันรับมา (Passive Immunity) คือ การที่ร่างกายได้รับแอนติบอดีของเชื้อนั้นเข้าไป เพื่อสามารถทำงานได้ทันที ถ้าเป็นแอนติบอดีที่ผ่านจากแม่ไปสู่ลูกโดยทางรกหรือทางน้ำนมก็เป็น Natural Passive Immunity แต่ถ้าเป็นแอนติบอดีที่สร้างขึ้นจากเซรุ่มของสัตว์ นำมาฉีดเข้าสู่ร่างกายก็เป็น Artificial Passive Immunity

การผลิตแอนติบอดีจากเซรุ่มของสัตว์ทำโดยใช้เชื้อที่อ่อนกำลังฉีดเข้าไปในสัตว์ทดลอง เช่น ม้า กระต่าย แล้วเก็บแอนติบอดีนั้นไว้ เช่น เซรุ่มของพิษงู โรคกลัวน้ำ บาดทะยัก คอตีบ เป็นต้น

ภูมิคุ้มกันรับมาเกิดผลรวดเร็ว แต่มีข้อเสีย คือ มีอายุคุ้มกันโรคสั้น ซึ่งเหมาะกับโรคที่แสดงอาการเฉียบพลัน เป็นการแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ดังนั้น ควรได้รับทั้ง Passive และ Active Immunity เพื่อจะได้มีภูมิคุ้มกันที่ต่อเนื่องกัน

ภูมิคุ้มกันจำเพาะสามารถสรุปได้ดังแผนภาพต่อไปนี้



รูปที่ 7.2.21 แผนภาพแสดงภูมิคุ้มกันจำเพาะชนิดต่าง ๆ

ความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน

โรคภูมิแพ้ (Allergies)

โรคภูมิแพ้ เป็นอาการที่เกิดจากการตอบสนองของร่างกายที่ไวเกินกว่าธรรมดา (Hypersensitivity) ต่อสารก่อภูมิแพ้ (Allergens) ที่เป็นแอนติเจนในธรรมชาติ การแพ้สารในแต่ละคนจะมีความแตกต่างกันทั้งชนิดและความรุนแรง กลไกการเกิดภูมิแพ้เริ่มจากร่างกายได้รับสารก่อภูมิแพ้เข้าไปกระตุ้นให้ Plasma Cell สร้าง Antibody ชนิด IgE ที่จำเพาะต่อสารชนิดนั้นขึ้นมาไปทำปฏิกิริยาจับที่ผิวเซลล์บางชนิดของส่วนต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น เซลล์เยื่อบุจมูก หลอดลม และผิวหนัง เป็นต้น ต่อมาถ้าเซลล์นี้ได้รับสารก่อภูมิแพ้ชนิดเดิมเข้ามาใหม่ สารนี้จะไปทำปฏิกิริยาเข้าจับกับ IgE ทำให้เซลล์หลั่งสาร Histamine ซึ่งมีฤทธิ์ทำให้หลอดเลือดขยายตัว น้ำเหลืองจะรั่วออกจากเส้นเลือดเข้าสู่เนื้อเยื่อข้างเคียง เกิดการบวมของเนื้อเยื่อ ถ้าเป็นเนื้อเยื่อรอบ ๆ โปรงหรือท่อ ก็จะกดให้โปรงหรือท่อตีบแคบลง เมื่อเกิดในจมูกทำให้คัดจมูก ในหลอดลมทำให้เกิดอาการหอบหืด ที่ผิวหนังทำให้บวมเป็นปื้นหนาที่เรียกว่าลมพิษ

โรคภูมิคุ้มกันทำลายตัวเอง (Autoimmune Disease)

โรคภูมิคุ้มกันทำลายตัวเอง เกิดจากเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายไม่สามารถแยกแยะระหว่างเซลล์หรือสารของร่างกาย (Self) กับเซลล์หรือสารนอกร่างกาย (Non self) ได้ จึงทำปฏิกิริยากับเซลล์หรือสารของร่างกายตนเองเหมือนสิ่งแปลกปลอมและสร้าง Antibody ต่อเซลล์ หรือสารของร่างกาย ทำให้เซลล์ถูกทำลาย เช่น โรค SLE (Systemic Lupus Erythematosus) หรือ โรคลูปัส (Lupus) ที่มีกลุ่มอาการของโรคหลายอย่าง ได้แก่

อาการทางผิวหนัง มีผื่นแดงบนใบหน้าตั้งแต่ดั้งจมูกไปถึงโหนกแก้มสองข้างรูปปีกผีเสื้อ (Butterfly Rash) หรือมีอาการคันบริเวณที่ถูกแสงแดด หรือถูกความร้อน

อาการทางไต มีอาการบวมที่เท้า ใบหน้า หรือทั้งตัว ปัสสาวะน้อยมีสีคล้ายน้ำล้างเนื้อ ซึ่งเกิดจากการอักเสบของไต

อาการทางประสาท มีอาการสมองอักเสบ พุดจาและเลื่อน เอะอะโวยวาย คลุ้มคลั่ง จำพี่น้องไม่ได้ และอาจมีอาการชักร่วมด้วย เรียกว่าโรค Multiple Sclerosis (MS)

อาการทางระบบย่อยอาหาร ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน การดูดซึมไม่ปกติ และอาจมีการอักเสบของตับอ่อน อันเนื่องมาจาก B-cell ถูกทำลายโดยระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้เป็นเบาหวาน

อาการทางหัวใจและหลอดเลือด เยื่อหุ้มหัวใจ หรือกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ เจ็บหน้าอก ใจสั่น อาจมีการเต้นของหัวใจผิดปกติ และอาจมีภาวะเลือดแข็งตัวง่ายทำให้เกิดการอุดตันของหลอดเลือดของอวัยวะต่าง ๆ

ผู้ป่วยอาจจะไม่มีอาการทุกอย่างของโรค และอาจไม่มีความรุนแรงเสมอไป เป็นโรคที่พบมากในผู้หญิงอายุ 20-25 ปี ซึ่งพบมากกว่าผู้ชาย 9-10 เท่า ส่วนใหญ่เป็น คนผิวดำ และผิวเหลือง มากกว่าคนผิวขาว เป็นโรคที่พบมากในแถบเอเชียตะวันออก คือ ไทย สิงคโปร์ มาเลเซีย จีน ฮองกง ปัจจุบันยังไม่ทราบสาเหตุการเกิดโรค แต่มีหลักฐานที่แสดงว่ามีปัจจัยร่วมหลายอย่าง คือ พันธุกรรม ฮอร์โมนเพศหญิง และการติดเชื้อ โดยเฉพาะเชื้อไวรัส

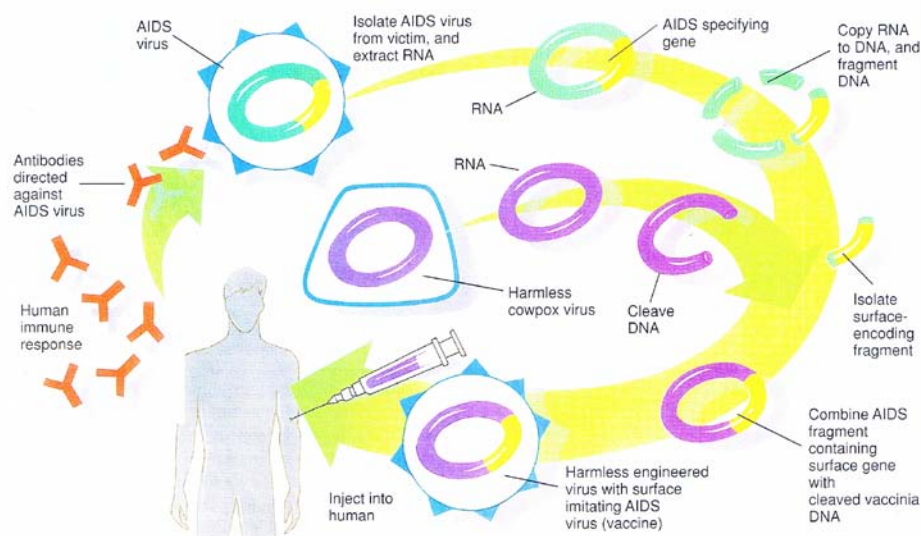
โรคเอดส์ (Acquired Immune Deficiency Syndrome, AIDS)

เอดส์ เป็นโรคที่เกี่ยวกับภูมิคุ้มกันโรคในร่างกายบกพร่อง เกิดจากการติดเชื้อไวรัส Human Immunodeficiency Virus (HIV) ซึ่งจะทำลาย Helper T-cell เป็นส่วนใหญ่ และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดอื่นบ้าง เนื่องจาก TH ถูกทำลาย จึงไม่มีสัญญาณไปกระตุ้น B-cell

ให้สร้าง Antibody ทำให้ร่างกายขาดภูมิคุ้มกันโรค จึงติดเชื้อได้ทุกชนิด ทำให้ถึงแก่ความตายได้ง่าย

ผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อ HIV ในเวลา 2-6 สัปดาห์ จะมีอาการคล้ายไข้หวัดใหญ่ มีผื่นตามตัว มีแผลในปาก มีเชื้อราเป็นฝ้าขาวในปากและคอ ต่อม้ำเหลืองโต และอาจมีอาการท้องเสียร่วมด้วย อาการเหล่านี้จะหายภายใน 1-3 สัปดาห์ ระยะต่อมาจะไม่แสดงอาการ เป็นระยะที่เชื้อเข้าไปเจริญอยู่ในเซลล์เม็ดเลือดขาวในเนื้อเยื่อน้ำเหลือง (Lymphatic Tissue) เพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งอาจใช้เวลา 3-10 ปี ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ภูมิคุ้มกันจะต่อสู้กับเชื้อตลอดเวลา แต่ไม่สามารถต้านทานได้ เชื้อเพิ่มมากขึ้น TH ก็ยิ่ง ลดจำนวนลง หลังจากได้รับเชื้อ 2-6 ปี จะมีอาการต่อมน้ำเหลืองโต แต่กดไม่เจ็บ ไม่มีอาการอักเสบ ปีที่ 6-9 เริ่มมีอาการหลายอย่าง ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากภูมิคุ้มกันไม่ทำงาน เช่น การติดเชื้อรา มีไข้เรื้อรังเป็นเดือน น้ำหนักลดลงกว่าร้อยละ 10 ของน้ำหนักเดิม และตายในที่สุด

โรคเอดส์ นับว่าเป็นโรคที่ร้ายแรงที่สุดเท่าที่เคยมีมา มีการติดต่อโดยทางเลือดและของเหลวจากร่างกาย เช่น การร่วมเพศ และการถ่ายเลือด ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการรักษาให้หายได้ มีแต่การรักษาทางยา AZT (Attaches to this enzyme reverse transcriptase) ซึ่งมีฤทธิ์ยับยั้งการแบ่งตัวของไวรัสเอดส์ ให้เพิ่มจำนวนได้ช้าลงเท่านั้น ปัจจุบันมีการศึกษาการผลิตวัคซีนป้องกันโรค ซึ่งยังอยู่ในขั้นการศึกษาทดลอง



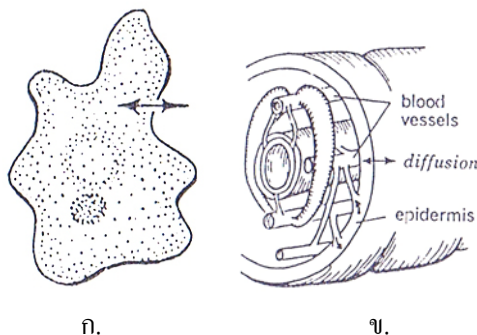
รูปที่ 7.2.22 การทดลองทางวัคซีนป้องกันโรคเอดส์ (จาก George B. Johnson, 1997)

7.3 ระบบหายใจ (The Respiratory System)

การหายใจ (Respiration) หมายถึง กระบวนการสลายโมเลกุลของสารอาหารของสิ่งมีชีวิต เพื่อนำพลังงานมาใช้ในการเจริญเติบโต และการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิต ในปฏิกิริยาเคมีมีการสลายสารอาหารส่วนใหญ่ต้องใช้ออกซิเจนในการสันดาปและมีเอนไซม์หลายชนิดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งเกิดขึ้นในไมโทคอนเดรียของเซลล์ เนื่องจากเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแก๊ส คือ ใช้ออกซิเจน และกำจัดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา ดังนั้น กระบวนการหายใจจึงต้องมีกระบวนการแลกเปลี่ยนแก๊ส (Gas Exchange) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย สิ่งมีชีวิตจึงต้องมีอวัยวะที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนแก๊สที่เหมาะสม

โครงสร้างที่ใช้แลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์

สิ่งมีชีวิตพวกโปรติสต์ (Protists) ยังไม่มีอวัยวะ การแลกเปลี่ยนแก๊สจะแลกเปลี่ยนโดยตรงระหว่างสิ่งแวดล้อมกับเซลล์ เช่น โปรโตซัวที่อยู่ในน้ำ ออกซิเจนในน้ำจะแพร่ (Diffusion) ผ่านเยื่อเซลล์ ขณะเดียวกันคาร์บอนไดออกไซด์ก็จะแพร่ออกจากเซลล์ผ่านเยื่อเซลล์สู่ น้ำโดยตรง

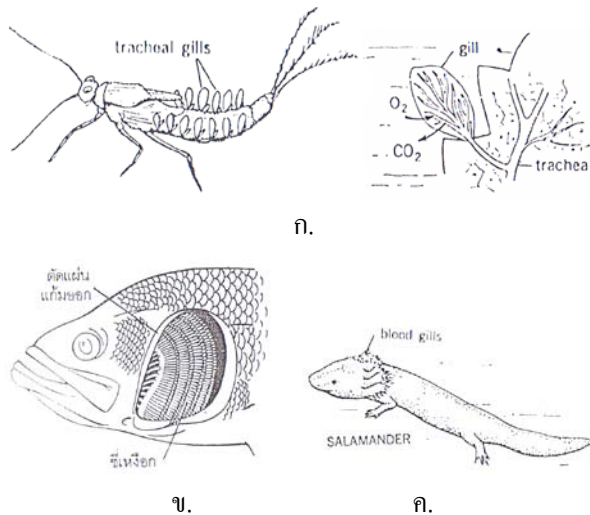


รูปที่ 7.3.1 การแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านเซลล์ของโปรโตซัว (ก) และการแลกเปลี่ยนแก๊สผ่านผิวหนังในไส้เดือนดิน (ข) (จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

ในสัตว์ชั้นต่ำพวกแรก ๆ พวกฟองน้ำในไฟลัมพอร์เฟอร่า ไฮดรา แมงกะพรุนในไฟลัมซีเลนเทอรอลา ยังไม่มีอวัยวะหายใจ ร่างกายไม่หนามากนัก มีการแลกเปลี่ยนโดยตรงระหว่างน้ำกับเซลล์

สัตว์ที่สูงขึ้นมา มีร่างกายใหญ่ขึ้น การแลกเปลี่ยนแก๊สต้องผ่านเนื้อเยื่อหลายชั้น สัตว์ในไฟลัมแพลททีเฮลมินทีส เช่น พลาณาเรีย ไฟลัมแอนเนลิดา เช่น ไส้เดือนดินเริ่มมีผิวหนัง การแลกเปลี่ยนแก๊สจะแพร่ผ่านผิวหนังที่เปียกชื้น

สิ่งมีชีวิตที่มีร่างกายขนาดใหญ่ มีเซลล์จำนวนมาก เซลล์ไม่ได้สัมผัสกับอากาศโดยตรง หรือมีสิ่งปกคลุม เช่น เกล็ด กระดอง ขน เล็บ และเปลือกแข็ง จำเป็นต้องมีกลไกเฉพาะเพื่อนำแก๊สไปแลกเปลี่ยนกับทุกเซลล์



รูปที่ 7.3.2 โครงสร้างสำหรับแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์น้ำชนิดต่าง ๆ gill ของซีปะขาว (ก) ซี่เหงือกของปลา (ข) และ blood gill ของซาลาแมนเดอร์ (ค)

สัตว์น้ำมีการพัฒนาโครงสร้างร่างกายให้เป็นอวัยวะหายใจที่มีประสิทธิภาพหลายรูปแบบ ปลาฉลามมีเหงือก (Gill) แบบง่าย ๆ ยื่นออกไปนอกร่างกาย แม่เพรียง (Nereis Virens) มีขาข้างตัว (Parapodia) เป็นแผ่น เยื่อหุ้มเส้นเลือดฝอยอยู่ข้างตัว เช่นเดียวกับตัวอ่อนของเมย์ไฟล์ (Mayfly) ที่ใช้ทราเคียล กิล (Tracheal gills) ยื่นออกมาจากลำตัว ซาลาแมนเดอร์ (Salamander) มีเหงือกเส้นเลือด (Blood gills) ที่บริเวณหัว ในสัตว์บางอย่างมีเครื่อง

ป้องกันเหงือก ได้แก่ กุ้ง ปลา มีแผงเหงือกที่มีลักษณะเป็นซี่คล้ายหวีซ้อนกันหลายชั้น และมีแผ่นแข็งปิดเหงือก (Operculum) ซึ่งขยับปิดเปิดได้ สัตว์น้ำบางชนิดเพิ่มพื้นที่ของอวัยวะหายใจให้เหมาะสมกับปริมาณออกซิเจนที่มีน้อยในน้ำ เช่น เหงือกที่มีรูปร่างคล้ายกิ่งไม้ (Respiratory Tree) ในหอย ปลาหมึก ปลิงทะเล สัตว์พวกเอไคโนเดอรัมจะใช้น้ำแทนเลือด ดังนั้นในปลิงทะเลจะแลกเปลี่ยนแก๊สโดยน้ำเข้าออกทางช่องทวารร่วม (Cloaca) ที่ติดต่อกับ Respiratory Tree แมลงบางชนิดสามารถดำน้ำได้โดยนำฟองอากาศติดไปกับตัว เช่น แมลงเหนียง (Dytiscus) ในขณะที่แมลงบางชนิดมีขนละเอียด หนา ไม่เปียกน้ำ เป็นตัวเก็บอากาศ เป็นต้น

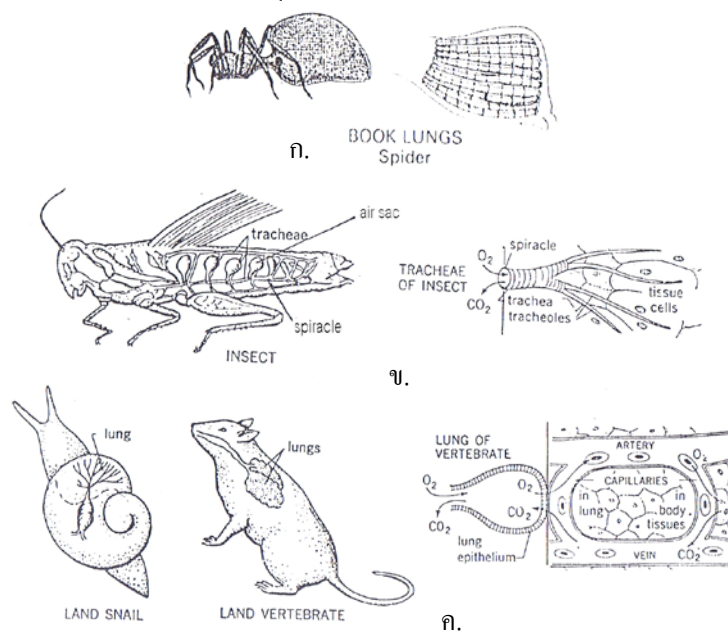
สัตว์ที่มีชีวิตอยู่บนบกจะมีปัญหาเรื่องการสูญเสียความชื้นของอวัยวะแลกเปลี่ยนแก๊ส ดังนั้นถ้ามีอวัยวะแลกเปลี่ยนแก๊สยื่นออกมาจากลำตัว จะต้องมีการป้องกันความแห้ง เช่น แมงมุมมีปอดแผง (Book Lungs) ซึ่งมีลักษณะเป็นถุงลมบาง ๆ วางซ้อนกันเหมือนแผ่นกระดาษหนังสือ ห่อหุ้มด้วยผนังบาง ๆ ยื่นออกมาจากร่างกาย

สัตว์บกส่วนใหญ่ จะมีวิวัฒนาการของอวัยวะแลกเปลี่ยนแก๊สยื่นเข้าไปในลำตัวเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ ซึ่งอาจเป็นท่อเดี่ยว ๆ หรือ เป็นท่อรวมกันเป็นปอด

ระบบท่อลม (Tracheal System) พบในสัตว์พวกอาร์โทรพอด (Arthropoda) พวกแมลงมีรูเปิด (Spiracle) ของท่อลม อยู่ที่ข้างลำตัวในแต่ละปล้อง ต่อจากนั้นท่อลมใหญ่ (Trachea) จะแตกเป็นท่อลมฝอย (Tracheoles) เป็นแขนงย่อย ๆ แทรกไปตามกล้ามเนื้อ และนำแก๊สเข้าและออกจากเซลล์โดยตรง

ระบบปอด (Lung System) เป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับระบบหมุนเวียนของเลือดโดยตรง ซึ่งพบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังประเภทเดียว คือ หอยที่อยู่บนบก (Land Snail) ซึ่งเป็นหอยฝาเดียว ส่วนใหญ่เป็นสัตว์ที่มีกระดูกสันหลัง เริ่มจากปลาบางชนิดจนถึงสัตว์เลื้อยคลานตัวบนบก ปอดมีวิวัฒนาการจากถุงลมธรรมดาที่ห่อหุ้มเส้นเลือดฝอย เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำจนถึงถุงลมที่มีการเพิ่มพื้นที่ผิวให้มากที่สุด

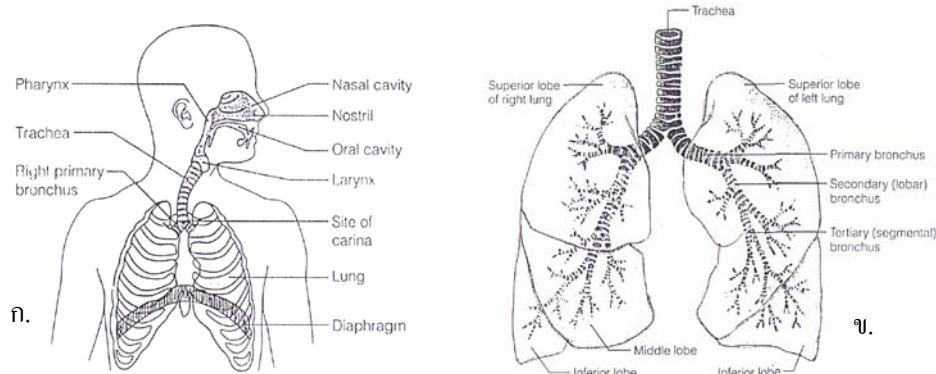
ปลาที่มีถุงลมที่ติดต่อกับหลอดอาหารใช้สำหรับการลอยตัว ซาลาแมนเดอร์มีถุงลมยาว 2 ถุง ต่อมาจากท่อลม กบและสัตว์เลื้อยคลานมีการเพิ่มพื้นที่ผิวภายในปอด นอกเพิ่มพื้นที่ผิวโดยปอดแต่ละข้างมีถุงลมเล็ก ๆ และติดต่อกับถุงเก็บอากาศที่แทรกอยู่ในโพรงกระดูกอีก 9 ถุง ในสัตว์เลื้อยคลานตัวบนบกมีปอด 2 ข้าง เพิ่มพื้นที่ผิวสำหรับแลกเปลี่ยนแก๊สโดยปลายหลอดลมฝอยไปงอกเป็นถุงลมเล็ก ๆ จำนวนมาก



รูปที่ 7.3.3 โครงสร้างสำหรับแลกเปลี่ยนแก๊สของสัตว์บกแบบต่าง ๆ ปอดแผงของแมงมุม (ก) ท่อลมของแมลง (ข) และถุงลมปอดของสัตว์บก (ค)

ระบบหายใจในคน (Respiratory in Man)

โครงสร้างของระบบหายใจ

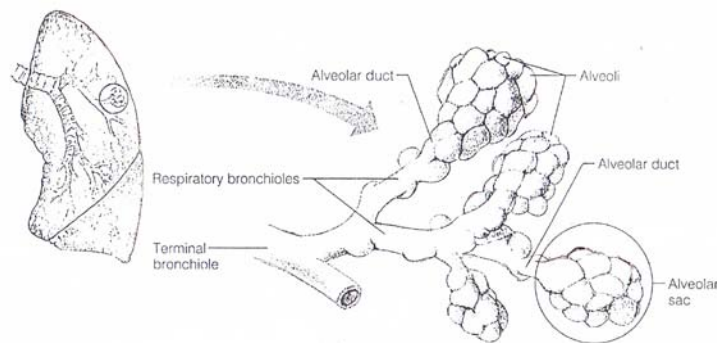


รูปที่ 7.3.4 อวัยวะหายใจของคน (ก) และขนาดของท่อลมต่าง ๆ (ข) (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

โครงสร้างของระบบหายใจของคนแบ่งเป็น 2 ส่วน ตามการทำหน้าที่ ได้แก่

1. ส่วนวิถีการนำอากาศ (Conducting Airway) อากาศเข้าสู่ร่างกายทางรูจมูก (อากาศอาจผ่านเข้าทางปากได้ด้วย) ผ่านหลอดคอ (Pharynx) กล่องเสียง (Larynx) หลอดลมใหญ่ (Trachea) หลอดลมเล็ก หรือ แขนงใหญ่ (Bronchi) และหลอดลมฝอย (Bronchiole) โดยปลายหลอดลมฝอยจะโป่งพองเป็นถุงเล็กที่มีผนังบาง เส้นทางที่อากาศผ่านไปนี้ไม่มีการแลกเปลี่ยนแก๊ส แต่ทำให้อากาศอุ่นและชื้น เซลล์บุผิวของผนังท่อเหล่านี้มีขนละเอียดคอยพัดโบกสิ่งแปลกปลอมในอากาศที่จับตัวกับเมือกให้เคลื่อนสู่ลำคอ เป็นการป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่ปอด สิ่งแปลกปลอมที่มีอนุภาคเกิน 10 ไมครอน จะถูกจับไว้โดยขนในช่องจมูก (Nasopharynx) และกล่องเสียง อนุภาคขนาด 2-10 ไมครอน จะจับกับเมือกที่เคลือบผนังหลอดลมใหญ่และแขนงหลอดลม อนุภาคขนาด 0.3-2 ไมครอน จะถูกจับไว้ด้วยเมือกที่เคลือบผนังท่อถุงลม (Alveolar Duct) และถุงลมเล็ก (Alveoli) ที่แลกเปลี่ยนแก๊ส และอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.3 ไมครอน จะถูกขับออกมากับลมหายใจ

2. ส่วนแลกเปลี่ยนแก๊ส (Respiratory Unit)



รูปที่ 7.3.5 ถุงลมของปอด (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

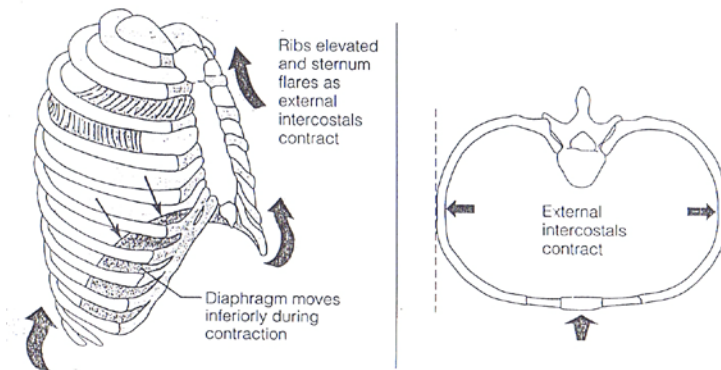
โครงสร้างส่วนแลกเปลี่ยนแก๊ส เริ่มจากปลายหลอดลมฝอย (Terminal Bronchioles) แตกกออกเป็นส่วนเกี่ยวข้องกับการหายใจ (Respiratory Bronchioles) ซึ่งตอนปลายเป็นท่อถุงลม (Alveolar Duct) ซึ่งตอนปลายจะเป็นถุงหุ้มถุงลม (Alveolar Sac) ซึ่งมีถุงลมเล็ก (Alveoli) จำนวนมาก โครงสร้างเหล่านี้มีผนังบางมากยอมให้มีการแลกเปลี่ยนแก๊สในถุงลมเล็กกับแก๊สที่อยู่ในหลอดเลือดฝอยที่อยู่รอบ ๆ ได้

กลไกของการหายใจ (Mechanism of Breathing)

การหายใจโดยปอด ประกอบด้วย การหายใจเข้า (Inspiration) และการหายใจออก (Expiration) ซึ่งอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อหายใจที่ทำให้ทรวงอกและปอดเคลื่อนไหว มีผลให้ความแตกต่างระหว่างความดันบรรยากาศกับความดันภายในถุงลม อากาศจึงเคลื่อนที่เข้าออกปอดได้

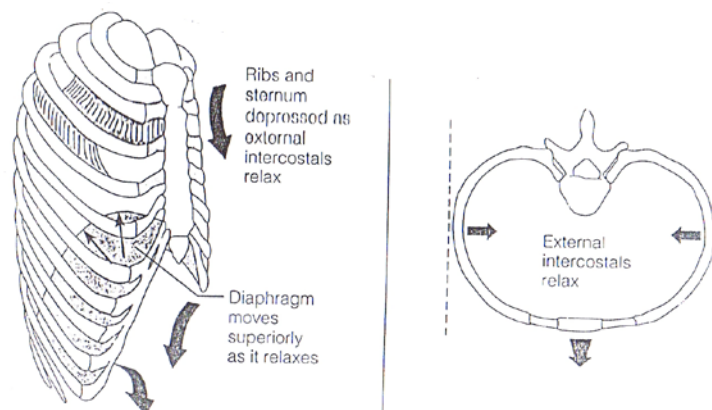
การหายใจเข้า (Inspiration) เป็นกระบวนการที่ต้องใช้พลังงานกล้ามเนื้อกระบังลม และกล้ามเนื้อซี่โครงชั้นนอก (External Intercostal Muscle) ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระแสประสาทที่ส่งมาตามเส้นประสาทเรนิคและอินเตอร์คอस्टัลตามลำดับ เมื่อกล้ามเนื้อกระบังลมหดตัว กระบังลมจะแบนราบ เคลื่อนตัวต่ำลงมาทางช่องท้อง เป็นการเพิ่มความสูงของทรวงอกและช่วยถ่างขยายโครงส่วนล่างออก เป็นการเพิ่มเส้นศูนย์กลางทรวงอกด้านล่าง เมื่อกล้ามเนื้อกระบังลมหดตัว กล้ามเนื้อซี่โครงชั้นนอกจะหดตัวด้วย ช่วยยกกระดูกซี่โครงและกระดูกหน้าอก (Sternum) ขึ้น รวมถึงการถ่างออกไปด้านหน้าและด้านข้าง ทำให้ทรวงอกขยายใหญ่ขึ้น เพิ่มเส้นศูนย์กลางทรวงอกทั้งด้านหน้า-หลัง

และด้านข้าง ซ้าย-ขวา ขณะที่ทรวงอกขยายตัว ปอดก็ขยายตัวตามด้วย ปริมาตรปอดเพิ่มขึ้น ความดันอากาศในปอดจึงลดต่ำกว่าความดันอากาศภายนอก อากาศจากภายนอกจึงเข้าสู่ปอดได้ การหายใจช่วงกระบังลมสามารถนำอากาศเข้าปอดได้ถึงร้อยละ 75 ในขณะที่การหายใจช่วงอก ซึ่งเป็นการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างซี่โครง นำอากาศเข้าปอดได้ร้อยละ 25



รูปที่ 7.3.6 การหายใจเข้า (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

การหายใจออก (Expiration) เป็นกระบวนการที่ไม่ต้องใช้พลังงาน อาศัยการคลายตัวของกล้ามเนื้อกระบังลม และกล้ามเนื้อยี่ระหว่างซี่โครงด้านนอก ทั้ง 2 กรณี ทำให้ปริมาตรช่องอกลดลง ปอดจะหดตัวกลับไปเหมือนเดิม ความดันอากาศในปอดจะสูงขึ้นกว่าความดันอากาศภายนอกประมาณ 1-3 มิลลิเมตรปรอท (ความดันอากาศในปอดจึงถูกดันออกสู่ภายนอก เป็นการหายใจออก จนกระทั่งความดันอากาศในปอด เท่ากับความดันอากาศภายนอก การหายใจออกจึงสิ้นสุดลง)

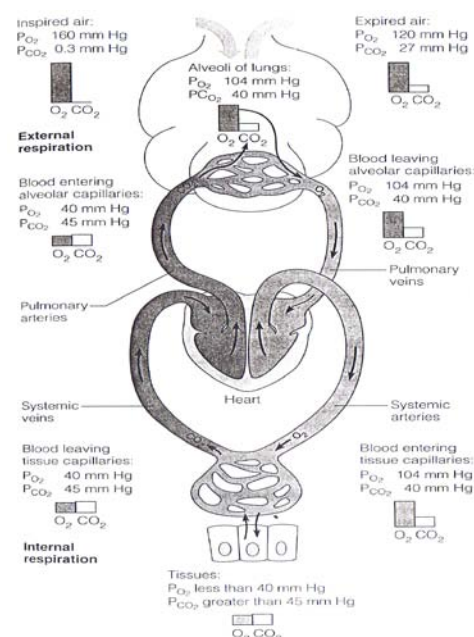


รูปที่ 7.3.7 การหายใจออก (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

ในกรณีที่มีการหายใจที่ไม่ปกติ คือ หายใจเร็วและแรง การหายใจออกจะอาศัย กล้ามเนื้อยัดระหว่างซี่โครงด้านใน (Internal Intercostal Muscle) หดตัวดึงกระดูกซี่โครง เข้าหากัน ทำให้ช่องอกแคบลงและการหดตัวของกล้ามเนื้อหน้าท้อง ได้แก่ Internal Oblique , External Oblique และ Transverse Abdominis ทำให้อวัยวะภายในช่องท้อง ถูกบีบไปดันกระบังลมให้เลื่อนสูงขึ้น เป็นการลดปริมาตรช่องอกในแนวตั้ง และช่วยดัน อากาศในปอดออกสู่ภายนอก

การหายใจเข้าและออกแต่ละครั้งจะมีอากาศประมาณ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เรียกว่า Tidal Air ซึ่งจะเข้าสู่ถุงลมเพียง 350 ลูกบาศก์เซนติเมตร อีก 150 ลูกบาศก์ เซนติเมตร จะติดอยู่ตามท่อทางเดินของลมหายใจ ปอดมีความจุอากาศ (Vital Capacity) ประมาณ 5,500 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อเกิดมาและเริ่มหายใจจะมีอากาศเหลืออยู่ในปอด จำนวนหนึ่งเสมอ เราไม่สามารถไล่อากาศให้ออกจากปอดจนหมดได้ ไม่ว่าจะใช้วิธีการ ใด ๆ อย่างน้อยจะต้องมีอากาศเหลืออยู่ในปอดประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตรเสมอ

การแลกเปลี่ยนแก๊สในร่างกาย (Gas Exchange)



รูปที่ 7.3.8 การแลกเปลี่ยนแก๊สระหว่างเส้นเลือดกับถุงลม และเส้นเลือดกับเซลล์ของเนื้อเยื่อ
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

การแลกเปลี่ยนแก๊สในร่างกาย เป็นการแลกเปลี่ยนของแก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่าง ถุงลมกับเส้นเลือดฝอยในปอด โดยการแพร่ผ่านผนังเซลล์ถุงลมและเส้นเลือด ฝอย ซึ่งเป็นเซลล์ชั้นเดียว ส่วนทิศทางการเคลื่อนที่ของ O_2 และ CO_2 เกิดจากความดันที่ต่างกันระหว่างเลือด กับปอด (Tension Gradients) คือ ใน ปอดจะมี CO_2 เพียงเล็กน้อยเมื่อ เปรียบเทียบกับเลือดดำ (Venous Blood) ที่ไหลกลับจากการเลี้ยงเซลล์ ของร่างกาย เข้าสู่ปอด ซึ่งมีปริมาณ CO_2 มาก ความดันของ CO_2 ในเลือด

จึงสูงกว่าความดัน CO_2 ในถุงลม CO_2 จึงแพร่จากเส้นเลือดฝอยเข้าสู่ถุงลม

ในทางกลับกัน ในถุงลมปกติจะมี O_2 มากกว่าเลือดดำ (Venous Blood) ของเส้นเลือดฝอย ความดันของ O_2 ในถุงลมจึงสูงกว่าในเส้นเลือด ทำให้ O_2 แพร่จากถุงลมเข้าสู่เส้นเลือด

ส่วนการแลกเปลี่ยนแก๊สที่เนื้อเยื่อของร่างกาย เกิดจากเซลล์มีการใช้ O_2 ในการสันดาปอาหารตลอดเวลา ความดันของ O_2 ในโปรโตพลาสซึมของเซลล์จึงต่ำกว่าในเลือดแดง (Arterial Blood) ที่มาจากปอด O_2 จากเส้นเลือดฝอยจึงแพร่เข้าสู่เซลล์ ในขณะเดียวกันเซลล์สร้าง CO_2 จากการสันดาปอาหารเพิ่มขึ้น จึงมีปริมาณสูงกว่าในเส้นเลือดฝอย CO_2 จึงแพร่จากเซลล์เข้าสู่เส้นเลือด ทำให้กลายเป็นเลือดที่มี CO_2 สูงไหลกลับไปปอด

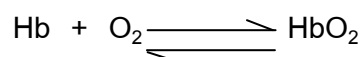
การลำเลียงแก๊ส (Gas Transport)

การลำเลียงออกซิเจน (Oxygen Transport)

การขนส่งออกซิเจนจากปอดไปยังเนื้อเยื่อ เป็นการขนส่งในระยะทางไกลและขนส่งเป็นปริมาณมาก เพื่อให้เพียงพอที่เซลล์จะนำไปใช้โดยอาศัยไปกับการไหลของเลือด ซึ่งมีวิธีการขนส่ง 2 รูปแบบ คือ

1. การละลายในเลือด ออกซิเจนละลายในน้ำเลือดประมาณร้อยละ 3 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความดันย่อยของออกซิเจนในเลือด คือ ที่ความดัน 1 มิลลิเมตรปรอท ออกซิเจนจะละลายในเลือดได้ 0.003 มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตรของเลือด ดังนั้นในเลือดแดงมีความดันออกซิเจน 100 มิลลิเมตรปรอท จะมีออกซิเจนละลายอยู่ 0.3 มิลลิลิตร/100 มิลลิลิตรของเลือด การขนส่งโดยวิธีนี้จึงทำได้น้อยมาก ไม่เพียงพอกับความต้องการของเซลล์

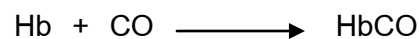
2. การจับกับฮีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง ออกซิเจนรวมตัวกับฮีโมโกลบินเป็นออกซีฮีโมโกลบิน (Oxyhemoglobin)



เมื่อ HbO_2 ลำเลียงมาที่เนื้อเยื่อของร่างกายโดยอยู่ในเส้นเลือดฝอยที่สัมผัสกับเซลล์ จะเกิดปฏิกิริยากลับไปเป็น $\text{Hb} + \text{O}_2$ ซึ่งจะปล่อย O_2 ให้แก่เนื้อเยื่อ การขนส่งโดยวิธีนี้ขนส่งได้ในปริมาณมากเนื่องจากฮีโมโกลบิน 1 กรัม สามารถจับออกซิเจนได้ 1.34 มิลลิลิตร

ในเลือด 100 มิลลิลิตร มีฮีโมโกลบินอยู่ 15 กรัม จึงสามารถจับออกซิเจนได้ $1.34 \times 15 = 20.10$ มิลลิลิตร ฮีโมโกลบิน 1 หน่วย ประกอบด้วย ฮีม (Heme) 4 กลุ่ม แต่ละฮีมประกอบด้วย เหล็ก 1 อะตอม ซึ่งสามารถจับกับออกซิเจนได้ 1 โมเลกุล ดังนั้น ฮีโมโกลบิน 1 โมเลกุล จึงจับกับออกซิเจนได้ 4 โมเลกุล

ฮีโมโกลบินสามารถรวมตัวกับคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ดีกว่า O_2 ได้สารประกอบ คาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxyhemoglobin) ซึ่งจะไม่ปล่อย Hb ให้เป็นอิสระ



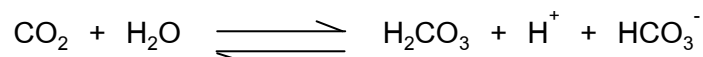
ดังนั้นในกรณีที่มี CO ปริมาณมากจะขัดขวางการลำเลียง O_2 ทำให้ O_2 ลดปริมาณ ลงจนเป็นอันตรายต่อเซลล์ได้

การลำเลียงคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide Transport)

คาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์ เป็นผลมาจากการใช้ออกซิเจนในกระบวนการ เมแทบอลิซึม CO_2 จะแพร่ออกจากเซลล์ ผ่านผนังหลอดเลือดเข้าสู่เส้นเลือดดำ ลำเลียงไปที่ปอดเพื่อขับออกนอกร่างกาย มีการลำเลียงได้ 3 วิธี

1. การละลายในเลือด โดย CO_2 จะละลายตัวในน้ำเลือด ซึ่งมีปริมาณน้อยประมาณ ร้อยละ 7 เท่านั้น

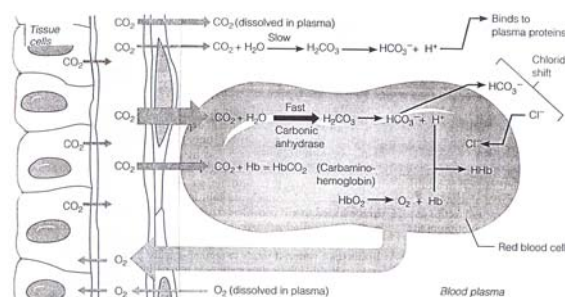
2. ลำเลียงในรูปของคาร์บอเนต การลำเลียงวิธีนี้มีปริมาณมาก ประมาณร้อยละ 63 ของ CO_2 โดย CO_2 จะรวมกับ H_2O ได้กรดคาร์บอนิก (H_2CO_3) และแตกตัวให้ ไฮโดรเจนไอออน กับ ไบคาร์บอเนตไอออน ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในเม็ดเลือดแดง โดยมี Carbonic Anhydrase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา



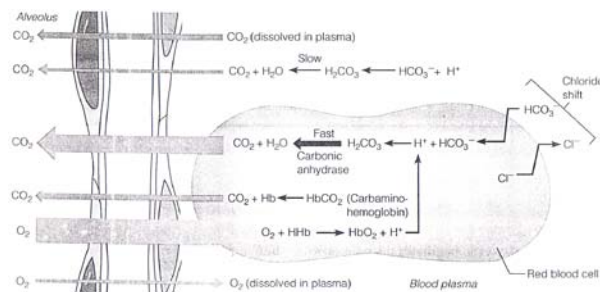
ไฮโดรเจนไอออนจะถูกทำให้เป็นกลาง โดยฮีโมโกลบิน ส่วนไบคาร์บอเนตจะแพร่ ออกสู่น้ำเลือด โดยมีคลอไรด์ซึ่งมีประจุลบในน้ำเลือดแพร่เข้าไปแทนที่ เพื่อรักษาดุลไฟฟ้า ภายในเซลล์เม็ดเลือดแดง เรียกว่า คลอไรด์ ชิฟท์ (Chloride Shift) ไบคาร์บอเนตจะถูก ลำเลียงมาที่ถุงลมและแพร่กลับเข้าสู่เม็ดเลือดแดง พร้อมกับ Chloride Shift ออกจากเม็ด

เลือดแดง ไบคาร์บอเนตเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ได้ CO_2 กับ H_2O แล้ว CO_2 แพร่ออกสู่น้ำเลือดเข้าสู่ถุงลม

3. ลำเลียงในรูปของคาร์บาไมโนฮีโมโกลบิน (Carbaminohemoglobin) CO_2 ประมาณร้อยละ 30 จากน้ำเลือด จะเข้าสู่เม็ดเลือดแดงทำปฏิกิริยากับดีออกซีฮีโมโกลบิน ได้สารประกอบคาร์บาไมโนฮีโมโกลบิน (HbCO_2) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อฮีโมโกลบินปล่อยออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อจะช่วยให้รับ CO_2 ได้มากขึ้น เมื่อ HbCO_2 ลำเลียงมาที่ถุงลม จะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็น $\text{Hb} + \text{CO}_2$ ซึ่งจะปล่อย CO_2 เข้าสู่ถุงลม



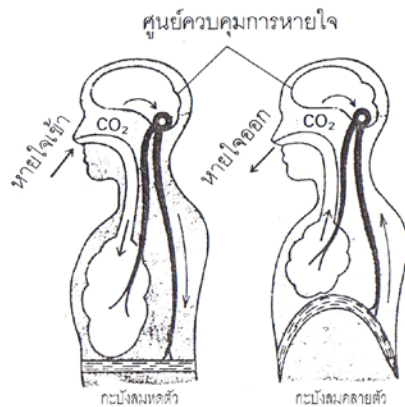
ก.



ข.

รูปที่ 7.3.9 การขนส่งคาร์บอนไดออกไซด์ เม็ดเลือดแดงปลดปล่อยออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อและรับคาร์บอนไดออกไซด์จากเนื้อเยื่อ (ก) เม็ดเลือดแดงปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ให้กับถุงลมและรับออกซิเจนมาจากถุงลม (ข) (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

การควบคุมการหายใจ (Control of Breathing)



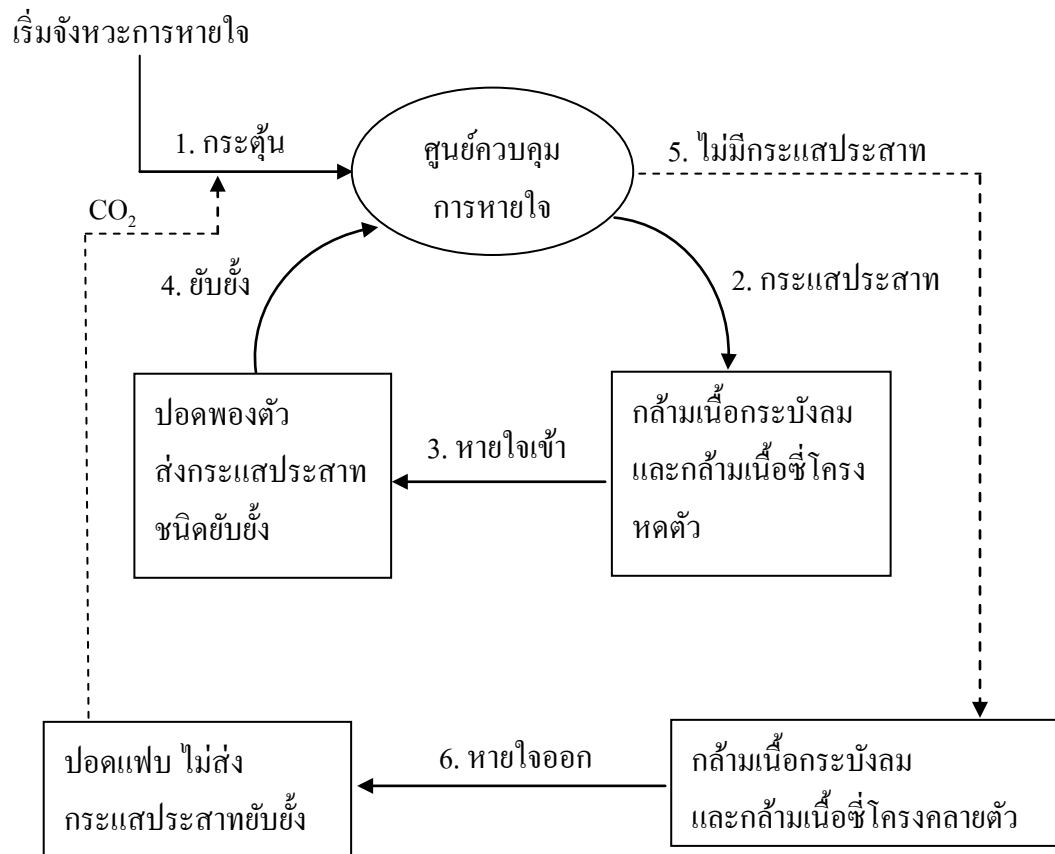
รูปที่ 7.3.10 การควบคุมการหายใจ

ศูนย์ควบคุมการหายใจอยู่ที่สมองส่วนเมดัลลา ออบลองกาตา (Medulla Oblongata) ซึ่งตอบสนอง การกระตุ้น 2 ประการ คือ การกระตุ้นทางระบบ ประสาทและปริมาณ CO_2 ในเส้นเลือด เมื่อเลือดที่มี ปริมาณ CO_2 มาที่สมองจะกระตุ้น Medulla Oblongata ให้ส่งกระแสประสาทไปตามเส้นประสาท เรนิด ไป กระตุ้นกล้ามเนื้อยึดระหว่างซี่โครงและเส้นประสาท ฟรีนิต ไปกระตุ้นกระบังลมให้ทำงาน เมื่อกระบังลม ถูกกระตุ้น กล้ามเนื้อจะหดตัว ช่องอกกว้างขึ้น กุณ วมจะขยายใหญ่ขึ้น เป็นช่วงของการหายใจเข้า

การขยายของถุงลมทำให้กระแสประสาทไปกระตุ้นเส้นประสาทอีกชุดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่ พิเศษ โดยมีจุดเริ่มต้นจากถุงลมนำกระแสประสาทไปที่ศูนย์ควบคุมการหายใจ ให้ลดการ กระตุ้นและหยุดส่งกระแสประสาทไปที่กล้ามเนื้อ กระบังลม และกล้ามเนื้อยึดระหว่าง ซี่โครง เป็นการป้องกันการหายใจเข้ามากเกินไป กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อยึด ระหว่างซี่โครงจะคลายตัว ช่องอกแฟบลง กุณวมในปอดลดขนาดลงมาเท่าเดิม ทำให้เกิด การหายใจออก

เมื่อถุงลมหดตัว ทำให้ปลายประสาทที่ถุงลมไม่ถูกกระตุ้น จึงไม่มีกระแสประสาท ส่งไปที่ศูนย์ควบคุมการหายใจอีก ศูนย์นี้ก็จะไม่ถูกห้ามให้การกระตุ้นจากปริมาณ CO_2

ในเลือดอีก ดังนั้นเมื่อเลือดที่มี CO_2 สูงมาที่สมองก็จะกระตุ้นให้มีการส่งกระแสประสาทไปยังกระบังลมและซีโครง เกิดการหายใจเข้าในรอบใหม่ เป็นจังหวะเช่นนี้เรื่อยไป



รูปที่ 7.3.11 แผนภาพแสดงการควบคุมการหายใจ

ดังนั้นพื้นฐานการหายใจ จึงขึ้นอยู่กับตัวกระตุ้น 2 ชนิด คือ การหายใจเข้าเป็นการกระตุ้นทางเคมี เนื่องจากเลือดมีปริมาณ CO_2 สูง กระตุ้นให้มีการส่งกระแสประสาทไปทำให้กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อซีโครงหดตัว ส่วนการหายใจออกเป็นการกระตุ้นโดยระบบประสาท เนื่องจากมีการส่งกระแสประสาทจากถุงลมไปยังยับยั้งการส่งกระแสประสาท ทำให้กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อซีโครงคลายตัว

การหายใจระดับเซลล์ (Cellular Respiration)

อาหารที่ผ่านกระบวนการย่อยจนได้โมเลกุลของสารอาหารที่ดูดซึมเข้าสู่เซลล์แล้ว บางส่วนจะเข้าสู่กระบวนการสลายโมเลกุล เพื่อปลดปล่อยพลังงานศักย์ที่สะสมออกมาให้ เซลล์นำไปใช้ พลังงานนี้เก็บไว้ในสารเคมีที่มีพันธะพลังงานสูง (High Energy Bond) คือ สารอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (ATP)

เมื่อเซลล์ต้องการพลังงาน จะมีการสลาย ATP ในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งมีน้ำเป็นตัวสลายพันธะและมีเอนไซม์ ATPase เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเคมี

พลังงานจากการสลาย ATP เซลล์นำไปใช้ทำงาน 4 ประเภท

1. การรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าในระบบประสาทอยู่ในรูปของกระแสไฟฟ้า (Electrical Work)
2. เพื่อการเคลื่อนไหวในระบบกล้ามเนื้อและกระดูกในรูปของงานกล (Mechanism Work)
3. เพื่อรักษาสมดุลของน้ำภายในเซลล์ คือ รักษาระดับความดันและปริมาณน้ำภายในเซลล์ในรูปของออสโมซิส (Osmosis Work)
4. เพื่อการสังเคราะห์สาร คือ นำโมเลกุลของสารที่ดูดซึมมาสร้างเป็นสารชนิดใหม่ที่ร่างกายต้องการเป็นงานเพื่อการสังเคราะห์สาร (Biosynthetic Work)

ในเซลล์โปรคาริโอตไม่มีไมโทคอนเดรีย การสลายอาหารอาจเกิดภายในไซโตพลาสซึม บางชนิดเกิดที่เยื่อเซลล์ด้านใน ส่วนในพวกเซลล์ยูคาริโอตการสลายโมเลกุลของสารอาหารจะเกิดขึ้นสองส่วน คือ ส่วนที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดในไซโตพลาสซึม ส่วนที่ใช้ออกซิเจนจะเกิดในไมโทคอนเดรีย

การสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Respiration)

สารอาหารที่เซลล์ใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก คือ กลูโคส ส่วนไขมันและโปรตีนเป็นแหล่งพลังงานสำรองอันดับ 1 และ 2 ตามลำดับ

การสลายกลูโคส

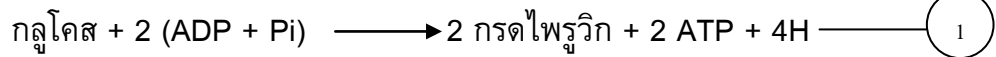
การสลายกลูโคส แบ่งเป็น 4 ระยะ

1. ไกลโคลิซิส (Glycolysis) เป็นกระบวนการสลายน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม (C_6) ให้เป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (C_3) คือ กรดไพรูวิก (Pyruvic Acid) ซึ่งมีการ

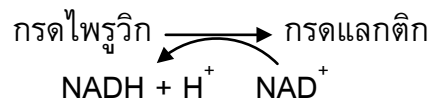
สร้าง ATP 2 โมเลกุล กับ ไฮโดรเจน 4 อะตอม ไฮโดรเจนจะเข้ารวมกับสารตัวรับไฮโดรเจน เพื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อไป

สารตัวรับไฮโดรเจนในช่วงนี้ คือ Nicotinamide Adenosine Dinucleotide (NAD^+) เมื่อรับไฮโดรเจนแล้วจะกลายเป็นรีดิวส์ NAD คือ $\text{NADH} + \text{H}^+$

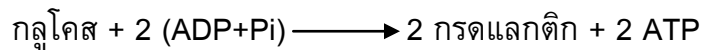
สรุปสมการที่เกิดในไกลโคลิซิส



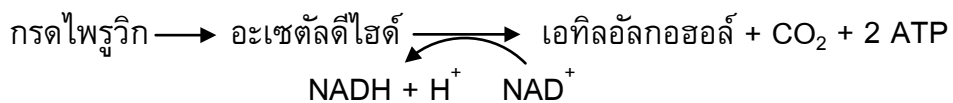
ถ้าไม่มีการใช้ออกซิเจนในขั้นต่อไป กรดไพรูวิกจะเปลี่ยนไปโดย 4H จะถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยาในสัตว์กรดไพรูวิกจะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลกติก (lactic acid)



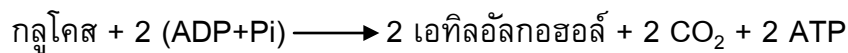
เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ จึงสรุปสมการเป็น ดังนี้

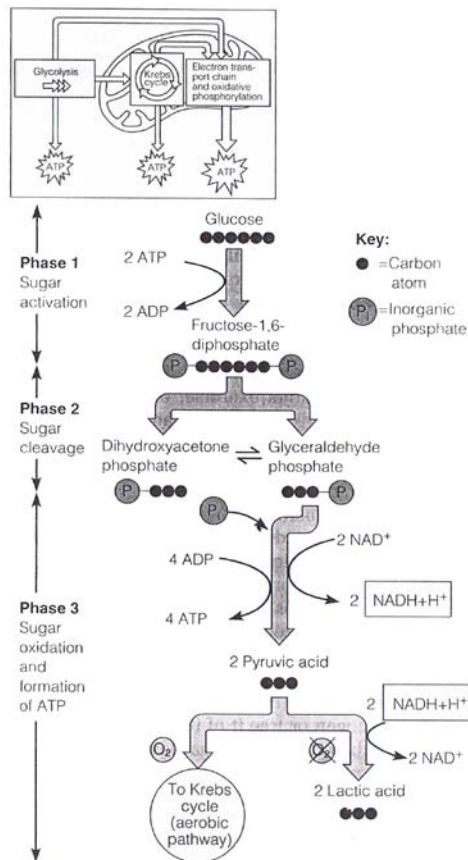


สำหรับในยีสต์กรดไพรูวิกจะเปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์



เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ จึงสรุปสมการเป็น ดังนี้



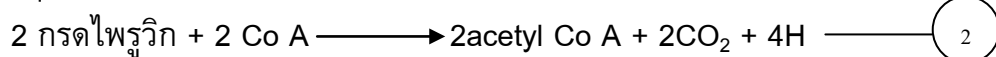


รูปที่ 7.3.12 แผนภาพปฏิกิริยาการสลายกลูโคส (Glycolysis) (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

2. การสร้างอะเซทิลโคเอนไซม์เอ (Acetyl Co A)

เมื่อมีออกซิเจน กรดไพรูวิกแต่ละโมเลกุลจะทำปฏิกิริยากับสารโคเอนไซม์ เอ (Coenzyme A ; Co A) ได้สารอะเซทิลโคเอนไซม์ เอ (acetyl Coenzyme A ; acetyl Co A) CO₂ และ 2H⁺ ซึ่งจะมี NAD⁺ มารับ 2H⁺ ขบวนการนี้เกิดในไมโทคอนเดรีย acetyl Co A จะเข้าสู่กระบวนการขั้นต่อไป

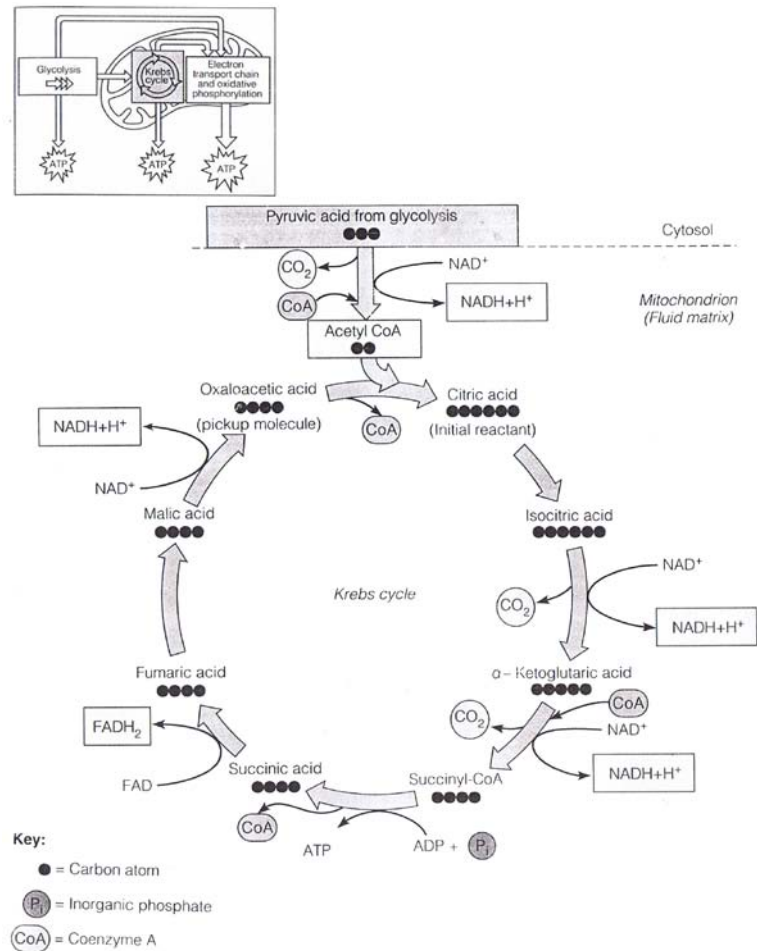
สรุปสมการในขั้นนี้ คือ



3. วัฏจักรเครบส์ (Krebs'cycle) หรือวัฏจักรของกรดซิตริก (Citric Acid Cycle)

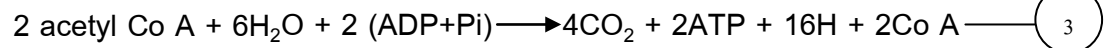
การเปลี่ยนแปลงของสารเกิดเป็นวงจร โดยเริ่มจาก acetyl Co A (สาร C₂) รวมกับกรดออกซาลออะเซติก (Oxaloacetic acid; C₄) ได้เป็นกรดซิตริก (Citric Acid; C₆) แล้วมีการเปลี่ยนแปลงต่อไปทำให้ลดจำนวนคาร์บอนอะตอมจาก C₆ → C₅ → C₄ โดย

จำนวนคาร์บอนที่หลุดออกไปจะนำไปสร้างเป็น CO_2 ในวงจรนี้จะมี ATP และ H เกิดขึ้นด้วย ดังแผนภาพ



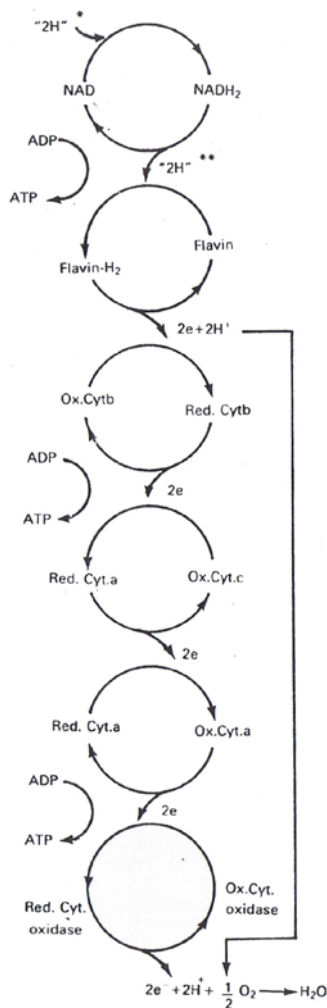
รูปที่ 7.3.13 วงจรการกรดซิตริก (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

สรุปสมการในวัฏจักรเครบส์ ได้ดังนี้



3

4. การถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron Transport)



หมายเหตุ

Red. = reduced
Ox. = oxidized
Cyt. = cytochrome

* ถ้า 2H เข้าที่นี่จะได้ 3ATP เมื่อสิ้นสุดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

** ถ้า 2H เข้าที่นี่ จะได้เพียง 2ATP เมื่อสิ้นสุดการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

รูปที่ 7.3.14 การถ่ายทอดอิเล็กตรอน

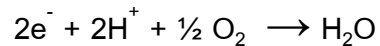
(จาก John W. Kimball, 1965)

ไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นทั้งในไกลโคไลซิส และวัฏจักรเครบส์จะมีสารที่เป็นตัวรับไฮโดรเจนและถ่ายทอดอิเล็กตรอนต่อกันเป็นทอด ๆ ดังนี้

ในขณะที่มีการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในช่วงไซโตโครม จะมีการปล่อยพลังงานออกมาสร้างเป็น ATP ได้ 2 โมเลกุล

NAD⁺ เป็นสารตัวแรกที่รับ 2H แล้วได้เป็น NADH + H⁺ (reduced NAD) แล้วส่ง 2H ให้กับฟลาวิน (Flavin) ซึ่งจะกลายเป็น Flavin-H₂ (reduced Flavin) พร้อมกับการสร้าง ATP 1 โมเลกุล ต่อมาไฮโดรเจนจะหลุดออกจากฟลาวินในสภาพของโปรตอน ไฮโดรเจน (2H⁺) กับ 2e⁻ แล้ว 2e⁻ จะถ่ายทอดต่อไปโดยมีสารในระบบไซโตโครม (Cytochrome) เป็นตัวรับ

ไซโตโครมเป็นสารพวกโปรตีน เป็นองค์ประกอบในเมมเบรนเลือดแดง ในระบบนี้จะเริ่มตั้งแต่ Cytochrome b เป็นตัวรับชนิดแรก แล้วส่งต่อให้ Cytochrome c และ Cytochrome a ตามลำดับจนสุดท้าย Reduced Cytochrome a จะปล่อย 2e⁻ ให้เป็นอิสระ แล้ว 2H⁺, 2e⁻ จะเข้ารวมกับออกซิเจน ซึ่งมาจากลมหายใจเข้าได้เป็นน้ำ (H₂O)



ดังนั้น จากการรับไฮโดรเจนตั้งแต่ NAD⁺ จนสิ้นสุดการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจึงได้ ATP ครั้งละ 3 โมเลกุล

ในการสลายกลูโคส 1 โมเลกุล พลังงานที่ได้รับในขั้นตอนของกระบวนการการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เนื้อเยื่อต่างชนิดกันอาจได้พลังงานต่างกัน เนื่องจากมีระบบขนส่งไฮโดรเจนของ $\text{NADH} + \text{H}^+$ ที่เกิดในระยะไกลโคลิซิสต่างกัน คือ

ในเซลล์กล้ามเนื้อ เซลล์ประสาท จะมีระบบขนส่งที่เรียกว่า Glycerol Phosphate Shuttle โดยไฮโดรเจนจากไซโตพลาสซึมจะส่งเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย โดยมี FAD เป็นตัวรับ จึงได้รับพลังงานจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 32ATP ต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส ดังนั้น ATP สุทธิตลอดขบวนการในเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ประสาทจึงได้เพียง 36ATP

ส่วนในเซลล์ตับและเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีระบบขนส่งอิเล็กตรอนที่เรียกว่า Malate-Aspartate Shuttle โดยไฮโดรเจนจากไซโตพลาสซึมจะเข้าสู่ไมโทคอนเดรีย โดยมี NAD^+ เป็นตัวรับ จึงได้รับพลังงานจากการถ่ายทอดอิเล็กตรอน 34ATP ต่อ 1 โมเลกุลของกลูโคส ดังนั้น ATP สุทธิตลอดขบวนการในเซลล์ตับและเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจึงได้ถึง 38ATP

การสลายไขมัน

ไขมันจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็กได้กลีเซอรอลและกรดไขมัน

การสลายกลีเซอรอลให้ได้พลังงาน เริ่มจากกลีเซอรอลจะเปลี่ยนเป็นสารฟอสโฟกลีเซอรัลดีไฮด์ (Phosphoglyceraldehyde ; PGAL) แล้วเข้าสู่กระบวนการไกลโคลิซิส วัฏจักรเครบส์ และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจนเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ คือ ได้ CO_2 และ H_2O

การสลายกรดไขมัน แบ่งเป็น 2 ระยะ

ระยะแรก กรดไขมันจะถูกสลายโดยผ่านกระบวนการเบตาออกซิเดชัน ทำให้โมเลกุลของกรดไขมันเล็กลง โดยมีจำนวนคาร์บอนอะตอมลดลงครึ่งละ 2 อะตอม การเกิดเบตาออกซิเดชันแต่ละครั้งจะได้ 2H ที่เข้าสู่ FAD และ NAD ทำให้ได้ 5ATP

ระยะที่ 2 กรดไขมันที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันจะสร้างเป็นสารอะเซติลโค เอ และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์

ดังนั้น ถ้าสลายกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก จะเกิดเบตา-ออกซิเดชันหลายครั้ง จำนวน ATP ก็จะมีมากขึ้นด้วย

ตัวอย่าง การสลายกรดสเตียริก (Stearic Acid)

กรดสเตียริก 1 โมเลกุล มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม จะได้พลังงานทั้งหมดจากกระบวนการเบตาออกซิเดชัน 8 ครั้ง จะได้ $8 \times 2H = 16H$ ซึ่งจะได้ ATP = $8 \times 5ATP = 40ATP$ แต่ใช้ไป 1ATP เพื่อการกระตุ้นปฏิกิริยาในตอนเริ่มต้น จึงได้ ATP ในช่วงนี้ 39ATP

กรดสเตียริก เมื่อเกิดเบตาออกซิเดชันแล้วจะได้กรดไขมันที่มีคาร์บอน 2 อะตอม 9 โมเลกุล ซึ่งจะสร้างอะเซทิลโค เอ แต่ละโมเลกุลเมื่อสลายจนสมบูรณ์จะได้ ATP 12 โมเลกุล ดังนั้น กรดสเตียริก 1 โมเลกุล จะสร้าง ATP ในช่วงวัฏจักรเครบส์และการถ่ายทอดอิเล็กตรอนได้ $9 \times 12ATP = 108ATP$

เมื่อรวมปฏิกิริยาระยะแรกและระยะที่สอง จึงได้ ATP สุทธิเท่ากับ $39ATP + 108ATP = 147ATP$

การสลายโปรตีน

โปรตีนเมื่อถูกย่อยในทางเดินอาหาร คือ กระเพาะและลำไส้เล็กจนได้กรดอะมิโน และดูดซึมเข้าสู่เซลล์ การสลายกรดอะมิโนเพื่อให้ได้พลังงานเกิดได้ 2 วิธี

1. การดึงแอมโมเนียออกจากโมเลกุล (Deamination) โดยทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ทำให้ได้ NH_3 กับกรดคีโต กรดคีโตจะเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก หรือ อะเซทิล-โค เอ และเข้าสู่วัฏจักรเครบส์

2. การย้ายหมู่เอมีน (Transamination) โดยการเปลี่ยนที่ของ NH_2 ของกรดอะมิโนโมเลกุลหนึ่งไปยังกรดคีโตของอีกโมเลกุลหนึ่ง โดยวิธีนี้กรดคีโตจะสลายต่อไปเหมือนกับพวกคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันก็ได้

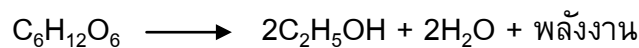
เนื่องจากกรดอะมิโนอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ได้ 3 วิธี คือ เปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก เป็น acetyl Co A และเป็นกรดคีโตชนิดที่เข้าวัฏจักรเครบส์โดยตรง พลังงานที่ได้จากการสลายโปรตีนจึงขึ้นอยู่กับชนิดของกรดอะมิโนของโปรตีนแต่ละชนิด

การสลายโมเลกุลของสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Respiration)

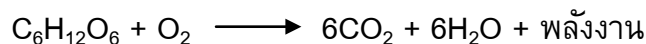
เซลล์บางชนิดมีการหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจน เช่น แบคทีเรียบางชนิด เมล็ดพืช และ เซลล์กล้ามเนื้อลาย เป็นต้น การหายใจโดยไม่ใช้ออกซิเจนเป็นการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ จึงได้พลังงานน้อย

การหายใจของยีสต์

ในน้ำตาลที่อยู่ในภาชนะที่ปิดสนิทไม่มีอากาศ ยีสต์จะเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็น อัลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า การหมัก (Fermentation) ปฏิกริยาเกิดขึ้น ดังนี้



ถ้าอากาศผ่านเข้าสู่ภาชนะที่ใช้หมักได้ ยีสต์จะหายใจโดยใช้ออกซิเจน ทำให้ได้น้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์



การหายใจของกล้ามเนื้อลาย

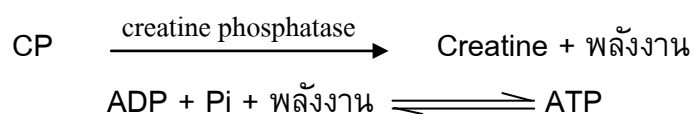
การทำงานของกล้ามเนื้อลายเป็นการหดตัว (Contraction) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็น 2 ระยะ คือ ระยะไม่ใช้ออกซิเจนกับระยะใช้ออกซิเจน

1. ระยะไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Phase)

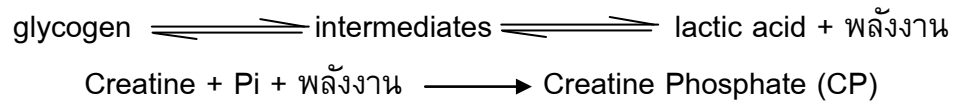
เมื่อกกล้ามเนื้อถูกกระตุ้น ATP จะถูกไฮโดรไลส์ โดยมี ATPase และ Ca^{+} เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ได้เป็น ADP และ Pi ได้พลังงานไปใช้ในการหดตัว



ADP จะสร้างกลับไปเป็น ATP ใหม่ โดยการสลาย Creatine Phosphate (CP) ซึ่งเป็นสารที่สะสมพลังงานในกล้ามเนื้อ



Creatine จะสร้างกลับไปเป็น Creatine Phosphate โดยใช้พลังงานจากการสลายไกลโคเจน ซึ่งจะได้ กรดแลคติก และพลังงาน

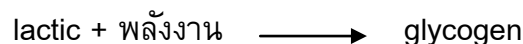


2. ระยะใช้ออกซิเจน (Aerobic Phase)

เป็นระยะที่ต้องใช้ออกซิเจนมาสลายกรดแลคติก โดย 1/5 ของกรดแลคติก จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้พลังงาน CO_2 และน้ำ



กรดแลคติกที่เหลือ (4/5) จะเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจน ซึ่งจะนำไปเก็บที่ตับ ส่วน CO_2 และน้ำจะไปกำจัดออกที่ปอด สารทั้งหมดนี้ลำเลียงไปโดยทางเลือด



กรดแลคติก ถ้าสะสมอยู่ที่กล้ามเนื้อจะทำให้กล้ามเนื้อล้า (Fatigue) ซึ่งต้องนำออกซิเจนมาสลายให้หมดไป

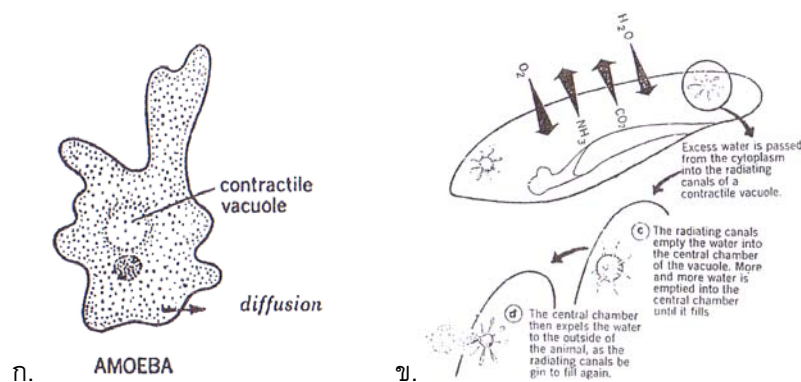
7.4 ระบบขับถ่ายและการรักษาสสมดุลของร่างกาย

(The Excretory and Homeostasis System)

กระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ ทำให้เกิดของเสีย ได้แก่ CO_2 NH_3 ยูเรีย กรดยูริก เกลือต่าง ๆ รวมทั้งน้ำและความร้อน สารเหล่านี้จำเป็นต้องกำจัดออกจากร่างกาย ด้วยกระบวนการขับถ่ายของเสีย ซึ่งมีความแตกต่างกันในสิ่งมีชีวิต ตั้งแต่พวกเซลล์เดียวจนถึงสัตว์ชั้นสูง

การขับถ่ายของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว พวกโปรโตซัว เช่น อะมีบา พารามีเซียม มีการกำจัดของเสีย CO_2 และ NH_3 โดยการแพร่ผ่านเยื่อเซลล์โดยตรง เมื่อของเสียภายในเซลล์มีความเข้มข้นมากกว่าน้ำรอบเซลล์ สำหรับน้ำส่วนเกินที่แพร่เข้าสู่เซลล์ตลอดเวลาจะถูกเก็บไว้ใน Contractile Vacuule โดยน้ำจากไซโตพลาสซึมจะผ่านเข้าสู่ทอรัสมิ (Radiating Canals) เข้าสู่แอ่งตรงกลาง (Central Chamber) เมื่อมีน้ำมาก แวคิวโอลจะเคลื่อนไปสัมผัสกับเยื่อเซลล์ พร้อมกับปล่อยน้ำออกไป ทำให้ทอรัสมิและแอ่งรับน้ำว่างเปล่า สามารถรับน้ำได้ใหม่ตลอดเวลา ทำให้รักษาสสมดุลของน้ำภายในเซลล์ได้ตลอดไป

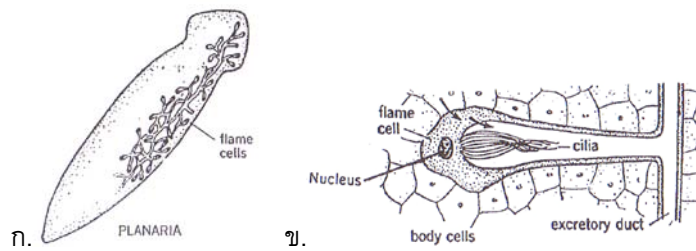


รูปที่ 7.4.1 การกำจัดของเสียและน้ำส่วนเกินของโปรโตซัว อะมีบา (ก) และพารามีเซียม (ข)

การขับถ่ายของสัตว์

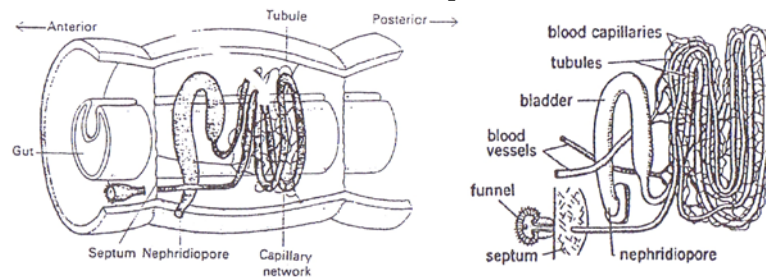
1. การขับถ่ายของฟองน้ำและซีเลนเตอเรต สัตว์พวกฟองน้ำและซีเลนเตอเรตมีเซลล์สัมผัสกับน้ำโดยตรง การขับถ่ายสามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์สู่น้ำรอบเซลล์ หรือแพร่เข้าไปสะสมในช่องอาหาร (Gastrovascular) แล้วขับออกมากับน้ำทางปาก

2. การขับถ่ายของหนอนตัวแบน (Platyhelminthes) หนอนตัวแบนพวกพลานาเรียมีเซลล์พิเศษ คือ แฟลเมเซลล์ (Flame Cell) ทำหน้าที่ขับถ่าย ลักษณะเป็นเซลล์ยาว ลักษณะเป็นท่อ ภายในมี Cilia เซลล์นี้จะติดต่อกับท่อขับถ่ายที่มีช่องเปิดออกข้างลำตัว ของเสียเป็นน้ำส่วนเกิน ส่วนของเสียที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนจะถูกขับออกทางผิวหนังในรูปสารประกอบแอมโมเนีย



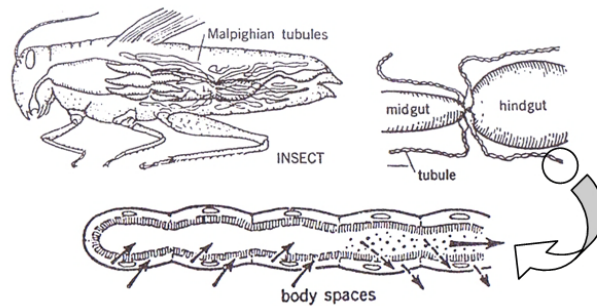
รูปที่ 7.4.2 พลาเนเรีย (ก) และอวัยวะขับถ่าย (Flame Cell) (ข)

3. การขับถ่ายของหนอนปล้อง (Annelid) หนอนปล้องพวกไส้เดือนดินมีอวัยวะขับถ่ายที่เจริญมาก คือ เนฟริเดียม (Nephridium) ปล้องละ 1 คู่ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วย กรวยรับของเสีย (Funnel) กับท่อลำเลียง (Tubules) ซึ่งอยู่ต่างปล้องกัน ที่ท่อลำเลียงมีเส้นเลือดฝอย (Blood Capillaries) พั่นอยู่ เพื่อดูดน้ำและของเหลวที่มีประโยชน์กลับเข้าสู่เส้นเลือด ส่วนของเสียพวกแอมโมเนียและยูเรียจะไปรวมกันที่ถุงปัสสาวะ (Bladder) ก่อนจะขับออกนอกร่างกายที่รูเปิด (Nephridiopore) ของผนังลำตัว



รูปที่ 7.4.3 เนฟริเดียมของไส้เดือนดิน

4. การขับถ่ายของอาร์โทรพอด สัตว์อาร์โทรพอดพวกแมลง มีอวัยวะขับถ่าย คือ ท่อมัลพิเจียน (Malpighian Tubule) ซึ่งเป็นท่อขนาดเล็กแทรกอยู่ในเนื้อเยื่อลำตัว เพื่อดูดซึมของเสียที่เกิดจากสารประกอบไนโตรเจน น้ำตาล กรดอะมิโน และเกลือต่าง ๆ ท่อลำเลียงนี้มีปลายเปิดเข้าไปในทางเดินอาหาร ของเสียจะถูกลำเลียงไปตามท่อทางเดินอาหาร ซึ่งจะมีการดูดกลับของน้ำและอาหารโดยกลุ่มเซลล์เรคตัล แพด (Rectal pad) ที่ลำไส้ใหญ่ ส่วน Rectum ส่วนของเสียพวกสารประกอบไนโตรเจนจะอยู่ในรูปกรดยูริก ซึ่งเป็นของแข็ง จะขับออกไปพร้อมกับกากอาหารทางทวารหนัก



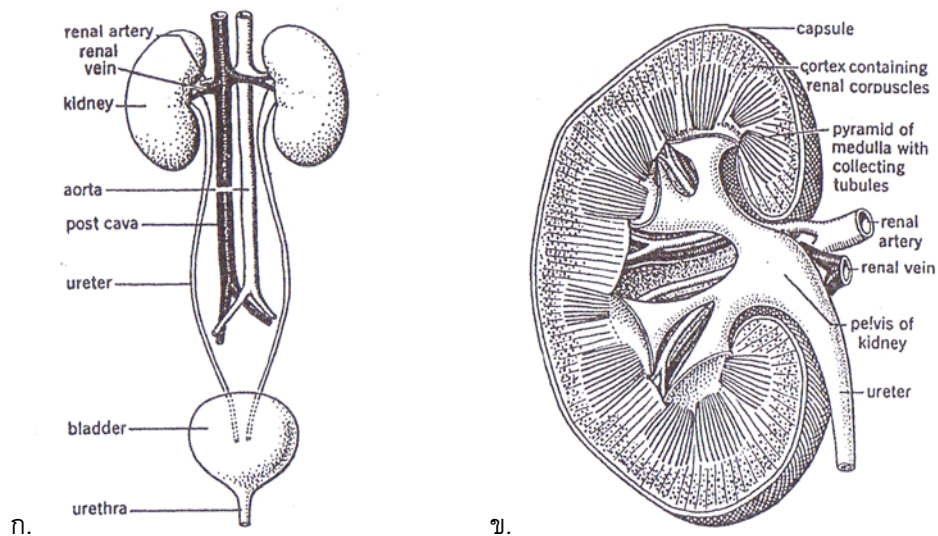
รูปที่ 7.4.4 อวัยวะขับถ่ายของแมลง (Malpighian Tubules)

5. การขับถ่ายของคอร์เตต สัตว์คอร์เตตเป็นพวกมีกระดูกสันหลัง (Vertebrates) มีไต (Kidney) เป็นอวัยวะขับถ่าย ปกติมี 2 อัน ผังหรือติดกับเนื้อด้านหลังในช่องท้อง มีรูปร่างแตกต่างกันในสัตว์แต่ละชนิด เช่น ไตปลาและกบ มีรูปร่างยาว ไตคนมีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่ว ไต ประกอบด้วย หน่วยขับถ่าย คือ เนฟรอน (Nephron) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับระบบหมุนเวียนเลือดที่นำของเสียมาสกัดออกอย่างมีประสิทธิภาพ

การขับถ่ายของคน

ไต (Kidney)

ไต มี 1 คู่ รูปร่างยาวรี ยาวประมาณ 10-13 เซนติเมตร อยู่ในช่องท้องด้านหลัง ติดกับกระดูกสันหลัง เนื้อไตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เนื้อไตส่วนนอก (Renal Cortex) และเนื้อไตส่วนใน (Renal Medulla) ซึ่งประกอบด้วย เนื้อไตเรียวยาวรูปสามเหลี่ยม (Pyramid) โดยมียอดแหลมที่เรียกว่า ปุ่มไตเล็ก (Renal Papilla) เข้าหาส่วนกลาง หลาย ๆ Papilla จะรวมเข้าสู่กึ่งกรวยไตเล็ก (Minor Calyx) กึ่งกรวยไตเล็ก 3-4 กิ่ง จะรวมเป็นกึ่งกรวยไตใหญ่ (Major Calyx) กึ่งกรวยไตใหญ่จะเปิดเข้าสู่กรวยไต (Pelvis) ซึ่งเป็นส่วนรับน้ำปัสสาวะมาเข้าท่อไต (Ureter) นำไปเก็บพักไว้ในกระเพาะปัสสาวะ (Urinary Bladder)



รูป 7.4.5 ไตของคน (ก) และไตผ่าซีก (ข) (จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

หน่วยไต (Nephron)

หน่วยไต เป็นโครงสร้างขนาดเล็กที่เป็นหน่วยพื้นฐานในการทำงานของไต มีอยู่ในไตข้าง 1-1.5 ล้านหน่วย ปลายท่อหน่วยไตจะมาเปิดเข้าท่อรวม (Collecting Duct) ซึ่งท่อรวมแต่ละท่อจะรับท่อหน่วยไตหลายหน่วย ท่อรวมจะเปิดเข้าสู่กึ่งกรวยไตเล็ก ซึ่งจะรวบรวมน้ำปัสสาวะส่งต่อไปจนถึงกระเพาะปัสสาวะ

หน่วยไตมีโครงสร้างแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. Renal Corpuscle เป็นส่วนต้นของหน่วยไต ทำหน้าที่เกี่ยวกับการกรองเลือดที่ไหลเข้ามาในไต ประกอบด้วย Bowman's Capsule ซึ่งมีลักษณะเป็นถุงหุ้ม กลุ่มหลอดเลือดฝอย ที่เรียกว่า โกลเมอรูลัส (Glomerulus) ซึ่งเป็นหลอดเลือดที่แยกมาจากหลอดเลือดแดงเล็กขาเข้า (Afferent Arterioles) และไปรวมกันจากโกลเมอรูลัสในหลอดเลือดแดงเล็กขาออก (Efferent Arterioles)

2. Renal Tubule เป็นหลอดไต มีความยาวประมาณ 4.5-6.5 มิลลิเมตร ปลายหนึ่งเชื่อมต่อกับ Bowman's Capsule อีกปลายเปิดเข้าสู่ท่อรวม หลอดไตมีผนังบางมากเป็นเซลล์ชั้นเดียวทำให้แลกเปลี่ยนสารได้ดี แบ่งเป็นหลายส่วน

- 2.1 หลอดไตส่วนต้น (Proximal Tubule) เป็นเซลล์ที่มี Microvilli มาก เพื่อเพิ่มพื้นที่การดูดซึม มี Mitochondria มาก มีการขนส่งแบบใช้พลังงาน หลอดไตส่วนที่อยู่ใน

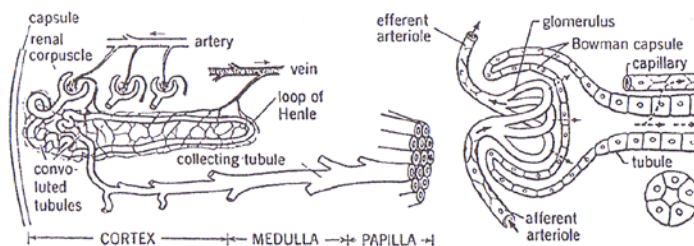
เนื้อไตชั้นนอกจะคดไปมา (Proximal Convoluted Tubule) อีกส่วนมีลักษณะตรง อยู่ในเนื้อไตส่วนใน

2.2 หลอดไตรูปตัวยู (Henle's loop) ประกอบด้วย ท่อขาลง (Descending Tubule) กับ ท่อขาขึ้น (Ascending Tubule) ซึ่งมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขนาดเล็ก (Thin Ascending) กับส่วนที่มีขนาดใหญ่ (Thick Ascending) หลอดขาลง ผนังเซลล์มี Microvilli น้อย Mitochondria น้อย มีการขนส่งสารน้อยและเป็นแบบไม่ใช้พลังงาน ส่วนหลอดขาขึ้น เซลล์มี Microvilli มาก Mitochondria มาก มีการขนส่งแบบใช้พลังงาน

2.3 หลอดไตส่วนปลาย (Distal Convoluted Tubule) เป็นส่วนต่อจากหลอดตัวยูขาขึ้น มีลักษณะคดเคี้ยวเล็กน้อย

2.4 หลอดไตรวม (Collecting Duct) ทำหน้าที่ดูดซึมกลับสารและคัดหลั่งสาร เพื่อช่วยรักษาสสมดุลของน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และกรดต่างของร่างกาย เพื่อนำเข้าสู่กึ่งกรวยไต และกรวยไต ตามลำดับ

Renal Corpuscle และ Renal Tubule เป็นส่วนที่อยู่ในเนื้อไตชั้น Cortex เป็นส่วนใหญ่ Henle's loop และท่อไตรวมส่วนปลายที่เปิดเข้าสู่กรวยไต เป็นส่วนที่อยู่ในเนื้อไตชั้น Medulla



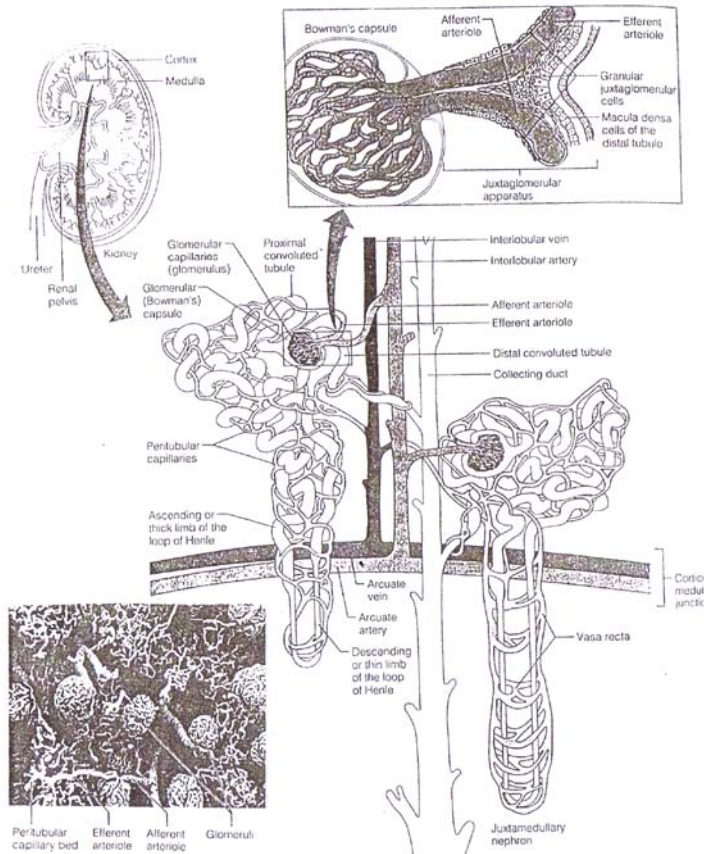
รูปที่ 7.4.6 ส่วนประกอบของหน่วยไต (ก) โกลเมอรูลัส (ข)

(จาก Tracy I. storror & Robert L. Usinger, 1965)

นอกจากนี้ หน่วยไตยังแบ่งตามลักษณะการเรียงตัวในเนื้อไต และความยาวของหลอดไต ได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. หน่วยไต ชนิดที่อยู่ติดกับเปลือกไต (Cortical Nephron) เป็นหน่วยไตที่มีโกลเมอรูลัสขนาดเล็ก หลอดรูปตัวยูสั้น เรียงตัวอยู่ในชั้น Cortex เป็นส่วนใหญ่ มีปลายหลอดยื่นเข้าไปใน Medulla เพียงเล็กน้อย หน่วยไตชนิดนี้มีอยู่มากถึงร้อยละ 85 ของหน่วยไตทั้งหมด

2. หน่วยไต ชนิดที่อยู่ติดกับเนื้อไตชั้นใน (Juxtamedullary Nephron) เป็นหน่วยไตที่มีโกลเมอรูลัสขนาดใหญ่ อยู่ในชั้น Cortex ที่ติดกับ Medulla มีหลอดเลือดรูปตัวยูยาวลึกลงไปใน Medulla มีหลอดเลือดแดงเล็กขาออกขนาดใหญ่ แตกแขนงเป็นหลอดเลือดฝอยพันรอบหลอดรูปตัวยู ย่อยคลุมปลายหลอด เรียกว่า Vasa recta มีบทบาททำให้เกิดกลไกไหลสวนกลับ (Counter Current) ของของเหลว ซึ่งทำให้ปัสสาวะมีความเข้มข้น



รูปที่ 7.4.7 ชนิดของหน่วยไต (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

หลอดเลือดที่มาเลี้ยงไต

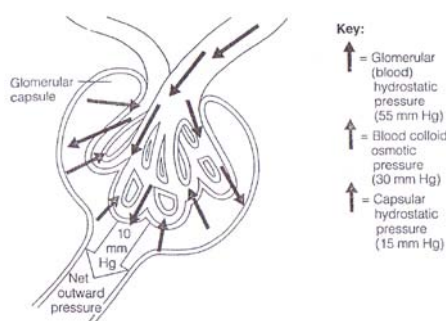
เลือดแดงที่มาเลี้ยงไต ผ่านมาทางเส้นเลือดแดงไต (Renal Artery) ซึ่งแตกแขนงมาจากเส้น Aorta ส่วนท้อง Renal Artery ก่อนเข้าสู่ไตจะแตกแขนงไปที่ต่อมหมวกไต แคปซูล กรวยไต และหลอดไตส่วนบนด้วย Renal Artery จะเข้าสู่ไตทางขั้วไต แล้วแตกแขนงแทรกไปตามเนื้อไต และแตกแขนงเป็นเส้นเลือดแดงเล็กขาเข้า (Afferent Arteriole) เข้าสู่ Bowman's Capsule ของหน่วยไต โดยปลายเส้นเลือดจะแตกแขนงเป็นกลุ่มเส้น

เลือดฝอย (Glomerulus Capillaries) อยู่ใน Capsule และรวมกันเป็นหลอดเลือดแดงขาออก (Efferent Arteriole) ออกจาก Capsule แล้วแตกแขนงเป็นเส้นเลือดฝอยไปเลี้ยงหลอดไต คือ หลอดเลือดฝอยรอบหลอดไต (Peritubular Capillary) หลอดเลือดฝอยชุดนี้จะพันรอบหลอดไต คลุมมาถึงบริเวณปลายหลอดรูปตัวยูอีกชุดหนึ่ง เรียกว่า วาซา เรคตา (Vasa recta)

เลือดดำที่ออกจากไตจะไหลกลับโดยเส้นเลือดฝอยรอบหลอดไตรวมเป็นเส้นเลือดดำไต (Renal Vein) เพื่อกลับเข้าสู่เส้นเลือดดำใหญ่ ส่วนล่างของลำตัว (Inferior Vena Cava)

กระบวนการทำงานของไต

การทำงานของไต คือ การสร้างน้ำปัสสาวะจากเลือดที่ไหลเวียนมาที่ไต โดยผ่านกระบวนการพื้นฐานสำคัญ 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการกรอง (Glomerular Filtration) กระบวนการดูดกลับ (Tubular Reabsorption) และกระบวนการคัดหลั่งสาร (Tubular Secretion)



รูปที่ 7.4.8 การกรองสารผ่านโกลเมอรูลัสของหน่วยไต
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

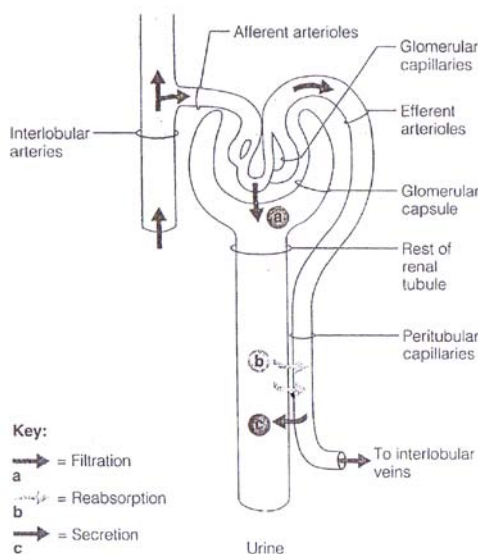
1. กระบวนการกรองสารที่โกลเมอรูลาร์ (Glomerular Filtration) โดยเลือดแดงจากหลอดเลือดแดงขาเข้า (Afferent Arteriole) จะเข้าสู่ชุดเส้นเลือดฝอยโกลเมอรูลัสและกรองผ่านเยื่อโกลเมอรูลาร์ แคปซูล เข้ามาในท่อ ด้วยแรงดันของเลือด ประมาณ 10 mmHg (Glomerular (blood) Hydrostatic Pressure)

ในคนปกติจะมีแรงดันในเส้นเลือดโกลเมอรูลัส ประมาณ 55 mmHg โดยมีแรงดันออสโมซิสที่เกิดจากโปรตีน ซึ่งเป็นสารแขวนลอยในเลือด (Blood Colloid Osmotic Pressure) ประมาณ 30 mmHg และมีแรงดันของของเหลวในแคปซูล (Capsular Hydrostatic Pressure) ประมาณ 15 mmHg ดังนั้น แรงดันสุทธิที่ทำให้เกิดการกรอง (Net Outward Pressure) จึงมีประมาณ $55 - (15+30) = 10 \text{ mmHg}$

สารที่กรองผ่านออกมาจากเลือดทั้งหมด เรียกว่า น้ำกรอง (Filtrate) ซึ่งมีความเข้มข้นเท่ากับน้ำเลือด (Plasma) และมีองค์ประกอบคล้ายกัน ยกเว้นไม่มีเม็ดเลือดแดงและโปรตีนโมเลกุลใหญ่ อาจมีโปรตีนขนาดเล็ก ซึ่งมีน้อยมาก ส่วนสารที่ทำให้เกิดความ

เข้มข้น เช่น โซเดียม ยูเรีย สารประจุลบ และกลูโคส จะถูกกรองออกมาด้วยความเข้มข้นเท่ากับในพลาสมา

2. กระบวนการดูดกลับของหลอดไต (Tubular Reabsorption) ในเวลา 1 วัน ไตจะกรองสารละลายออกมาได้ 160-180 ลิตร แต่ขับออกเป็นน้ำปัสสาวะ เพียง 1-2 ลิตร เท่านั้น แสดงว่าน้ำกรองที่ออกมาจากเลือดจะมีการดูดกลับเข้าสู่เลือดได้ใหม่เกือบหมด คือ มากกว่าร้อยละ 99



รูปที่ 7.4.9 การทำงานของหน่วยไต
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

การดูดกลับของสารและน้ำ เกิดขึ้นที่ส่วนต่าง ๆ ของหลอดไต ซึ่งเป็นหน้าที่บางมากเพียงเซลล์ชั้นเดียวโดยวิธีที่ใช้และไม่ใช้พลังงาน

สารที่ถูกดูดกลับโดย Active Reabsorption ได้แก่ Glucose, Phosphate, Sulphate, Malate, Lactate, Amino Acid, Vitamin C, Uric Acid, Na^+ , K^+ และ HCO_3^- ซึ่งส่วนใหญ่เกิดที่บริเวณหลอดไตส่วนต้น (Proximal Tubule) และส่วนน้อยเกิดที่หลอดไตรูปตัวยูขาหลง (Descending Tubule) กับ ขาขึ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ (Thick Ascending Tubule) และหลอดไตรวม (Collecting Duct)

ส่วนสารที่ถูกดูดกลับโดย Passive Reabsorption ได้แก่ น้ำ และ Cl^- ซึ่งเกิดมากที่สุดบริเวณต้นของหลอดไตส่วนต้น

3. กระบวนการคัดหลั่งสารของหลอดไต (Tubular Secretion) เป็นการคัดหลั่งสารจากหลอดเลือดรอบหลอดไตเข้าสู่หลอดไต เพื่อกำจัดออกจากร่างกายพร้อมกับน้ำปัสสาวะ สารที่คัดหลั่งโดยใช้พลังงาน ได้แก่ PAH phenol red thiamine penicillin และ H^+ ส่วนสารที่เป็นพวกต่างอ่อน เช่น NH_3 จะคัดหลั่งโดยไม่ใช้พลังงาน

ตารางที่ 7.4.1 เปรียบเทียบสารในของเหลวที่ผ่านเข้าสู่ท่อหน่วยไตกับปัสสาวะ

สาร	น้ำเลือด (g/100 cm ³)	ของเหลวที่กรองได้ (g/100 cm ³)	ปัสสาวะ (g/100 cm ³)
น้ำ	90	90	95
โปรตีน	8	0	0
ยูเรีย	0.03	0.03	1.8
กรดยูริก	0.004	0.004	0.05
กลูโคส	0.1	0.1	0
กรดอะมิโน	0.05	0.05	0
ไอออนต่าง ๆ เช่น Na ⁺ , Cl ⁻	0.9	0.9	<0.9-3.6

การรักษาสมดุลของร่างกาย

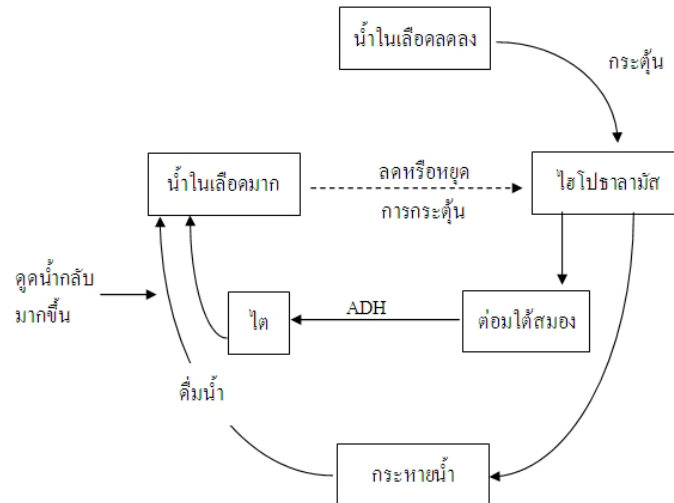
การรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย

ไต่กับการรักษาสมดุลของน้ำ

การดูดกลับของน้ำ กลูโคส และเกลือแร่ ที่บริเวณหลอดไต จะถูกควบคุมด้วยฮอร์โมนวาโซเพรสซิน (Vasopressin) หรือ แอนตี้ไดยูเรติก (Antidiuretic Hormone ; ADH) จากต่อมใต้สมองส่วนหลัง ADH จะหลั่งมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเลือด ถ้าเลือดมีความเข้มข้นมาก เนื่องจากดื่มน้ำน้อยหรือเสียน้ำจากอาการท้องเสีย เลือดจะมีน้ำน้อย จะกระตุ้นให้ต่อมใต้สมองหลั่ง ADH มาก ทำให้มีการดูดกลับน้ำจากหลอดไต เข้าสู่เส้นเลือดมาก จึงเหลือเป็นน้ำปัสสาวะน้อยและมีความเข้มข้นมาก ในกรณีที่มีการดื่มน้ำมาก เลือดจะลดความเข้มข้นลง เลือดที่มีความเจือจางที่ไปที่สมองจะกระตุ้นต่อมใต้สมองให้มีการหลั่ง ADH ในปริมาณที่น้อย หรือไม่มี จึงทำให้การดูดกลับน้ำจากหลอดไต เข้าสู่เส้นเลือดมีน้อยหรือไม่มี จึงทำให้ปัสสาวะมีน้ำมากและมีความเจือจาง ดังนั้นกระบวนการดูดกลับน้ำที่บริเวณหลอดไตจึงเป็นกระบวนการรักษาสมดุลของน้ำภายในร่างกายอีกวิธีหนึ่ง

บางครั้งร่างกายมีการสูญเสียทางเหงื่อมาก เช่น การออกกำลังกาย หรืออากาศร้อน เป็นต้น ร่างกายจะมีกลไกควบคุมสมดุลของน้ำโดยการกระหายน้ำ คือ ความต้องการดื่มน้ำเข้าไปทดแทนน้ำที่สูญเสียไป หรือบางครั้งเมื่อดื่มน้ำมากเกินไป และไม่สามารถขับ

ออกทางเหงื่อได้ เช่น อากาศหนาว ร่างกายจะควบคุมสมดุลของน้ำโดยการขับปัสสาวะมากขึ้น



รูปที่ 7.4.10 กลไกการควบคุมน้ำในร่างกาย

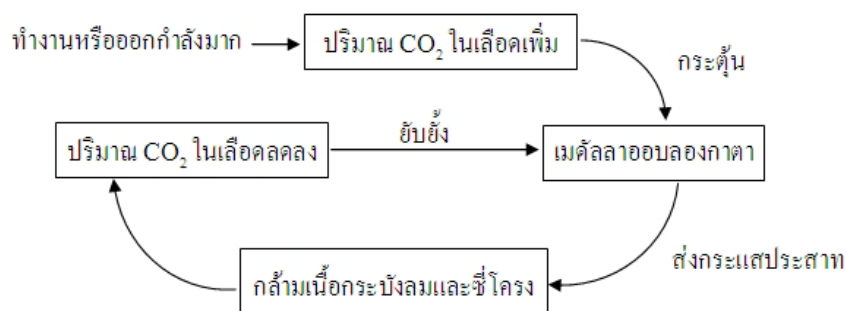
ศูนย์ควบคุมการกระหายน้ำอยู่ที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส (Hypothalamus) เมื่อร่างกายขาดน้ำ หรือ เลือดมีน้ำน้อยกว่าปกติ จะกระตุ้นให้สมองส่วนไฮโปทาลามัสส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นต่อมใต้สมองให้หลั่ง ADH ไปให้ไตดูดน้ำกลับให้มากขึ้น และกระตุ้นศูนย์ควบคุมการกระหายน้ำ ทำให้ร่างกายมีความอยากดื่มน้ำ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีความกระหายน้ำและได้ดื่มน้ำ ความอยากดื่มน้ำจะหมดไปอย่างรวดเร็วกว่าการดูดซึมน้ำเข้าทางเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นผลดีของการรักษาปริมาณน้ำในร่างกายให้คงที่อยู่ตลอดเวลา

การรักษาสมดุลของกรด-เบสในร่างกาย

ความเป็นกรด-เบสของร่างกายมีความสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีของร่างกายโดยตรง ปกติความเป็นกรด-เบสของร่างกายจะพอเหมาะเท่ากับเอนไซม์แต่ละชนิดที่ทำงาน ร่างกายจึงต้องรักษาสมดุลของกรด-เบสให้อยู่ในช่วง pH7 ถ้าเกิดความเป็นกรด-เบสมาก ๆ เอนไซม์จะไม่สามารถทำงานได้ กระบวนการเมแทบอลิซึมจะหยุดชะงักและเซลล์จะตาย วิธีการควบคุมความเป็นกรด-เบสให้ต่ำจึงมีหลายกระบวนการ

1. การเพิ่มหรือลดอัตราการหายใจ

แก๊สที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ คือ O_2 และ CO_2 ปริมาณของแก๊สทั้ง 2 ชนิดนี้มีผลต่อความเป็นกรด-เบสของร่างกาย กรณีที่ร่างกายมี CO_2 สูง จะรวมตัวกับน้ำ ได้เป็น HCO_3^- กับ H^+ ซึ่งจะทำให้ pH ลดลง และไปกระตุ้น Medulla Oblongata เพื่อบังคับระบบหายใจให้สูด O_2 เพิ่มขึ้นและขจัด CO_2 ออก เมื่อ CO_2 ลดลง pH เพิ่มขึ้นถึง 7.3 การกระตุ้นก็หมดไป กรดแก่หรือเบสแก่ปริมาณมาก ๆ pH ของสารละลายจะเปลี่ยนไป เพราะเกินขีดความสามารถของสารละลายบัฟเฟอร์ที่จะรักษา pH ไว้ได้



รูปที่ 7.4.11 กลไกการควบคุม pH โดยการหายใจ

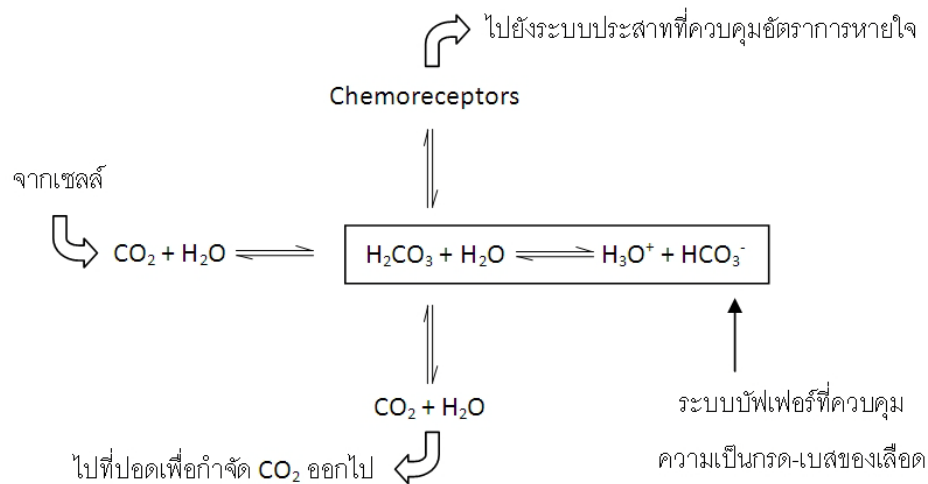
2. ระบบบัฟเฟอร์ (Buffer System)

สารอาหารที่ร่างกายได้รับจะถูกย่อยให้เป็นกรดหรือเบสอย่างต่อเนื่องด้วยขบวนการเมแทบอลิซึม เมื่อมีกรดหรือเบสเกิดขึ้นย่อมต้องมีการเปลี่ยนแปลง pH ตลอดเวลา แต่ปรากฏว่าเลือดจะมีค่า pH คงที่ประมาณ 7.35 - 7.45 แสดงว่าร่างกายจะต้องมีกลไกที่ควบคุมให้ pH เปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือว่าไม่เปลี่ยนแปลง กลไกดังกล่าวก็คือ ระบบบัฟเฟอร์

การกำจัดสารละลายที่เป็นกรด-เบส บางส่วนกำจัดทางไตในรูปของปัสสาวะ pH ของปัสสาวะจะไม่คงที่ และมีช่วงกว้างมาก คือ 4.8 - 7.8 ขึ้นอยู่กับว่าสิ่งที่ขจัดออกมา มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส บางส่วนกำจัดที่ปอด ซึ่งส่วนใหญ่มีฤทธิ์เป็นกรดในรูปของ CO_2 ซึ่งมีบางส่วนที่ร่างกายกำจัดออกไม่ได้จะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารละลายบัฟเฟอร์ ซึ่งทำให้เลือดมีค่า pH เกือบคงที่

บัฟเฟอร์ที่มีความสำคัญในเลือด คือ พลาสมาโปรตีน ได้แก่ อัลบูมิน และโกลบูลิน ไฮโดรเจนคาร์บอเนต ฟอสเฟต ฮีโมโกลบิน และ ออกซีฮีโมโกลบิน

ระบบบัฟเฟอร์ $\text{H}_2\text{CO}_3 - \text{HCO}_3^-$ เป็นระบบบัฟเฟอร์ที่มีความสำคัญต่อพลาสมาของเลือด และเป็นระบบที่ทำงานได้ดีที่ pH 7.4



รูปที่ 7.4.12 การควบคุมสมดุลของกรด-เบสโดยระบบบัฟเฟอร์

3. ไต (Kidney)

ไตทำหน้าที่กรองของเสียออกจากเลือดในรูปของปัสสาวะ ซึ่งเป็นต้นเหตุที่ทำให้ pH ในร่างกายเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการทำงานของไตจึงเป็นการแก้ไขให้สภาพกรดเบสที่เปลี่ยนแปลงไปกลับเข้าสู่สภาวะปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การรักษาสมดุลของน้ำและแร่ธาตุในสิ่งมีชีวิตอื่น

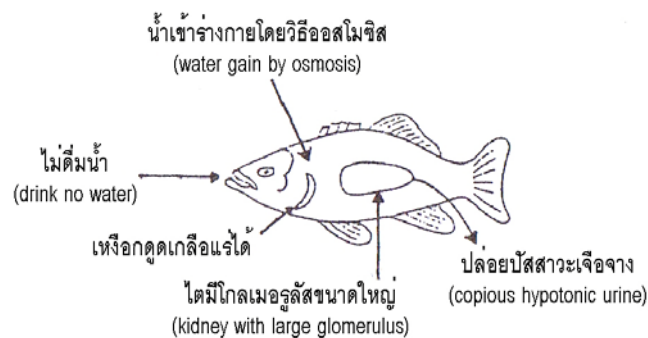
โพรติสต์

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวขับถ่ายของเสียโดยใช้การแพร่ผ่านเยื่อเซลล์โดยตรง เมื่อของเสียภายในเซลล์เข้มข้นมากกว่าน้ำที่อยู่รอบเซลล์ และจะใช้ Contractile Vacuole รวบรวมของเหลวที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าน้ำที่อยู่รอบเซลล์

สัตว์น้ำ

ในสัตว์น้ำจะมีการรักษาสมดุลของแร่ธาตุที่ต่างไปจากสัตว์บก

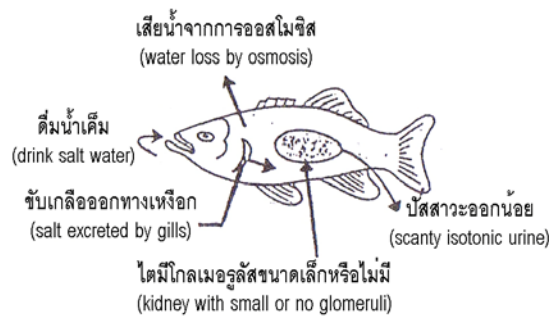
ปลาน้ำจืด อาศัยอยู่ในน้ำที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นของเลือดปลา น้ำภายนอกจึงซึมเข้าสู่ตัวปลาตลอดเวลาโดยกระบวนการออสโมซิส แม้จะมีเกล็ดและผิวหนังป้องกัน ปลาน้ำจืดแก้ปัญหาโดยการไม่ดื่มน้ำ และขับถ่ายน้ำปัสสาวะที่เจือจางโดยไต จะดูดเกลือแร่กลับ แต่ไม่ดูดน้ำกลับ นอกจากนี้ร่างกายยังมีการสูญเสียเกลือแร่ออกสู่ภายนอก ดังนั้นที่เหงือกจึงมีเซลล์พิเศษที่ดูดเกลือแร่จากน้ำเข้าสู่ร่างกายโดยใช้พลังงาน



รูปที่ 7.4.13 การรักษาสมดุลแร่ธาตุของปลาน้ำจืด

ปลาทะเลต้องอยู่ในน้ำเค็ม น้ำภายในร่างกายจึงเจือจางกว่าน้ำภายนอกหรือมีแรงดันออสโมซิสต่ำกว่าน้ำทะเล เกล็ดและผิวหนังจึงทำหน้าที่ป้องกันเกลือแร่จากน้ำทะเลซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วนเหงือกทำหน้าที่ขับเกลือแร่ส่วนเกินออกจากตัวโดยใช้พลังงาน ส่วนเกลือแร่ที่ติดไปกับอาหารที่ไม่ถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ในกระบวนการย่อยอาหาร เกลือแร่จึงถูกกำจัดออกจากอูจจาระ

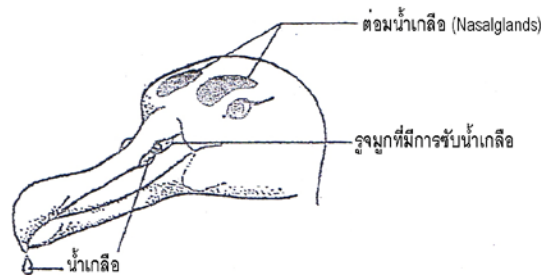
ปลาทะเลจะสูญเสียน้ำจากร่างกายโดยออสโมซิส มันจึงแก้ปัญหาโดยการดื่มน้ำทะเลตลอดเวลา ซึ่งก็ต้องมีเกลือแร่เข้าไปด้วย มันจึงขับเกลือออกทางเหงือก ส่วนปัสสาวะมีปริมาณเล็กน้อย



รูปที่ 7.4.14 การรักษาสมดุลแร่ธาตุของปลาทะเล

ปลาบางพวกมีการปรับตัวและวิวัฒนาการเกี่ยวกับต่อมเกลือ (Salt Gland) ดี จึงอยู่ได้ทั้งในน้ำทะเล น้ำกร่อย และน้ำจืด เช่น ปลาหมอเทศ

สัตว์ที่หากินกับทะเลแต่ไม่ได้อยู่ในทะเล จะมีต่อมขจัดเกลือแร่ออกจากร่างกาย เช่น นกทะเลต่าง ๆ มีต่อมเกลือ (Nasal Gland) อยู่ที่หัว กำจัดเกลือส่วนเกินออกทางรูจมูก นอกจากนี้ยังมีการขับถ่ายปัสสาวะที่เข้มข้น



รูปที่ 7.4.15 การรักษาสมดุลแร่ธาตุของสัตว์ที่หากินในทะเล

การรักษาสมดุลของอุณหภูมิในร่างกาย

อุณหภูมิในร่างกายของสัตว์เกิดจากพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาผลาญอาหารในร่างกาย สัตว์เลือดอุ่นและสัตว์เลือดเย็นมีกลไกการรักษาอุณหภูมิร่างกายต่างกัน

สัตว์เลือดเย็น (Poikilothermic) อุณหภูมิของร่างกายไม่คงที่ตลอดเวลาเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมได้ในช่วงหนึ่ง จึงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในร่างกายได้มากกว่าสัตว์เลือดอุ่น สัตว์เลือดเย็น ได้แก่ ปลา สัตว์ครึ่งบกครึ่งน้ำ สัตว์เลื้อยคลาน และแมลง ถ้าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ร่างกายจะมี Metabolic Rate สูงขึ้น และ Metabolic Rate จะลดต่ำลง เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมลดลง

การหลบหลีกสภาวะแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง สัตว์เลือดอุ่นจะมีการหลบหลีกหลายวิธี

1. การหลบหลีกความร้อน สัตว์ทะเลทรายมีการหลบหลีกความร้อนด้วยการขุดรูหรืออยู่ในโพรงไม้ สัตว์บางพวกเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนอาจเป็นฤดูร้อนจะหลบไปจำศีลอยู่ในรู การจำศีล (Estivation) เป็นการลดอัตราเมตาบอลิซึมของร่างกาย การใช้ออกซิเจนน้อยลง
2. การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำ เช่น ควายนกบายความร้อนโดยนอนแช่อยู่ในปลักโคลน
3. การเลียอุ้งเท้าของแมว กระต่าย จิงโจ้ เป็นการระบายความร้อน
4. การระบายความร้อนทางลิ้นและเพดานปาก เช่น พกสุนัข

ในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ สัตว์เลือดอุ่นจะรักษาอุณหภูมิในร่างกายที่แตกต่างกันหลายวิธี

1. มีชั้นไขมันใต้ผิวหนังหนา เพื่อเป็นฉนวนป้องกันความร้อนระเหยออกจากร่างกาย เช่น สัตว์ขั้วโลก พกปลาวาฬ แมวน้ำ
2. มีขนยาวปกคลุมลำตัว ป้องกันการสูญเสียความร้อน เช่น สุนัขขั้วโลก นกเพนกวิน หมีขาวขั้วโลก
3. การลดพื้นที่ของร่างกาย โดยการหดตัวให้เหลือพื้นที่น้อยที่สุด
4. การหibernation (Hibernation) ในเขตหนาวเมื่อมีอากาศหนาวมาก ๆ สัตว์เลือดอุ่นบางชนิดจะขุดรูอยู่เพื่อหibernation แต่ไม่ได้ลด Metabolic Rate ได้แก่ หนูบางชนิด กระรอกแกวขั้วโลก และค้างคาวเขตหนาว ส่วนสัตว์เลือดเย็นอุณหภูมิจะเปลี่ยนไปตามสภาพแวดล้อม อัตราการใช้ออกซิเจนลดลงมาก อาจเป็น 1/30 หรือ 1/100 ของอัตราปกติ หัวใจเต้นช้าลง

7.5 ระบบประสาทและอวัยวะรับสัมผัส

(The Nervous and Sense Organs System)

การรับรู้และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของโปรโตซัวและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด

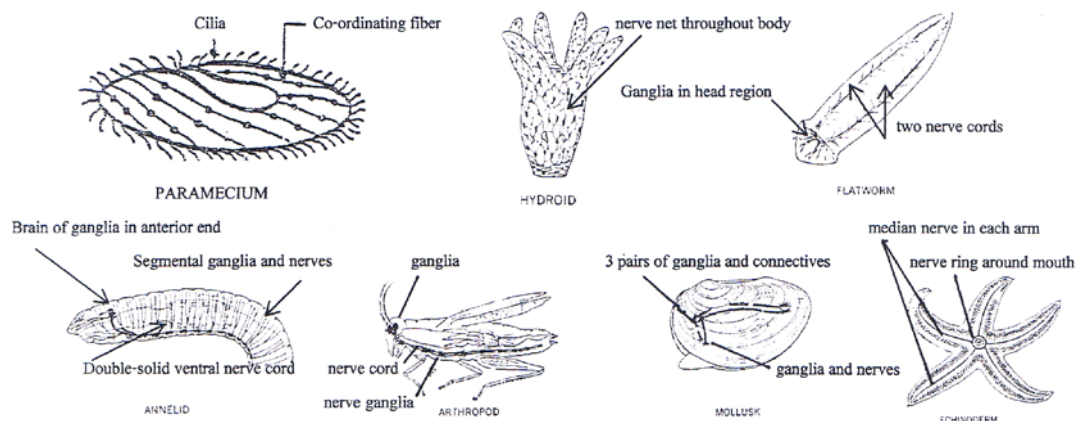
โปรโตซัวเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวไม่มีเซลล์ประสาท แต่ตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ เช่น อะมีบา เคลื่อนที่โดยการไหลของไซโตพลาสซึม ทำให้เกิดเท้าเทียม (Pseudopodium) โอบอาหารได้ พารามีเซียม เคลื่อนที่โดยใช้ซีเลีย (Cilia) ซึ่งมี Contractile Fibril (Co-ordinating fiber) เป็นตัวควบคุมให้ซีเลียโบกพัดไปพร้อมกัน

สัตว์ชั้นต่ำพวกฟองน้ำยังไม่มีระบบประสาท พวกซีเลนเตอเรตเป็นสัตว์พวกแรกที่เริ่มมีระบบประสาทอย่างง่าย ๆ โดยมีเส้นประสาทเชื่อมโยงเป็นร่างแห (Nerve Net) ที่ไม่มีปมประสาทตลอดลำตัวอยู่ใต้ชั้น Epidermis ตอบสนองสิ่งเร้าเกิดพร้อมกันตลอดลำตัว

หนอนตัวแบน มีเส้นประสาท 2 เส้นยาวตลอดลำตัว ที่บริเวณหัวมีปมประสาท 2 ปม เรียกว่า สมอง มีเส้นประสาทแขนงเชื่อมเส้นประสาทตามยาวไปตลอดลำตัว

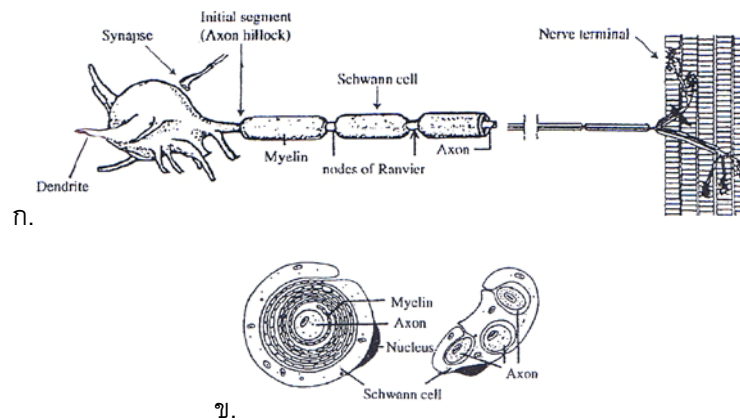
หนอนปล้อง เช่น ไส้เดือนดิน แมลง และหอย มีปมประสาทใหญ่หลายปม บางปมเกิดอ้อมรอบทางเดินอาหารขึ้นมา เป็นลักษณะคล้ายห่วงมัดทางเดินอาหาร

ปลาดาว มีเส้นประสาทใหญ่เป็นวงรอบปากและมีเส้นแขนงแยกไปตามแนวรัศมีของลำตัว



รูปที่ 7.5.1 ระบบประสาทของโปรโตซัวและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

เซลล์ประสาท (Nerve cell or Neuron)



รูปที่ 7.5.2 เซลล์ประสาท (ก) และ Axon ตัดตามขวาง (ข)

เซลล์ประสาท ประกอบด้วย

1. ตัวเซลล์ (Cell Body or Soma) มีรูปร่างหลายแบบ กลม รี เหลี่ยม มีนิวเคลียส 1 อัน มีนิวคลีโอลัส ไซโทพลาสซึม มีออร์แกเนลล์ชนิดต่าง ๆ เช่น ไรโบโซม ร่างแห-เอนโดพลาสซึม ไมโทคอนเดรีย เส้นใยประสาท (Neurofibrin) และมี Nissl Body ซึ่งเป็นออร์แกเนลล์ที่เกิดจากการจับแน่นของไรโบโซมกับร่างแหเอนโดพลาสซึมเป็นส่วนที่เซลล์ชนิดอื่นไม่มี

2. เดนไดรต์ (Dendrite) เป็นส่วนที่ยื่นออกจากตัวเซลล์เป็นเส้นสั้น ๆ แตกกิ่งได้ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับข้อมูลเข้าสู่เซลล์ประสาท

3. แอกซอน (Axon) เป็นส่วนของตัวเซลล์ที่ยื่นออกไปอยู่ตรงข้ามกับเดนไดรต์ ไม่มีกิ่ง ตรงปลายที่มีแขนงมากจะไปสิ้นสุดที่กล้ามเนื้อหรือต่อมต่าง ๆ แอกซอนทำหน้าที่ส่งข้อมูลในรูปของคลื่นกระแสประสาท (Nerve Impulse or Action Potential)

แอกซอนอาจมีเยื่อไมอีลิน (Myelin Sheath) ซึ่งสร้างมาจากเซลล์ชวาน (Schwann Cell) หุ้มหรืออาจไม่มีก็ได้

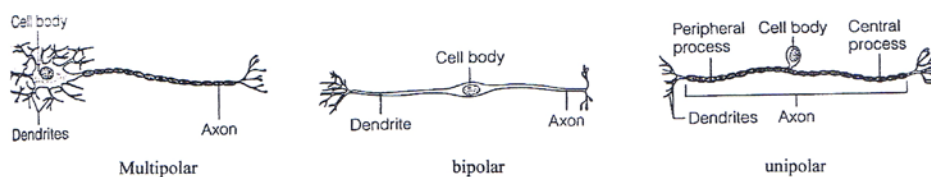
ชนิดของเซลล์ประสาท (Type of Nerve Cell)

เซลล์ประสาทจำแนกตามจำนวนเดนไดรต์และแอกซอน แบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่

Multipolar Neuron เป็นเซลล์ที่มีกิ่งยื่นจากตัวเซลล์จำนวนมาก มีแอกซอนเดียว

Bipolar Neuron เป็นเซลล์ที่มีกิ่งยื่นจากตัวเซลล์ 2 กิ่ง คือ เดนไดรต์และแอกซอน
อย่างละ 1 กิ่ง

Unipolar Neuron เป็นเซลล์ที่มีกิ่งยื่นจากตัวเซลล์เพียงกิ่งเดียวแล้วแยกออกเป็น
2 กิ่ง คือ แอกซอนและเดนไดรต์



รูปที่ 7.5.3 เซลล์ประสาทชนิดต่าง ๆ

เซลล์ประสาท จำแนกตามหน้าที่ แบ่งได้ 3 ชนิด ได้แก่

Motor Neuron (Efferent Neuron) เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสั่งงานให้ส่วน
ต่าง ๆ ของร่างกายเคลื่อนไหวหรือทำงานได้

Associational Neuron ทำหน้าที่รับคลื่นประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง

Sensory Neuron (Afferent Neuron) ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากส่วนต่าง ๆ ของ
ร่างกายไปยังระบบประสาทส่วนกลาง

ใยประสาท (Nerve Fiber)

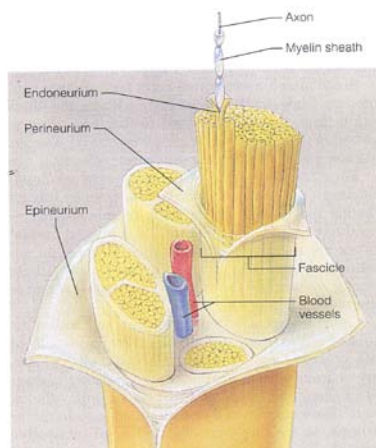
ใยประสาท หมายถึง ส่วนของแอกซอนและเดนไดรต์ รวมทั้งเยื่อหุ้ม (Sheath)
ที่เจริญเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อชั้นนอก (Ectoderm) แต่เนื่องจากเดนไดรต์เป็นกิ่ง
สั้น ๆ ดังนั้น ใยประสาทโดยทั่วไปจึงหมายถึงแอกซอนเท่านั้น

ใยประสาท แบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่

ใยประสาทที่ไม่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (Non-Myelinated Nerve Fiber) เป็นใยประสาทที่
นำคลื่นกระแสประสาทได้ช้า แอกซอนประเภทนี้ถ้ามีขนาดใหญ่จะนำคลื่นกระแสประสาท
ได้เร็วกว่าแอกซอนขนาดเล็ก

ใยประสาทที่มีปลอกไมอีลินหุ้ม (Myelinated Nerve Fiber) เป็นใยประสาทที่มีการสร้างเยื่อไมอีลิน ซึ่งเป็นเยื่อไขมันสีขาวแกมเหลืองพันหุ้มรอบแอกซอนเป็นช่วง ๆ เรียกว่า Internode เยื่อไมอีลินมีความต้านทานการไหลของไอออนสูง แอกซอนบริเวณที่ไม่มีเยื่อหุ้มเรียกว่า Node of Ranvier เป็นบริเวณที่มีความต้านทานไอออนต่ำ ใยประสาทชนิดนี้นำคลื่นกระแสประสาทได้เร็วกว่าพวกไม่มีเยื่อหุ้ม เพราะมีการนำคลื่นกระแสประสาทแบบกระโดด (Saltatory Conduction) จาก Node หนึ่งไปยังอีก Node หนึ่ง

เส้นประสาท



รูปที่ 7.5.4 ส่วนประกอบของเส้นประสาท
(จาก Elaine N. Marieb, 1998)

เส้นประสาทแต่ละเส้นมีเยื่อ Epineurium หุ้ม ซึ่งภายในเยื่อหุ้มนี้มีมัดของเส้นประสาทขนาดเล็กอีกหลายมัด ซึ่งแต่ละมัดหุ้มด้วยเยื่อ Perineurium และภายในมัดเส้นประสาทขนาดเล็กยังมีเส้นประสาทฝอย ซึ่งหุ้มด้วยเยื่อ Endoneurium เยื่อหุ้มทั้ง 3 ชนิดนี้เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

เซลล์ประสาทชนิดเดียวกันที่มาจับกันเป็นก้อนอยู่ในสมองและไขสันหลัง เรียกว่า นิวเคลียส ส่วนเซลล์ประสาทอย่างเดียวกันมาจับกันเป็นก้อนอยู่นอกสมองและไขสันหลัง เรียกว่า ปมประสาท (Ganglion)

ตัวเซลล์และใยประสาทของเซลล์ประสาทประสาทรานนอนอยู่ภายในสมองและไขสันหลัง

ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกอยู่ที่สมองและปมประสาท

ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทสั่งการอยู่ที่สมองและไขสันหลัง

ใยประสาทของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทสั่งการอยู่รวมกันเป็นมัด ซึ่งใยประสาทหลาย ๆ มัดรวมกันเป็นเส้นประสาท

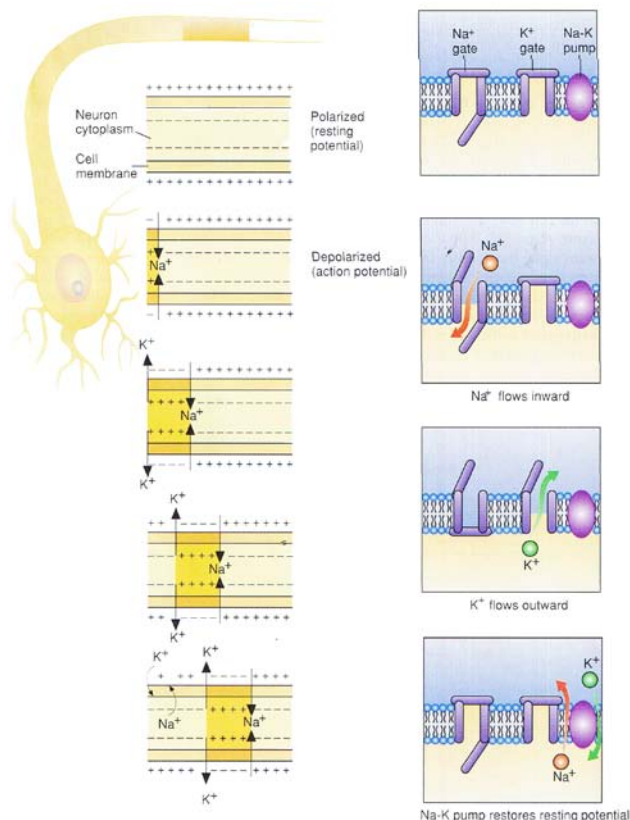
การทำงานของเซลล์ประสาท

1. การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทมีเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับเซลล์ทั่วไป คือ เป็น Phospholipid Bilayer ซึ่งมีคุณสมบัติในการกั้นประจุไฟฟ้า ปกติภายในและภายนอกเยื่อเซลล์มีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เรียกว่า ความต่างศักย์เยื่อหุ้มเซลล์ (Membrane Potential) โดยภายในเยื่อเซลล์ด้านในมีประจุเป็นลบ (-) เมื่อเทียบกับเยื่อเซลล์ภายนอก เมื่อเซลล์ประสาททำงานโดยถูกกระตุ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ Membrane Potential ซึ่งสามารถวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้โดยใช้เครื่องมือ คือ Electroencephalogram (EEG) ในเวลาปกติเยื่อเซลล์ประสาทมีคุณสมบัติในการกั้นประจุไฟฟ้า ช่วงที่เซลล์ยังไม่ถูกกระตุ้น เรียกว่า Resting Membrane Potential (RMP) ส่วน Membrane Potential ขณะที่มีการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทเคลื่อนผ่าน เรียกว่า Action Potential

1) Resting Membrane Potential (RMP) or Polarization เป็นช่วงที่เซลล์ประสาทยังไม่ได้รับการกระตุ้นหรือไม่มีคลื่นประสาทวิ่งผ่าน สารละลายภายนอกและภายในเซลล์ประสาทมีความต่างศักย์ประมาณ 0.06-0.09 โวลต์ โดยภายนอกมีประจุบวก และภายในมีประจุลบ สารประกอบภายนอกเซลล์ส่วนใหญ่เป็น Na^+ และ Cl^- ส่วนภายในเซลล์ประกอบด้วย K^+ อินทรีย์สารที่มีประจุลบ (Organic Anion) สารอินทรีย์พวกนี้ไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อเซลล์ออกมาได้ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะปกติหรือถูกกระตุ้น จึงทำให้ภายในเซลล์มีประจุลบมากกว่าภายนอกและปกติมีการขับโซเดียมออกจากเซลล์ พร้อมกับรับโปแตสเซียมเข้าเซลล์โดยผ่านช่องโปรตีนของเยื่อเซลล์ตลอดเวลา จึงทำให้โซเดียมภายนอกมากกว่าภายใน 10 เท่า และมีโปแตสเซียมภายในมากกว่าภายนอก 30 เท่า ซึ่งสรุปได้ว่า ภายนอกเซลล์มีประจุบวก ส่วนภายในเซลล์มีประจุลบ

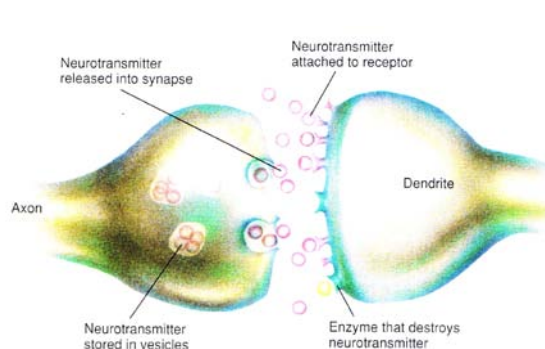
2) Action Potential (AP) เมื่อมีการกระตุ้นใยประสาทแรงพอจะทำให้ช่องโซเดียม (Na^+ Channel) ที่เยื่อเซลล์เปิดออกและ Na^+ จากภายนอกวิ่งเข้าสู่เซลล์ ทำให้เยื่อเซลล์ด้านในบริเวณนั้นเปลี่ยนเป็นประจุบวก ส่วนเยื่อด้านนอกที่ตำแหน่งเดิมเปลี่ยนเป็นประจุลบ และมีการเคลื่อนที่ของโปแตสเซียมจากภายในออกมาภายนอก เพื่อที่จะทำให้ประจุไฟฟ้าข้างนอกกับด้านในเยื่อเซลล์กลับไปอยู่ในสภาวะเดิม การเข้าออกของประจุไฟฟ้าที่ทำให้ประจุไฟฟ้าเปลี่ยนสภาพจากเดิมนี้นี้เรียกว่า Depolarization ซึ่งจะเริ่มต้นของใยประสาทถัดไปที่จะเกิด Depolarization ใหม่ตามมา ส่วนบริเวณที่เกิด



รูปที่ 7.5.5 การทำงานของเซลล์ประสาท
(จาก George B. Johnson, 1997)

2. กระบวนการส่งผ่านของสัญญาณประสาทที่รอยต่อประสาท

(Neurotransmission at Synapses)



รูปที่ 7.5.6 การส่งกระแสประสาทที่รอยต่อประสาท
(จาก George B. Johnson, 1997)

Depolarization เดิมจะมีการนำโซเดียมและโปแตสเซียมกลับเข้าสู่บริเวณเดิมโดยวิธี Na-K pump เรียกว่า Repolarization การเกิด Repolarization ก็เพื่อให้บริเวณนั้นมีประจุเหมือนเดิม ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสประสาทใหม่นั้นเอง Depolarization และ Repolarization เกิดได้รวดเร็วมากในใยประสาทชนิดที่มีเยื่อหุ้ม เพราะเป็นการส่งคลื่นประสาทแบบกระโดดข้ามจาก Node หนึ่งไปยังอีก Node

เซลล์ประสาท 2 เซลล์ที่ติดต่อกันเชื่อมต่อกันด้วยช่องที่เรียกว่า Synapse เมื่อเกิดคลื่นประสาทผ่านไปถึงปลายแอกซอนของใยประสาทที่ Synapse กับเดนไดรต์ของอีกใยประสาทหนึ่งจะเกิดการหลั่งสารสื่อประสาท (Neurotransmitter) จากถุงบรรจุ (Synaptic Vesicle) เข้าสู่ช่องไซแนปส์ แล้วเข้าสู่เซลล์ถัดไปโดยจับกับตัวรับ (Receptor) ของเซลล์นั้น

ที่ปลายเส้นประสาทมีกระบวนการสังเคราะห์การเก็บและการปล่อยของสารสื่อประสาท

สารสื่อประสาทมีหลายชนิด เช่น Acetyl Choline พบมากในระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทรอบนอก นอกจากนี้ได้แก่ Dopamine Serotonin Epinephrine Norepinephrine Endorphine ฯลฯ อีกหลายชนิด

สารสื่อประสาทบางชนิดทำหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์เกิดการนำคลื่นกระแสประสาท บางชนิดยับยั้งการนำคลื่นกระแสประสาทซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของร่างกาย บางชนิดทำให้ร่างกายเกิดความสุข เช่น Endorphine

สารสื่อประสาทเมื่อกระตุ้นให้เกิดคลื่นกระแสประสาทที่เดนไดรต์หรือตัวเซลล์แล้ว สารที่ส่งมาบริเวณไซแนปส์จะสลายตัวไปอย่างรวดเร็ว โดยการทำงานของเอนไซม์ในเลือดและเนื้อเยื่อสารที่ถูกทำลายบางส่วนจะกลับไปสร้างสารสื่อประสาทใหม่ บางส่วนถูกกำจัดออกโดยระบบหมุนเวียนโลหิต ดังนั้น การกระตุ้นที่เดนไดรต์จึงถูกกระตุ้นเฉพาะเวลาที่เอกซอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมาเท่านั้น

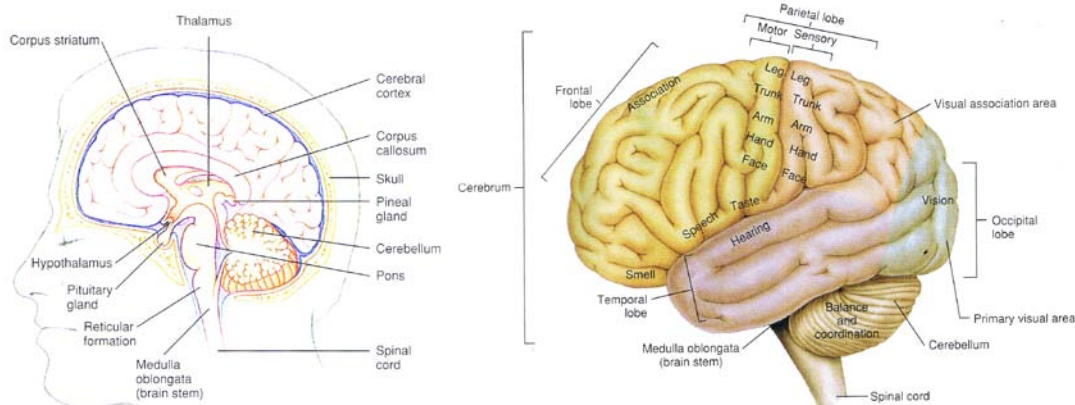
ศูนย์ควบคุมของระบบประสาท

ระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลัง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System; CNS) ประกอบด้วย สมองและไขสันหลัง และระบบประสาทรอบนอก (Peripheral Nervous System; PNS) ประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง 12 คู่ และเส้นประสาทไขสันหลัง 31 คู่

ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS)

สมอง (Brain)

สมองเป็นส่วนที่ยื่นขึ้นไปข้างบนต่อจากไขสันหลัง มีเยื่อหุ้มซึ่งแบ่งเป็น 3 ชั้น ชั้นนอกหนา เหนียว แข็งแรง ทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือน ชั้นกลางเป็นเยื่อบาง ๆ ชั้นในสุดเป็นชั้นที่มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยง นำอาหารและออกซิเจนมาเลี้ยงสมอง ระหว่างเยื่อชั้นกลางกับชั้นในเป็นช่องค่อนข้างใหญ่เป็นที่อยู่ของน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (Cerebrospinal Fluid)



ก.

ข.

รูปที่ 7.5.7 สมองส่วนต่าง ๆ (ก) และตำแหน่งการทำงานบนผิวของเปลือกสมอง (ข)

(จาก George B. Johnson, 1997)

เนื้อสมองแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นนอกมีสีเทา (Gray Matter) เป็นที่รวมของเซลล์ประสาทและแอกซอนชนิดไม่มีเยื่อหุ้ม ชั้นในมีสีขาว (White Matter) เป็นส่วนของใยประสาทที่งอกออกมาจากเซลล์ประสาท

ในสัตว์ชั้นสูงสมองเป็นที่รวมของเส้นใยประสาทจากอวัยวะต่าง ๆ บริเวณหัวและเซลล์ประสาทที่รวมกันเป็นศูนย์ประสานงาน เพื่อทำหน้าที่เกี่ยวกับความคิด ความจำ สติปัญญา สมองซีกซ้ายควบคุมการทำงานของอวัยวะซีกขวา ส่วนสมองซีกขวาควบคุมอวัยวะซีกซ้าย สมองแบ่งเป็น 3 ส่วน

1. สมองส่วนหน้า (Proencephalon) ประกอบด้วย

Cerebrum or Cerebral Hemisphere เป็นสมองที่มีขนาดใหญ่เป็นก้อนกลม 2 ก้อน ด้านซ้าย-ขวา สมองส่วนนี้ในสัตว์ชั้นสูงเจริญดีมาก ทำหน้าที่เกี่ยวกับความจำ เซาวัน เป็นศูนย์รับความรู้สึกในการมองเห็น การได้ยิน การดมกลิ่น และการรับรส สมองส่วนที่เป็นศูนย์รับความรู้สึกในการดมกลิ่นนี้อยู่ด้านหน้าสุด เรียกว่า Olfactory Bulb ในคนส่วนนี้ไม่เจริญเท่าสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิดอื่น

Diencephalon or Thalamus อยู่ถัดลงมาด้านล่างของ Cerebrum เป็นที่รวมตัวของเซลล์ประสาทและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทำหน้าที่เป็นศูนย์ถ่ายทอดของร่างกาย เช่น มีกระแสประสาทจากหู และ ตา ส่งมายัง Thalamus แล้วส่งต่อไปยัง Cerebrum

Hypothalamus เป็นสมองส่วนล่างสุดทำหน้าที่เป็นศูนย์ควบคุมอาการที่เกิดจากอารมณ์และความรู้สึกต่าง ๆ รวมทั้งความรู้สึกทางเพศ ควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกาย ความดันโลหิต ซึ่งกล่าวโดยรวม คือ ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการและพฤติกรรมบางอย่างของร่างกาย

2. สมองส่วนกลาง (Mesencephalon) มีส่วนที่พองออกเป็นกระเปาะ คือ Optic Lobe ทำหน้าที่เกี่ยวกับการเห็น การรับความรู้สึกจากหู จมูก และเส้นข้างลำตัว (Lateral Line) ของปลา

3. สมองส่วนท้าย (Rhombencephalon) ประกอบด้วย

Cerebellum มี 2 พู ซ้าย ขวา เนื้อชั้นนอก (Cortex) เป็นสีเทา (Gray Matter) ชั้นใน (Medulla) มีสีขาว (White Matter) สมองส่วนนี้ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมและประสานงานการทำงานของกล้ามเนื้อ (การเคลื่อนไหว) และควบคุมการทรงตัว

Medulla Oblongata เซลล์ประสาทที่มาจากอวัยวะรับความรู้สึกจะส่งมาที่สมองส่วนนี้ ทำหน้าที่ควบคุมการเต้นของหัวใจ การหายใจ การหดและขยายตัวของเส้นเลือด การไอ จาม อาเจียน

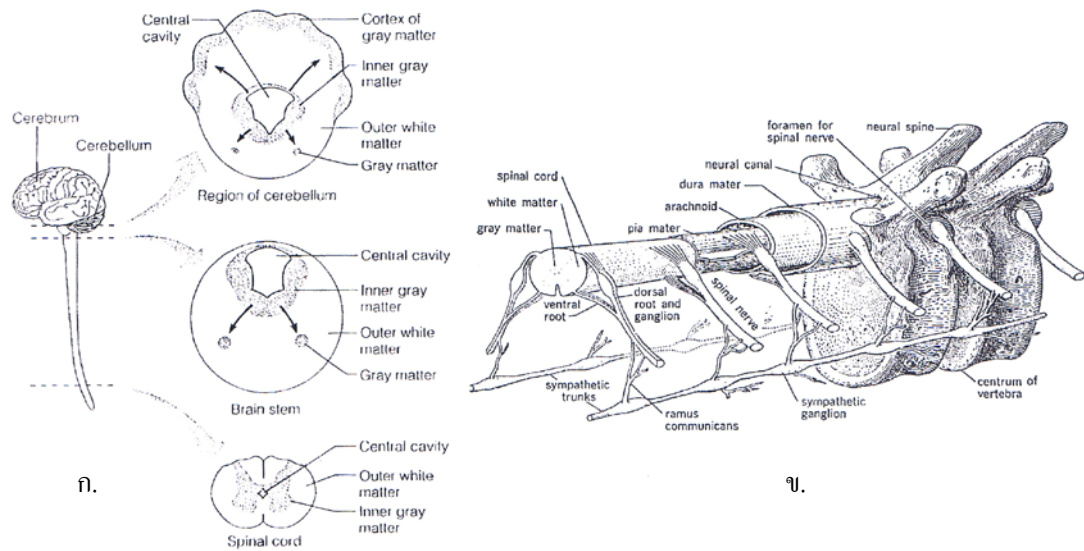
Pons เป็นสมองส่วนที่เชื่อมระหว่าง Cerebellum ซ้ายและขวา ทำหน้าที่ควบคุมการเคี้ยวอาหาร การหลั่งน้ำลาย การเคลื่อนไหวบริเวณใบหน้า และเป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่าง Cerebrum กับ Cerebellum และ Cerebellum กับไขสันหลัง

สมองส่วน Mesencephalon Pons และ Medulla Oblongata ทั้ง 3 ส่วนนี้รวมกันเป็นก้านสมอง (Brain Stem) ซึ่งภายในมีเซลล์ประสาท 2 เส้น ประสาทสมอง (Cranial Nerve) เชื่อมโยงระหว่าง Medulla Oblongata กับ Thalamus มีศูนย์ควบคุมการนอนหลับ ความรู้สึกตัว การหายใจ ความดันเลือด และควบคุมอุณหภูมิและการหลั่งเอ็นไซม์

ไขสันหลัง (Spinal Cord)

ไขสันหลังเป็นส่วนที่อยู่ในกระดูกสันหลังซึ่งเป็นช่องกลาง บรรจุของเหลวเต็มมีเยื่อหุ้ม 3 ชั้น เช่นเดียวกับเยื่อหุ้มสมอง ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นสีเทา (Gray Matter) อยู่ข้างในลักษณะคล้ายตัว H กับส่วนที่อยู่ด้านนอกเป็นสีขาว (White Matter) และมีใยประสาทแตกออกมาจากเซลล์ประสาทมากมายยาวขนานไปตามความยาวของไขสันหลัง ไขสันหลังมีหน้าที่

1. เป็นศูนย์ของการเคลื่อนไหวต่าง ๆ ที่ตอบสนองการสัมผัสทางผิวหนัง
2. เป็นตัวเชื่อมระหว่างอวัยวะรับความรู้สึก (Receptor Organ) กับอวัยวะปฏิบัติงาน (Effector Organ)
3. เป็นทางผ่านทั้งไปและกลับของกระแสประสาทระหว่างไขสันหลังกับสมอง



รูปที่ 7.5.8 ไขสันหลังส่วนต่าง ๆ ลักษณะไขสันหลังที่เชื่อมต่อมาจากสมองและก้านสมอง (ก) และส่วนประกอบของไขสันหลัง (ข)

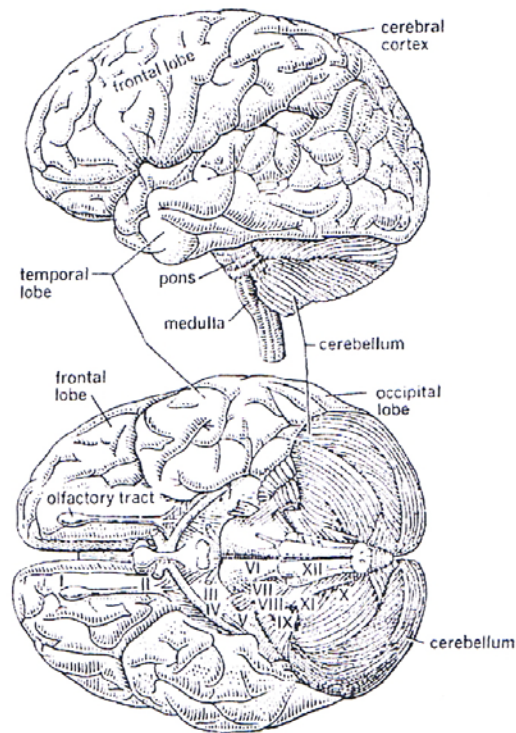
(จาก Elaine N. Marieb, 1998 และ Tracy I. storror & Robert L. Usinger, 1965)

ระบบประสาทสัมผัสรอบนอก (PNS)

ระบบประสาทรอบนอก ได้แก่ เส้นประสาทสมองและเส้นประสาทสันหลัง ใ้รับความรู้สึกจากส่วนต่าง ๆ ทั้งร่างกาย เพื่อเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง (CNS) และจากระบบประสาทส่วนกลางจะส่งคำสั่งไปอีกที่หนึ่ง

1. เส้นประสาทสมอง (Cranial Nerve)

ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมี 12 คู่ ส่วนในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นต่ำมีเส้นประสาทสมองเพียง 10 คู่ เท่านั้น เส้นประสาทสมองทั้ง 12 คู่ มีชื่อจุดที่ออกจากสมองไปสู่ส่วนต่าง ๆ รวมถึงหน้าที่ มีดังนี้



รูปที่ 7.5.9 ตำแหน่งของเส้นประสาทสมอง 12 คู่ ที่ออกจากสมอง
(จาก Tracy I. storror & Robert L. Usinger, 1965)

ตาราง 7.5.1 เส้นประสาทสมองและการทำงาน

คู่ที่ / ชื่อ เส้นประสาท	จุดกำเนิดในสมอง	กระจายไปที่อวัยวะ รับสัมผัส	หน้าที่
I Olfactory	Olfactory Lobe	Olfactory Epithelium ในช่องจมูก	รับความรู้สึก : รับกลิ่น
II Optic	Optic Lobe ของสมองส่วนกลาง	เรตินาของตา	รับความรู้สึก : การ มองเห็น
III Oculomotor	พื้นสมองส่วนกลาง	ตา : กล้ามเนื้อมัดยัด ลูกตา , รูม่านตา เลนส์ตา และ หนังตา	นำคำสั่ง : เคลื่อนไหว ลูกตา , รูม่านตา , เลนส์ตา และ หนังตา
IV Trochlear	พื้นสมองส่วนกลาง	ตา : กล้ามเนื้อยึดลูก ตา มัดบน	นำคำสั่ง : การกรอกลูก ตา

ตาราง 7.5.1 เส้นประสาทสมองและการทำงาน (ต่อ)

คู่ที่ / ชื่อ เส้นประสาท	จุดกำเนิดในสมอง	กระจายไปที่อวัยวะ รับสัมผัส	หน้าที่
V Trigeminal	ด้านข้างของเมดูลลา	ด้านบนและข้างของ ศีรษะหน้า ขากรรไกร และฟัน	รับความรู้สึก : หัวด้านหน้า , หนังตา บน , ด้านข้างของ จมูก , ฟัน นำคำสั่ง : ม้วนลิ้นและ กล้ามเนื้อใช้ในการ เคี้ยว
VI Abducens	ด้านข้างของเมดูลลา	ตา : ด้านนอกของ กล้ามเนื้อเรคตัสของลูก ตา	นำคำสั่ง : กรอกลูกตา
VII Facial	ด้านข้างและพื้นของเม ดูลลา	ลิ้น (2 ใน 3 ส่วน ด้านหน้า) กล้ามเนื้อ หน้า , ของการเคี้ยว และของคอ	รับความรู้สึก : รับรู้รส นำคำสั่ง : การแสดง สีหน้า , การเคี้ยว , การเคลื่อนไหวคอ
VIII Auditory	ด้านข้างของเมดูลลา	หูชั้นใน : 1. อวัยวะของ Corti ใน Cochea 2. Semicircular Canals	รับความรู้สึก : 1. การได้ยิน 2. ความสมดุลร่างกาย
IX Glosso Pharyngeal	ด้านข้างของเมดูลลา	ลิ้น (1 ใน 3 ส่วนหลัง) เยื่อเมือกและกล้ามเนื้อ ของลำคอ (คอหอย)	รับความรู้สึก : รับรส และสัมผัส นำคำสั่ง : เคลื่อนไหว ในลำคอ (คอหอย)

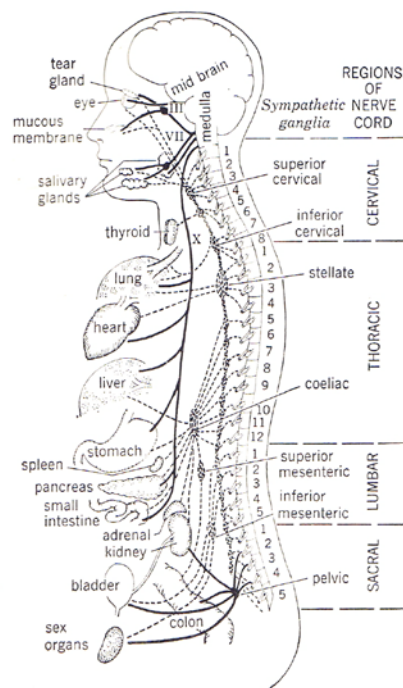
ตาราง 7.5.1 เส้นประสาทสมองและการทำงาน (ต่อ)

คู่ที่ / ชื่อ เส้นประสาท	จุดกำเนิดในสมอง	กระจายไปที่อวัยวะ รับสัมผัส	หน้าที่
X Vagus	ด้านข้างและพื้นของเม ดูลลา	ลำคอ , เส้นเสียง , ปอด , หัวใจ , หลอด อาหาร , กระเพาะ อาหาร และลำไส้	รับความรู้สึก : เส้น เสียง , ปอด นำคำสั่ง : ลำคอ , เส้น เสียง , ปอด , หลอด อาหาร , กระเพาะ อาหาร , หัวใจ ; ยับยั้ง การเต้นของหัวใจ
XI Spinal Accessory	พื้นของเมดูลลา	กล้ามเนื้อเพดานปาก , กล่องเสียง , เส้นเสียง และคอ	นำคำสั่ง : กล้ามเนื้อ ของลำคอ , กล่องเสียง และคอ
XII Hypoglossal	พื้นของเมดูลลา	กล้ามเนื้อของลิ้น (และ คอ)	นำคำสั่ง : ม้วนลิ้น

2. เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal Nerve)

ตัวเส้นประสาทสันหลังบริเวณโคนหรือรากของประสาทสันหลังแบ่งออกเป็น
ตัวรับความรู้สึก (Sensory Neuron) ตัวเซลล์จะอยู่ในปมของรากด้านบน (Dorsal Root
Ganglion) ใช้รับความรู้สึกจากส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเข้ามายังไขสันหลัง เส้นประสาทสัน
หลังอีกชนิดหนึ่งเป็นพวกตัวนำคำสั่ง (Motor Neuron) ตัวเซลล์อยู่ใน Ventral Horn ใช้นำ
คำสั่งไปสู่อวัยวะหรือกล้ามเนื้อ

เส้นประสาทสันหลังของ人有 31 คู่ เรียกชื่อตามบริเวณกระดูกสันหลังข้างเคียง
คือ เส้นประสาทบริเวณคอ (Cervical Nerve) มี 8 คู่ เส้นประสาทบริเวณอก (Thoracic
Nerve) มี 12 คู่ เส้นประสาทบริเวณเอว (Lumbar Nerve) 5 คู่ เส้นประสาทกระเบนเหน็บ
(Sacral Nerve) 5 คู่ และเส้นประสาทบริเวณก้นกบ (Coccygeal Nerve) 1 คู่



รูปที่ 7.5.10 เส้นประสาทสันหลัง 31 คู่ของคน
(จาก Tracy I. storer & Robert L. Usinger, 1965)

การทำงานของระบบประสาท

ระบบประสาทรอบนอก (PNS) ได้แก่ เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (Sensory Nerve) และเซลล์ประสาทสั่งการ (Motor Nerve) เซลล์ประสาทสั่งการ แบ่งได้ 2 ระบบ คือ ระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนมัติ

1. ระบบประสาทโซมาติก หรือระบบประสาทใต้อำนาจจิตใจ (**Somatic Nerve System ; SNS or Voluntary System**) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายนอกร่างกาย เป็นการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลาย กระดูก โดยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองเข้าสู่ไขสันหลังหรือสมอง และกระแสประสาทนำคำสั่งจากสมองจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทสมองหรือเส้นประสาทไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน คือกล้ามเนื้อลาย

บางครั้งการทำงานของกล้ามเนื้ออาจได้รับคำสั่งจากไขสันหลังเท่านั้น โดยไม่ต้องผ่านสมอง การตอบสนองเช่นนี้ เรียกว่า รีเฟล็กซ์ (Reflex) เช่น การใช้ค้อนยางเคาะหัวเข่าแล้วเกิดการกระตุกขา

รีเฟล็กซ์ (Reflex)

Reflex คือ การตอบสนองของร่างกายต่อตัวกระตุ้น โดยการเชื่อมโยงต่อกันของเซลล์ประสาทตั้งแต่สองเซลล์ขึ้นไป เรียกว่า วงจรรีเฟล็กซ์ (Reflex Arc) ซึ่งประกอบด้วยประสาทรับความรู้สึก ประสาทส่วนกลาง (CNS) และประสาทสั่งการโดยสัญญาณประสาท ไม่ผ่านส่วนตัดสินใจขั้นสูงในสมองส่วนบนมากนัก วงจรรีเฟล็กซ์ ประกอบด้วยหน่วยต่าง ๆ 5 หน่วย

1. ตัวรับรู้ (Receptor) ที่อยู่ในอวัยวะรับความรู้สึกทั้งภายนอกหรือภายใน เช่น ตัวรับรู้ความร้อน เย็น เจ็บปวด ตัวรับรู้จากหู ตา จมูก อวัยวะรับรู้การทรงตัว เป็นต้น

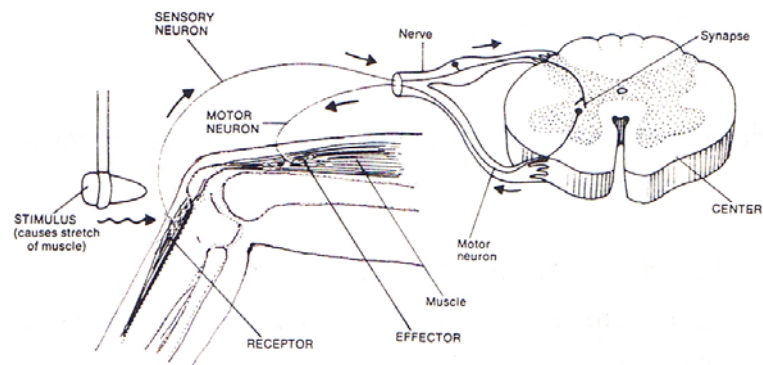
2. ประสาทนำเข้า (Afferent or Sensory Nerve) ได้แก่ เส้นประสาทนำความรู้สึกซึ่งเข้าทางแขนงบน (Dorsal Root) ของเส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal Nerve) วงจรรีเฟล็กซ์อาจเกิดได้ทั้งในระดับไขสันหลังและระดับสมอง

3. ศูนย์กลางรีเฟล็กซ์ (Reflex Center) อาจอยู่ในไขสันหลังหรือก้านสมอง (Brain Stem) ก็ได้ ซึ่งจะเป็นที่รวบรวมของข้อมูลที่รับเข้าแล้วมีการวิเคราะห์ข้อมูล พร้อมกับส่งสัญญาณไปยังประสาทนำออก

4. ประสาทนำออก (Efferent or Motor Nerve) เป็นแอกซอนของ Motor Nerve ซึ่งไปควบคุมการทำงานของอวัยวะทำงาน

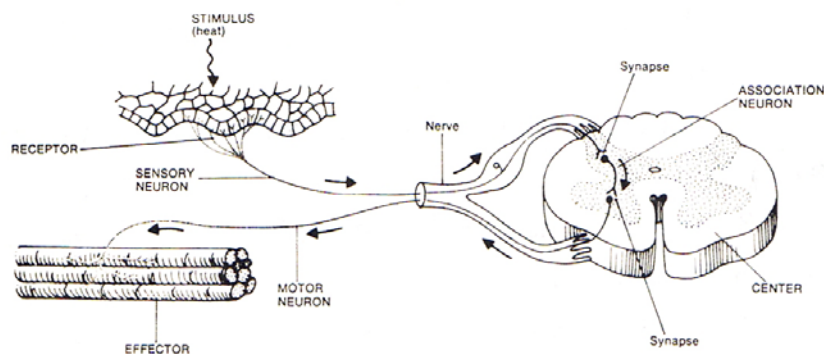
5. อวัยวะทำงาน (Efferent Organ) ได้แก่ กล้ามเนื้อและต่อมต่าง ๆ

วงจรรีเฟล็กซ์ชนิดที่ใช้เซลล์ประสาทน้อยที่สุด คือ 2 เซลล์ ได้แก่ เซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทนำคำสั่งซึ่งจะมีไซแนปส์อันเดียว



รูปที่ 7.5.11 วงจรรีเฟล็กซ์ชนิดไม่มี Association Neuron

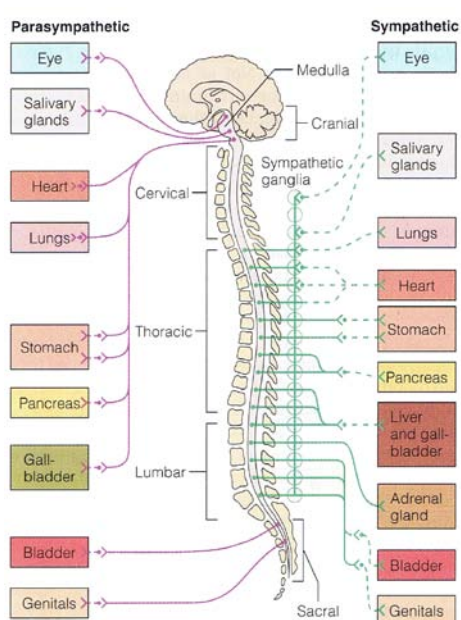
วงจรรีเฟล็กซ์ที่มีสามเซลล์จะเพิ่มใยประสาทประสานงาน (Associate Nerve Fiber) ซึ่งจะอยู่ระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกกับเซลล์ประสาทนำคำสั่ง จึงเป็นรีเฟล็กซ์ที่มีไซแนปส์ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งเวลาที่เสียไปในการเกิดรีเฟล็กซ์ คือ นับตั้งแต่กระตุ้นจนถึงตอบสนอง (Reflex Time) นานกว่ารีเฟล็กซ์ที่มีไซแนปส์เดียว



รูปที่ 7.5.12 วงจรรีเฟล็กซ์ชนิดที่มี Association Neuron

รีเฟล็กซ์ที่เกิดกับกล้ามเนื้อหลาย ๆ มัดพร้อมกันมักเรียกว่า รีเฟล็กซ์แอกชั่น (Reflex Action) เป็นรีเฟล็กซ์ที่ทำให้คนหรือสัตว์หลบหลีกอันตรายได้รวดเร็วทันเหตุการณ์ อวัยวะภายในก็เกิดรีเฟล็กซ์แอกชั่นได้เองโดยไม่ต้องรับคำสั่งจากสมอง เช่น การเต้นของหัวใจ การหลั่งน้ำย่อย การบีบไล่ก้อนอาหารจากหลอดอาหารลงสู่กระเพาะอาหาร การหายใจ เป็นต้น

2. ระบบประสาทอัตโนมัติหรือระบบประสาทนอกอำนาจจิตใจ (Autonomic Nervous System ; ANS or Involuntary System)



รูปที่ 7.5.13 ระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

ระบบประสาท ANS ควบคุมอวัยวะภายในทั้งหมด มี 2 ส่วน ได้แก่

1) ระบบประสาทซิมพาเทติก (Sympathetic Nervous System) ได้แก่ เส้นประสาทที่แยกออกจากไขสันหลังบริเวณอกและเอว ทำหน้าที่เกี่ยวกับการตื่นตัว

2) ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (Parasympathetic Nervous System) ได้แก่ เส้นประสาทที่ออกจากสมองคู่ที่ 3 , 7 , 9 และ 10 ซึ่งส่วนใหญ่ออกจาก Medulla Oblongata และเส้นประสาทที่ออกจากไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บ ทำหน้าที่ตรงข้ามกับระบบประสาทซิมพาเทติก

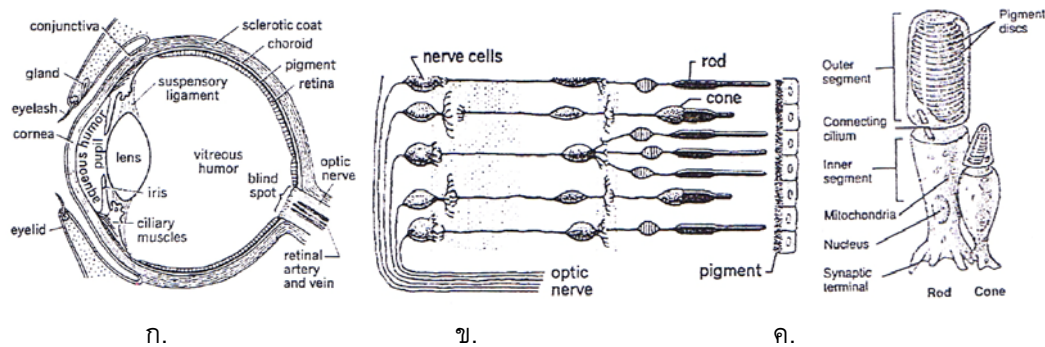
ตาราง 7.5.2 เปรียบเทียบระบบประสาท Sympathetic กับ Parasympathetic

	Sympathetic	Parasympathetic
1. เซลล์ประสาท	อยู่ในไขสันหลังบริเวณอกและหลังไขแฉะ	อยู่ในสมองส่วน Medulla Oblongata และไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บ อกและเอว
2. ปมประสาท	อยู่ใกล้ศูนย์สั่งงาน ทำให้เส้นประสาทนำคำสั่งหน้าไขแฉะสั้นกว่าเส้นประสาทหลังไขแฉะ	อยู่ใกล้ศูนย์สั่งการแต่ใกล้หน่วยปฏิบัติงาน ทำให้เส้นประสาทนำคำสั่งหน้าไขแฉะยาวกว่าเส้นประสาทหลังไขแฉะ
3. ปลายประสาทแอกซอนหลังไขแฉะสร้างสารสื่อประสาท	Norepinephrine (NE)	Acetylcholine

อวัยวะรับสัมผัส (Sense Organ)

อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ (Special Sense Organ) ได้แก่ ตา หู จมูก และลิ้น

ตา (Eye) และการมองเห็น



ก.

ข.

ค.

รูปที่ 7.5.14 ลูกตา (ก) โครงสร้างของเรตินา (ข) และเซลล์รูปกรวยและรูปแท่ง (ค)

(จาก Tracy I. storror & Robert L. Usinger, 1965)

ลูกตา แบ่งเป็นสองห้องด้านหน้าและด้านหลังมีของเหลวบรรจุอยู่ทำให้ลูกตากคงรูปร่างอยู่ได้ หนึ่งตาแบ่งเป็น 3 ชั้น

ชั้นนอกหรือเปลือกตา (Sclera or Sclerotic Coat) เป็นส่วนป้องกันอันตราย มีสีขาและทึบแสงยกเว้นด้านหน้าซึ่งโปร่งใส เป็นทางผ่านของแสงเข้าสู่ลูกตามีลักษณะนูนเล็กน้อย เรียกว่า กระจกตา (Cornea)

ชั้นกลาง (Choroid or Pigmented Layer) เป็นชั้นที่มีเส้นเลือดฝอยซึ่งนำอาหารมาเลี้ยงลูกตา ผนังด้านหน้ามีความหนา เรียกว่า Ciliary Body ซึ่งทำหน้าที่ผลิตของเหลวใส เรียกว่า Aqueous Humor or Vitreous Humor มีกล้ามเนื้อเรียบเรียงตัวทั้งในรูปวงแหวนและตามยาว คือ Ciliary Muscle ด้านที่ใกล้กับกระจกตา มีลักษณะเป็นแผ่นแบนยื่นออกมาคลุมเลนส์ตาไว้ คือ ม่านตา (Iris) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อเรียบเช่นกัน บริเวณตรงกลางที่ไม่มีม่านตาปิด คือ รูม่านตา (Pupil) เป็นส่วนที่มีสีต่าง ๆ ซึ่งเป็นสีตา ม่านตามีก้ามเนื้อเล็ก ๆ สองมัดยึดติดอยู่ทำหน้าที่ควบคุมการขยายหรือหดตัวของรูม่านตาในการรับแสง

การขยายหรือหดตัวของม่านตาเป็นปฏิกิริยารีเฟล็กซ์ปกติของคนและสัตว์เพื่อควบคุมไม่ให้แสงเข้าสู่ลูกตาเกินไป

ในชั้นนี้ยังมีเลนส์ตา (Crystalline Lens) มีลักษณะโปร่งแสงและไม่มีสีเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้เล็กน้อยยึดติดด้วยเอ็นยึดเลนส์ (Suspensory Ligament) ซึ่งมีลักษณะกลมยื่นออกมาจาก Ciliary Body

ชั้นในหรือจอตา (Retina or Light Sensitive Layer) มีบริเวณตั้งแต่ Ciliary Body ไปตามความโค้งลูกตาจนถึงช่องทางออกของเส้นประสาท (Optic Nerve) มีเนื้อเยื่อประสาทเซลล์รับการกระตุ้นที่ไวต่อการรับแสงและเซลล์อื่นอีกหลายชนิด

เซลล์รับแสง ได้แก่ เซลล์รูปแท่ง (Rod Cells) และเซลล์รูปกรวย (Cone Cells) ซึ่งมีการเรียงตัวหนาแน่นไม่สม่ำเสมอ บริเวณที่เป็นทางออกของเส้นประสาทลูกตาไปยังสมอง (Optic Disk) พบว่า ไม่มีเซลล์รับแสง ดังนั้นเมื่อแสงตกลงที่บริเวณนี้จึงไม่เห็นภาพเรียกว่า จุดบอด (Blind Spot) บริเวณใกล้กับจุดบอดมีลักษณะเป็นวงสีเหลือง ซึ่งเป็นที่ตั้งของ Fovea Centralis จะมีเฉพาะเซลล์รูปกรวยเท่านั้น ส่วนเซลล์ชนิดอื่นรวมทั้งเส้นเลือดก็มีน้อย จึงทำให้มีเรตินาที่บางมาก แสงสามารถผ่านไปถึง Cone Cell ได้ง่าย ทำให้มีความไวต่อการรับภาพและภาพมีความคมชัดที่สุด Fovea มีเฉพาะในสัตว์ที่มีวิวัฒนาการสูงเท่านั้น

เซลล์รูปแท่งรับแสงได้แม้ในที่แสงสลัวรับภาพขาว-ดำ ส่วนเซลล์รูปกรวยรับภาพสีทำงานได้เฉพาะเวลาที่มีแสงสว่างมาก ๆ ในคนมีเซลล์รูปแท่งมากกว่าเซลล์รูปกรวยถึง 4 เท่า สัตว์หากินกลางคืน เช่น นกฮูก ค้างคาว มีเซลล์รูปแท่งมากกว่าเซลล์รูปกรวยมาก

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเซลล์รูปแท่ง

เมื่อเซลล์รูปแท่งได้รับแสงเพียงเล็กน้อยจะทำให้สารโรดอปซิน (Rhodopsin) ในเซลล์สลายตัวเป็นออกพซินและเรตินัลพร้อมกับเกิดกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดคลื่นประสาทขึ้นในเซลล์ แล้วส่งไปตามเส้นใยประสาทเข้าสู่สมองเพื่อแปลความหมาย เซลล์รูปแท่งสามารถสร้างโรดอปซินขึ้นได้เอง ผู้ที่ขาดวิตามินเอ (Retinal) จะไม่สามารถสร้างโรดอปซิน ทำให้มองไม่เห็นในที่แสงสลัวเป็นอาการตาฟางตอนกลางคืน (Night Blindness)

การทำงานของเซลล์รูปกรวย

เซลล์รูปกรวยมี 3 ชนิด ตามชนิดของสารสี คือ ชนิดที่ตอบสนองต่อสีเขียว น้ำเงิน และแดง มีมากที่สุดบริเวณโฟเวีย ถ้าเซลล์ที่รับสีชนิดใดถูกกระตุ้นก็จะเห็นภาพเป็นสีนั้น ถ้าถูกกระตุ้นพร้อมกันทั้ง 2 สี จะเห็นภาพเป็นสีผสมและถ้าขาดเซลล์รับสีชนิดใดก็จะรับสีนั้นไม่ได้ เรียกว่า ตาบอดสี (Color Blindness)

กลไกการเกิดภาพ

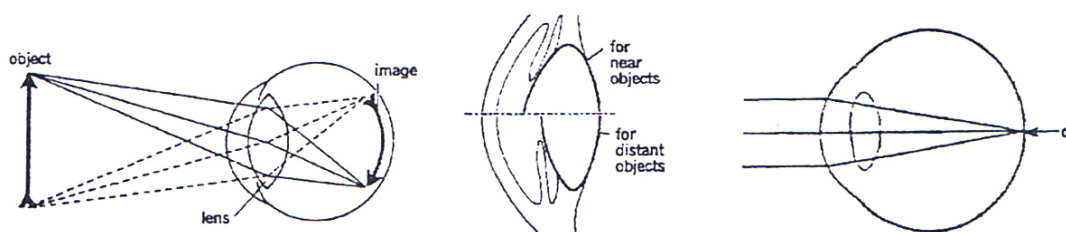
เมื่อลำแสงจากวัตถุตกกระทบบนเลนส์ตา (Cornea และ Crystalline Lens) ลำแสงจะหักเหมารวมกันเกิดภาพหัวกลับที่จุดโฟกัสบนเรตินาพร้อมกับกระตุ้นเซลล์ รูปแท่ง และเซลล์รูปกรวยให้เกิดพลังงานทำให้เกิดคลื่นกระแสประสาทส่งไปที่สมอง (Cerebral Cortex) เพื่อแปลเป็นภาพในลักษณะเหมือนวัตถุจริง

คนสายตาสั้น เลนส์ตาสามารถปรับภาพให้ชัดเจนได้เมื่อวัตถุเคลื่อนที่เข้าใกล้ หรือห่างไกลออกไป โดยการทำงานของประสาทสมองคู่ที่ 3 (Oculomotor Nerve) ซึ่งเป็น Parasympathetic ไปควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเย็บเลนส์ตา (Ciliary Muscle) และเอ็นยึดเลนส์ตา (Lens Ligament) ทำให้เห็นภาพชัดเจน

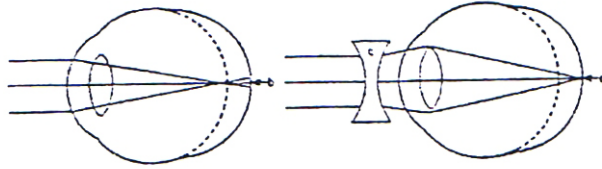
สำหรับคนสายตาสั้นผิดปกติเกิดจากการรับภาพจากระบบเลนส์ตาภาพไม่ตกลงบนเรตินาอาจใกล้หรือไกลออกไป โดยที่กล้ามเนื้อหรือเอ็นยึดเลนส์ไม่สามารถบังคับเลนส์ได้จึงเกิดสายตาสั้นหรือสายตาสั้น ต้องใช้เลนส์เว้าช่วยสำหรับสายตาสั้นและใช้เลนส์นูนช่วยสำหรับสายตายาว

สายตาสั้นเกิดเนื่องจากเลนส์ตาโค้งไม่เท่ากัน บางส่วนของภาพจะตกลงบนเรตินาทำให้ได้ภาพไม่ชัดต้องใช้เลนส์นูนรูปกบกล้วยแก้ไขให้ภาพทั้งหมดตกบนเรตินา

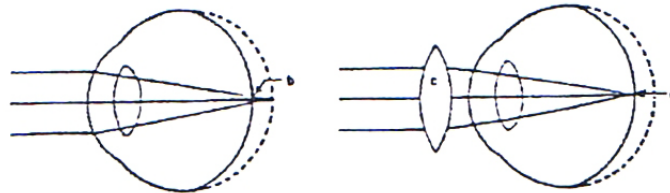
1. ตาบอดภาพตกบนเรตินาพอดี



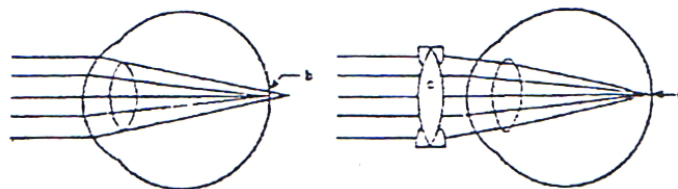
2. สายตาสั้นเกิดจากกระบอกตายาวเกินไป ทำให้ภาพตกไม่ถึงเรตินา แก้ไขโดยใช้เลนส์เว้า



3. สายตายาวเกิดจากกระบอกตาสั้นเกินไป ภาพตกหลังเรตินา แก้ไขโดยใช้เลนส์นูน

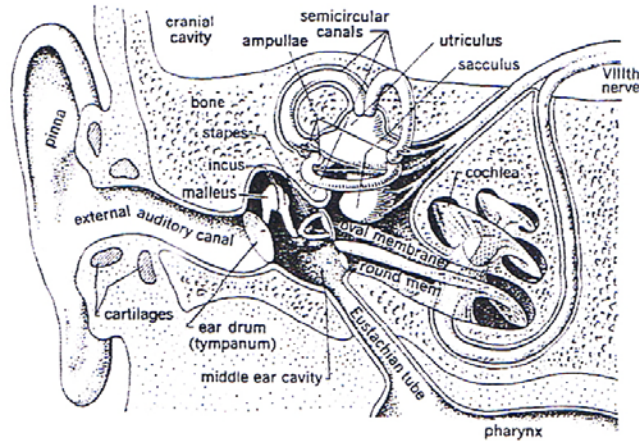


4. สายตาเอียงเกิดจากเลนส์โค้งไม่เท่ากัน บางส่วนของภาพตกบนเรตินา แก้ไขโดยใช้เลนส์นูนกาบกล้วย



หู (Ear) การได้ยินและการทรงตัว (Hearing and Equilibrium)

หู เป็นอวัยวะรับฟังเสียงและการทรงตัว แบ่งได้ 3 ส่วน

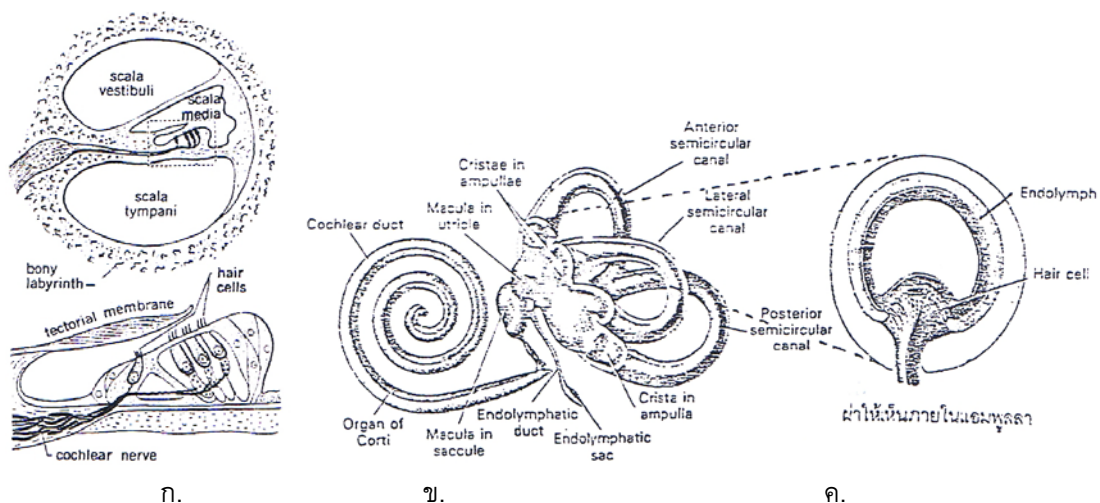


รูปที่ 7.5.15 ส่วนประกอบของหู (จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

1. หูส่วนนอก (External Ears) ประกอบด้วย ใบหู และช่องหูทำหน้าที่รับเสียงให้เข้าสู่ช่องหูส่วนนอกเพื่อไปกระทบเยื่อหูและป้องกันอันตรายให้หู โดยที่ผนังเยื่อหูช่องหูส่วนนอกมีต่อมและขนช่วยในการผลิตขี้หู (Ear Wax) เพื่อป้องกันแมลงและฝุ่นละอองไม่ให้เข้าหูภายใน

2. หูส่วนกลาง (Middle Ear) เริ่มจากแก้วหู (Tympanic Membrane) เป็นเยื่อบางซึ่งอยู่บนขอบกระดูกวงแหวน (Annulus Tympanicus) ภายในช่องหูมีช่องติดต่อกับช่องคอ คือ Eustachian Tube ทำหน้าที่ลดแรงสั่นสะเทือนและปรับความดันภายในกับภายนอกให้เท่ากัน ปกติท่อนี้จะปิดแต่ขณะเคี้ยวอาหาร ท่อจะเปิดเพื่อปรับความดันภายในช่องหูมีกระดูก 3 ชิ้น คือ กระดูกรูปค้อน (Malleus) กระดูกทั่ง (Incus) และกระดูกโกลน (Stapes) ยึดกันอยู่โดยปลายของกระดูกค้อนและอยู่กับด้านหลังของเยื่อแก้วหูและปลายของกระดูกโกลนแตะกับผนังของเยื่อรูปไข่ (Oval Window) กระดูกทั้ง 3 ชิ้นมีหน้าที่เปลี่ยนคลื่นเสียงที่มากกระทบเยื่อแก้วหูให้เป็นคลื่นของเหลวส่งไปยังหูส่วนใน

3. หูส่วนใน (Inner Ear) ประกอบด้วย ส่วนที่เป็นท่อกลวง (Channel) และส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อ (Membrane) ซึ่งเป็นถุงบรรจุของเหลว คือ Endolymph หูส่วนนี้ประกอบด้วยอวัยวะ 2 ชุด คือ



รูปที่ 7.5.16 อวัยวะรับเสียง (ก) อวัยวะทรงตัว (ข) และแอมพลูลา (ค)

(จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

1) อวัยวะรับเสียง (Cochlea) เป็นหลอดยาวขดซ้อนกันคล้ายกันหอย ภายในมีของเหลวบรรจุอยู่ คลื่นเสียงที่ผ่านเข้ามาถึงคอเคลียจะทำให้ของเหลวภายในสั่นสะเทือน กระตุ้นอวัยวะรับเสียงให้ส่งคลื่นกระแสประสาทไปทางเส้นประสาทรับฟัง (Auditory Nerve) เข้าสู่สมองส่วนซีรีบรัมเพื่อแปลความหมาย

2) อวัยวะรับความรู้สึกเกี่ยวกับการทรงตัว (Organ of Equilibrium) เป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทรงตัวและสมดุลของร่างกาย ประกอบด้วย หลอดครึ่งวงกลม (Semicircular Canal) 3 หลอดวางตัวตั้งฉากกัน ภายในมีของเหลว (Endolymph) แต่ละหลอดมีส่วนที่พอง (Ampulla) ภายในมีเซลล์รับความรู้สึกซึ่งในเซลล์มีขนเล็ก ๆ ใน แอมพลูลามีหินก้อนเล็ก ๆ คือ โอโทลิธ เมื่อเอียงตัวของเหลวจะไปกระทบกับโอโทลิธให้กลิ้งไปกระทบขน ส่งความกระเทือนไปยังเซลล์และส่งไปยังสมองทำให้ทราบถึงตำแหน่งที่อยู่ว่าเอียงไปทางไหนโดยไม่จำเป็นต้องลืมตา就知道

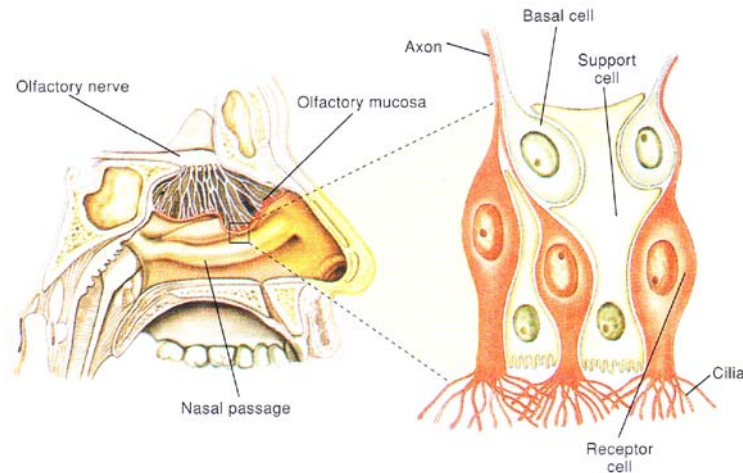
จมูกและการดมกลิ่น

จมูกเป็นอวัยวะดมกลิ่น แบ่งได้ 3 ส่วน

1. Vestibular Region เป็นส่วนแรกของลมหายใจเข้า เป็นจมูกส่วนนอกมีขนจมูกและต่อมน้ำมัน

2. Respiratory Region ส่วนหายใจภายในมีต่อมน้ำเมือกและเส้นเลือดฝอยมาก

3. Olfactory Region ส่วนดมกลิ่นมีตัวประสาท (Olfactory Nerve) ติดต่อกับ Olfactory Bulb เข้าสู่ประสาทสมองคู่ที่ 1 ทำหน้าที่เกี่ยวกับการดมกลิ่น จมูกส่วนนี้มีเยื่อเมือกมีช่องติดต่อกับคอหอยทำให้ได้กลิ่นอาหาร

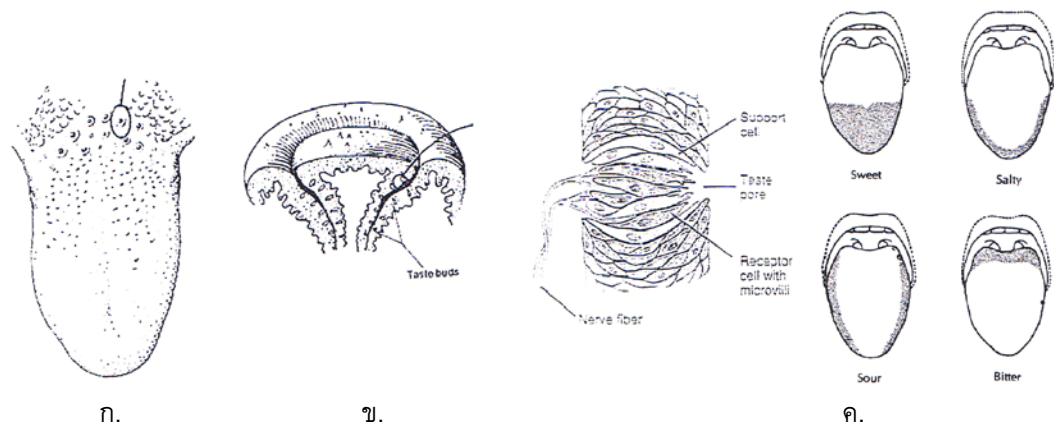


รูปที่ 7.5.17 จมูก (จาก George B. Johnson, 1997)

ลิ้นและการรับรส (Tongue and Taste)

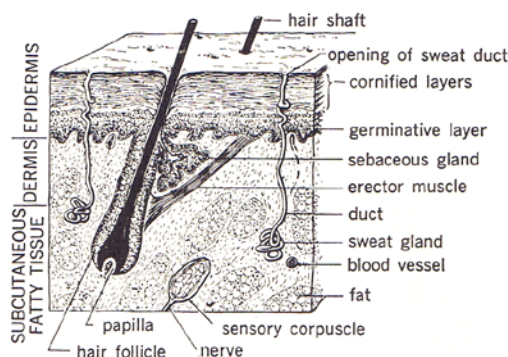
ลิ้นเป็นอวัยวะที่ใช้ชิมรสมีต่อมรับรส (Taste Bud) แบ่งได้ 4 ประเภท

1. รสเปรี้ยว (Sour) เกิดจากการกระตุ้นของสารที่มีฤทธิ์เป็นกรดบริเวณขอบลิ้นจะตอบสนองรสเปรี้ยวได้ดีที่สุด
2. รสเค็ม (Salty) เกิดจากไอออนที่มีประจุบวกของเกลือชนิดต่าง ๆ เกลือ Na^+ และ HN_4^+ มีรสเค็มที่สุด ผิวบนของลิ้นตอบสนองรสเค็มได้ดีที่สุด
3. รสหวาน (Sweet) เกิดจากโมเลกุลของ Hydroxy Group พวก Saccharine , Chloroform , Sugar , Alcohol , Amino Acid , Ketone ปลายลิ้นตอบสนองรสหวานได้ดี
4. รสขม (Bitter) เกิดจากสารกลุ่ม Alkaloids และ Long Chain Organic Molecule ซึ่งเป็นกลุ่มยาหลายชนิด ส่วนโคนลิ้นตอบสนองรสขมได้ดี



รูปที่ 7.5.18 ลิ้น (ก) ต่อมรับรส (ข) และบริเวณรับรส (ค) (จาก George B. Johnson, 1997)

เซลล์รับรส (Gustatory Cell) อยู่ในตุ่มรับรส (Taste Bud) ซึ่งจะส่งกระแสความรู้สึกไปยังแขนงของ Cranial Nerve คู่ที่ 7 ซึ่งมาเลี้ยงที่บริเวณ 2 ใน 3 ส่วน ด้านปลายลิ้น Cranial Nerve คู่ที่ 9 ซึ่งมาเลี้ยงที่บริเวณ 1 ใน 3 ส่วน ด้านโคนลิ้นและ Cranial Nerve คู่ที่ 10 ซึ่งมาเลี้ยงบริเวณ Epiglottis และลำคอแล้วส่งต่อไปยัง Medulla Oblongata Thalamus ด้านข้างของ Cerebrum



รูปที่ 7.5.19 ผิวหนัง (จาก Tracy I. storrer & Robert L. Usinger, 1965)

อวัยวะรับความรู้สึกทั่วไป (General Sense Organ) ได้แก่ ผิวหนัง

ผิวหนังรับความรู้สึกได้หลายชนิด เช่น ความเจ็บปวด ความร้อน ความเย็น แรงกด ปลายประสาทแต่ละชนิดที่รับความรู้สึกเหล่านี้มีรูปร่างต่าง ๆ กัน ผิวหนังมีเซลล์ประสาทรับรู้อุณหภูมิ ความกดดัน ความเจ็บปวด การสัมผัส ซึ่งตัวเซลล์ประสาทจะอยู่ในชั้นหนังแท้ (Dermis) ซึ่งอยู่ใต้หนัง

กำพวด (Epidermis) รับสัมผัสโดย Meissner's Corpuscles, Merkel's discs, root hair plexus รับความกดดันโดย Pacinnian Corpuscles รับความเย็นโดย End Bulbs of Krause รับความร้อนโดย End Organs of Ruffini รับความเจ็บปวดโดย Dendrite (ของเซลล์ประสาทบางชนิด)

7.6 ระบบต่อมไร้ท่อ (The Endocrine System)

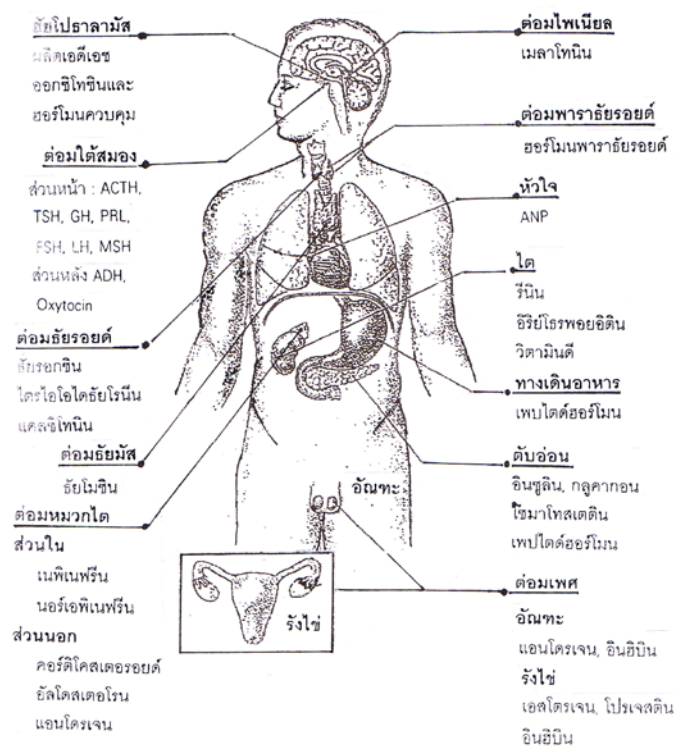
ระบบอวัยวะของร่างกาย มีการทำงานประสานกัน ทำให้การดำรงชีวิตเป็นไปอย่างราบรื่นและมีดุลยภาพ (Homeostasis) ระบบที่ควบคุมการทำงานของร่างกายมี 2 ระบบ คือ ระบบประสาท (Nervous System) และระบบต่อมไร้ท่อ (Endocrine System) โดยทำงานร่วมกันในการควบคุมการกระตุ้นและการตอบสนองซึ่งกันและกัน เป็นผลให้เกิดการนำข่าวสาร คำสั่งจากศูนย์ควบคุมร่างกายไปยังอวัยวะที่ปฏิบัติงานของร่างกาย ระบบประสาทส่งข่าวสารไปยังเซลล์เป้าหมายโดยผ่านทางเซลล์ประสาท เส้นใยประสาท และสารสื่อประสาทที่เส้นใยประสาทสร้างขึ้น เป็นระบบส่งสารที่รวดเร็ว แต่คงผลในระยะสั้น ๆ และมีความจำเพาะ (Specific Message) ซึ่งตรงข้ามกับระบบต่อมไร้ท่อที่มีการทำงานค่อนข้างช้าแต่คงผลการทำงานระยะยาว เนื่องจากอวัยวะบางอย่างต้องอาศัยระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดผล เช่น การเจริญเติบโต เป็นต้น

ฮอร์โมน (Hormone) เป็นสารเคมีที่สร้างมาจากต่อมไร้ท่อ หรือ เนื้อเยื่อของอวัยวะบางชนิด แล้วลำเลียงไปโดยระบบหมุนเวียนโลหิต ออกฤทธิ์ควบคุมการทำงานของอวัยวะที่เฉพาะ คือ อวัยวะเป้าหมาย (Target Organ) ฮอร์โมนจะสร้างตลอดเวลาในปริมาณที่ร่างกายต้องการ คือ เมื่อร่างกายมีความต้องการเพิ่มขึ้น การสร้างและการหลั่งก็จะมีอัตราเพิ่มขึ้นและรวดเร็ว หลังจากที่ถูกฤทธิ์ต่อเนื้อเยื่อแล้วจะถูกทำลายโดยตับหรือไต หรือที่อวัยวะอื่น แล้วถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ อุจจาระ และน้ำดี

ตารางที่ 7.6.1 ชนิดของต่อมไร้ท่อและฮอร์โมนที่สร้าง

ต่อมไร้ท่อ	ฮอร์โมน
1. ฮัยโปธาลามัส (Hypothalamus)	เอดีเอช (ADH) ออกซิโทซิน (Oxytocin) และฮอร์โมนควบคุม (Regulator Hormone)
2. ต่อมไร้ท่อ (Pituitary Gland)	
ส่วนหน้า (Anterior Pituitary Gland)	ACTH (Adenocorticotrophic Hormone or Corticotropin) TSH (Thyroid Stimulating Hormone or Thyrotropin) FSH (Follicle Stimulating Hormone) LH (Luteinizing Hormone or ICSH-Interstitial Cell Stimulating Hormone) LTH (Luteotrophic Hormone or PRL-Prolactin) MSH (Melanocyte Stimulating Hormone)
ส่วนหลัง (Posterior Pituitary Gland)	GH (Growth Hormone) ADH (Anti Diuretic Hormone or Vasopressin) Oxytocin
3. ต่อมไพเนียล (Pineal Gland)	Melatonin
4. ต่อมธัยรอยด์ (Thyroid Gland)	Thyroxine (Thiodothyroxine ; T_3 Tetradiothyroxine ; T_4) Thyrocalcitonin (Calcitonin)
5. ต่อมพาราธัยรอยด์ (Parathyroid Gland)	PTH (Parathormone)
6. ต่อมธัยมัส (Thymus) (มีเฉพาะในวัยเด็ก ฝ่อไปเมื่อเป็นผู้ใหญ่)	Thymosin
7. หัวใจ (Heart)	ANP (Atrial Natriuretic Peptide or Atriopeptin)
8. ต่อมหมวกไต (Adrenal Gland)	
ส่วนนอก (Adrenal Cortex)	Cortico Steroid , Aldosterone , Androgen
ส่วนใน (Adrenal Medulla)	Epinephrine , Norepinephrine
9. ไต (Kidneys)	Renin , Erythropoietin , Vitamin D
10. ตับ (Liver)	Insulin-Growth Factor I , II
11. ทางเดินอาหาร (Digestive Tract)	Peptide Hormone
12. ตับอ่อน (Pancreas)	Insulin , Glucagon , Somatostatin , Pancreatic

ต่อมไร้ท่อ	ฮอร์โมน
	Polypeptide
13. อวัยวะสืบพันธุ์ (Reproductive Organ)	
รังไข่ (Ovary)	Estrogen , Progesterone , Inhibin , Relaxin
อัณฑะ (Testis)	Androgen (Testosterone) , Inhibin
14. รก (Placenta)	Human Choronic Gonadotropin (HCG) , Estrogen , Progesterone Lactogen



รูปที่ 7.5.1 ระบบต่อมไร้ท่อในร่างกาย
(จาก รัชฎา แก่นสาร, บรรณาธิการ, 2540. สรีรวิทยา หน้า 510)

ฮัยโปธาลามัส (Hypothalamus)

ต่อมฮัยโปธาลามัส ทำหน้าที่สร้างและหลั่งฮอร์โมน 2 ชนิด

1. Releasing Hormone ทำหน้าที่ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนที่สร้างและหลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

2. Inhibiting Hormone ได้แก่ ฮอร์โมนที่ยับยั้งการหลั่ง Growth Hormone (Somatostatin) , Prolactin (PIF) และ Melatonin (MIF)

ต่อมใต้สมอง (Pituitary Gland)

ต่อมใต้สมองมีขนาดเล็กประมาณเท่ากับเมล็ดถั่ว อยู่บริเวณสองส่วน Diencephalon เป็นต่อมที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากสร้างฮอร์โมนชนิดที่ไปควบคุมการทำงานของต่อมไร้ท่ออื่น ๆ แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหน้าและส่วนหลัง

ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (Anterior Pituitary or Adenohypophysis) เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุด หลั่งฮอร์โมนกระตุ้น (Trophic Hormone) ต่อมเป้าหมายซึ่งมีมากที่สุด ได้แก่

1. Adrenocorticotrophic Hormone (ACTH) หรือ Corticotrophin เป็นฮอร์โมนจำพวก Polypeptide มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโต ควบคุมการสร้างและการหลั่งของฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก (Adrenal Cortex) มีผลต่อการผ่องของต่อมธัยมัส การสร้างเม็ดเลือดแดง กระตุ้นการกระจายตัวของสาร Melanin ใต้ผิวหนัง กระตุ้นการสลายไขมัน และกระตุ้นการส่งผ่านของกรดอะมิโนและกลูโคสที่กล้ามเนื้อ

2. Growth Hormone (GH) หรือ Somatotrophic Hormone (STH) เป็นฮอร์โมนที่มีทุกเซลล์ของร่างกายเป็นเป้าหมาย ยกเว้นเซลล์ประสาท ทำหน้าที่กระตุ้นการเจริญเติบโตของเซลล์เกือบทั่วร่างกาย ปริมาณการสร้างของฮอร์โมนเป็นสัดส่วนตรงกับอัตราการเจริญเติบโต จึงพบมากในเด็กและจะหลั่งมากที่สุดขณะนอนหลับสนิท เนื่องจากฮอร์โมนนี้จะไปกระตุ้น Epiphysis ของกระดูกแขน และขาให้เติบโต จึงทำให้ร่างกายเพิ่มความสูง รวมถึงไปกระตุ้นอวัยวะส่วนอื่น ๆ และต่อมบางชนิด เช่น ต่อมธัยรอยด์ ต่อมอวัยวะเพศ และต่อมหมวกไตให้เจริญ ดังนั้นถ้าขาด GH ตั้งแต่เด็ก ร่างกายจะไม่เจริญเติบโต เป็นโรคแคระ (Dwarfism) การเติบโตของอวัยวะเพศจะถูกยับยั้ง ในทางตรงข้าม ถ้ามี GH มากกว่าปกติ จะเร่งการเจริญเติบโตของกระดูก กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันบางชนิด ทำให้ร่างกายสูงใหญ่ผิดปกติ (Gigantism) หลังวัยหนุ่มสาวถ้ามีการหลั่ง

ฮอร์โมน GH มากผิดปกติ จะทำให้มีการขยายตัวด้านกว้างที่บริเวณใบหน้า ขากรรไกร ใบหน้าจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู ลิ้นโตผิดปกติ นิ้วมือใหญ่หนา เรียกลักษณะนี้ว่า อะโครเมกะลี (Acromegaly)

3. Melanocyte Stimulating Hormone (MSH) เป็นฮอร์โมนควบคุมสีผิวของสัตว์ ในสัตว์ชั้นต่ำและพวกครึ่งบกครึ่งน้ำ ฮอร์โมน MSH จะทำให้มีการกระจายของสารสีดำ (Melanin Pigment) อยู่ทั่วเซลล์ของร่างกาย ผิวหนังจึงมีสีดำ แต่ต่อมไพเนียล (Pineal) ในสมองสร้างและหลั่งฮอร์โมนเมลาโทนิน ที่ไปควบคุมให้สารเมลานินมารวมกลุ่มกันรอบ ๆ นิวเคลียส ซึ่งทำให้สีผิวจางลง สัตว์พวกนี้จึงสามารถเปลี่ยนสีผิวได้เร็วเป็นแบบชั่วคราว สีผิวจะกลับมาเหมือนเดิมเมื่อหมดฤทธิ์ของฮอร์โมน

ส่วนในสัตว์ชั้นสูง พวกนก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม MSH จะกระตุ้นให้เซลล์ สร้างสารสีดำ (Melatonin Pigment) ให้กระจายอยู่ทั่วเซลล์ ทำให้มีผิวสีเข้ม อิทธิพลของ สิ่งแวดล้อม เช่น แสงสว่างจะทำให้สารสีรวมตัวเป็นกลุ่มได้ ทำให้สีผิวจางลง นอกจากนี้ ฮอร์โมนนี้ยังควบคุมพฤติกรรมการเรียนรู้เกี่ยวกับเพศ การเจริญเติบโต และการทำหน้าที่ ของ Sertoli Cell ในอัณฑะ

4. Thyroid Stimulating Hormone (TSH) หรือ Thyrotrophin เป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่กระตุ้นและควบคุมการทำงานของต่อมธัยรอยด์ ให้มีการสร้างและหลั่งฮอร์โมน T_3 และ T_4 ตลอดจนกระตุ้นการสลายไขมันจากเนื้อเยื่อไขมัน

5. Lipotropin Hormone (LPH) หรือ Batalipotropin เป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ ควบคุมการสลายและเคลื่อนย้ายไขมัน

6. Follicle Stimulating Hormone (FSH) เป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่กระตุ้นและ ควบคุมการเจริญเติบโต และสร้างฮอร์โมนเพศของรังไข่ และการตกไข่ในเพศหญิง สำหรับ ในเพศชาย ฮอร์โมนนี้จะทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างตัวอสุจิ การเจริญของท่อสร้างอสุจิ (Seminiferous Tubule) และการสร้างฮอร์โมนเพศ

7. Luteinizing Hormone (LH) หรือ Interstitial Cell Stimulating Hormone (ICSH) เป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสืบพันธุ์

ในเพศหญิง กระตุ้นรังไข่ต่อจาก FSH ทำให้ไข่สุก และเกิดการตกไข่ (Ovulation) เปลี่ยนแปลงเนื้อเยื่อรังไข่ หลังจากที่มีการตกไข่แล้วเกิดเป็นเนื้อเยื่อ Corpus Luteum เพื่อสร้างฮอร์โมน Estrogen และกระตุ้นการหลั่ง Progesterone นอกจากนี้ยังกระตุ้นการ เจริญของต่อมน้ำนมให้มีการผลิตและหลั่งน้ำนม

ในเพศชาย เรียกฮอร์โมนนี้ว่า ICSH ทำหน้าที่กระตุ้นเซลล์เลย์ดีก (Leydig's Cell) ในอัณฑะให้เจริญและสร้างฮอร์โมนเพศชาย คือ เทสโทสเตอโรน (Testosterone)

FSH และ LH จัดเป็นฮอร์โมนเพศ (Gonadotrophic Hormone , Gn) ต้องทำงานร่วมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะจึงจะเกิดการกระตุ้นให้เกิดการตกไข่ และการสร้างฮอร์โมน

8. Lactogenic Hormone (LTH) หรือ Prolactin Luteotrophic Hormone (PRL) เป็นฮอร์โมนกระตุ้นการเจริญเติบโตของต่อมน้ำนมให้มีการสร้างและหลั่งน้ำนมในเพศหญิง ฮอร์โมนชนิดนี้ถูกกระตุ้นให้หลั่งโดยการดูดนมของทารก ซึ่งเป็นรีเฟล็กซ์ นำกระแสประสาทผ่านไขสันหลังไปยังฮัยโปธาลามัส นอกจากนี้ความเครียดและความดันเลือดที่เพิ่มขึ้นก็มีส่วนช่วยกระตุ้นให้มีการหลั่งของฮอร์โมน

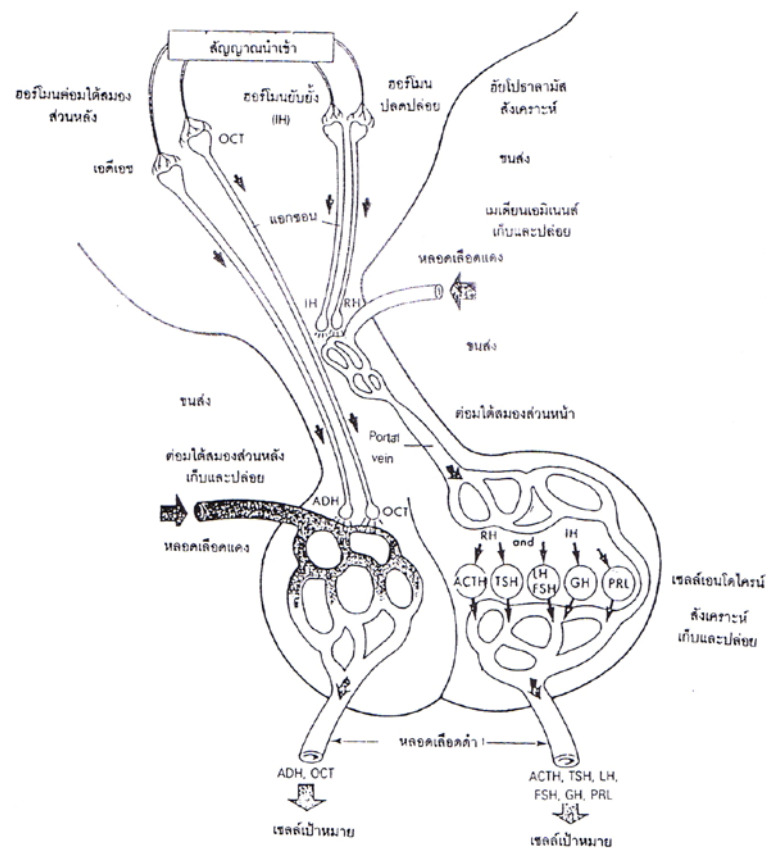
ในเพศชาย PRL จะรวมกับ Androgen กระตุ้นอวัยวะสืบพันธุ์บางอย่าง เช่น ต่อมน้ำลูกหมาก (Prostate Gland) ท่อนำอสุจิ (Sperm Duct) และต่อมสร้างน้ำเลี้ยงอสุจิ (Seminal Vesicle) ให้ทำหน้าที่

การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองจะถูกควบคุมด้วย 2 ระบบ ได้แก่

1. ระบบประสาท โดยสัญญาณนำเข้าที่ผ่านทางฮัยโปธาลามัส ซึ่งสร้างฮอร์โมนที่ทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น (Releasing Hormone) หรือตัวยับยั้ง (Inhibiting Hormone) การสร้างฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า

2. ระบบป้อนกลับทางลบ (Negative Feedback Control) โดยต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะหลั่งฮอร์โมนไปกระตุ้นต่อมที่เป็นเป้าหมายให้เจริญเพื่อสร้างและหลั่งฮอร์โมน เมื่อระดับของฮอร์โมนสูงเกินความต้องการก็จะกลับไปยับยั้งการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้า ทำให้หยุดการกระตุ้น



รูปที่ 7.5.2 การหลั่งของฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ซึ่งถูกควบคุมจากระบบประสาทที่ผ่านมาจากส่วนไฮโปทาลามัส (จากรัชฎา แก่นสารี, บรรณาธิการ, 2540. สรีรวิทยา หน้า 512)

โรคที่เกิดจากความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

ความผิดปกติของต่อมใต้สมองส่วนหน้า มักจะทำให้เกิดโรคจากการขาดฮอร์โมนเพศ (Gonadotrophin) ได้แก่

การขาด FSH และ LH ในผู้หญิง มีผลให้ขาดประจำเดือน มีเต้านมเล็ก เจ็บปวดขณะร่วมเพศ ในเพศชายจะทำให้มีขนาดของอัณฑะเล็ก และถ้าเกิดก่อนวัยเจริญพันธุ์จะทำให้ขาดลักษณะเพศชายขั้นที่สอง

การขาด Prolactin ทำให้แม่ไม่มีการหลั่งน้ำนมหลังคลอด

การขาด TSH ทำให้มีอาการหนาว ท้องผูก ผิวแห้ง ซีด เชื่องช้า เสียงแหบ

การขาด ACTH มีอาการอ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน มีไข้ ความดันโลหิตต่ำในเพศหญิงที่ขาด Adrenal Androgen ทำให้ขนที่รักแร้และที่อวัยวะเพศร่วง

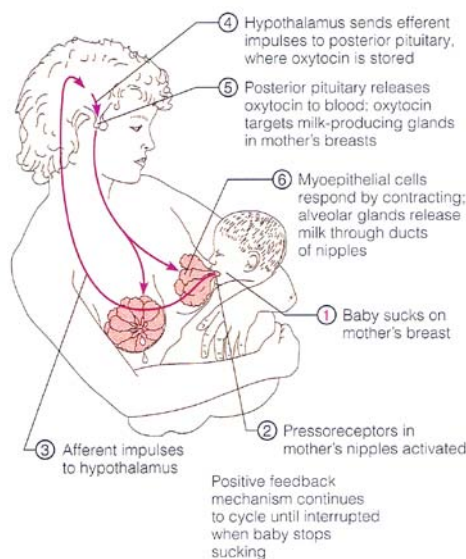
การขาด GH ในเด็กทำให้เกิด Growth Retardation

ต่อมใต้สมองส่วนหลัง (Posterior Pituitary Gland)

ต่อมใต้สมองส่วนหลัง เป็นส่วนที่ยื่นต่อลงมาจากฮัยโปธาลามัส มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Neurohypophysis มีเซลล์ 3 ชนิด ชนิดที่สร้างฮอร์โมน คือ ตัวเซลล์ที่ปลายประสาทสร้างและเก็บฮอร์โมน 2 ชนิด คือ วาโซเพรสซิน และออกซิโตซิน

1. Vasopressin หรือ Antidiuretic Hormone (ADH) เป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวกับการควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกาย โดยทำให้เส้นเลือดบีบตัวและเกิดการดูดน้ำกลับเข้าสู่เส้นเลือดบริเวณหลอดเลือดไต มหาหมื่นเวียนในร่างกาย เพื่อไม่ให้ร่างกายสูญเสียน้ำออกไปมาก ถ้าขาด ADH จะทำให้ไม่สามารถดูดน้ำกลับเข้าสู่เส้นเลือดได้ตามปกติ จะเสียน้ำไปกับปัสสาวะมากกว่าปกติ จึงต้องดื่มน้ำจำนวนมากเพื่อทดแทน เรียกอาการนี้ว่าโรคเบาจืด (Diabetes Insipidus)

2. Oxytocin หรือ Picocin เป็นฮอร์โมนออกฤทธิ์ที่กล้ามเนื้อเรียบของมดลูก และเต้านม ทำหน้าที่หลายอย่าง คือ



รูปที่ 7.5.3 การกระตุ้นของฮอร์โมนออกซิโตซิน
ให้เกิดการหลั่งน้ำนม (จาก Elaine N. Marieb, 1998)

1) ช่วยในการคลอดลูก โดยกระตุ้นการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบมดลูกอย่างรุนแรง เพื่อเร่งการผ่านช่องคลอดของทารกได้รวดเร็ว

2) ช่วยในการหลั่งน้ำนม (Milk Ejection) ขณะที่ทารกดูดนม ปลายประสาทที่หัวนมจะถูกกระตุ้น ส่งกระแสประสาทไปที่ฮัยโปธาลามัสให้หลั่ง Oxytocin ไปกระตุ้นการบีบตัวของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบรอบ ๆ ท่อน้ำนมให้หลั่งน้ำนม

3) ช่วยเร่งการเดินทางของอสุจิในมดลูกให้ไปผสมกับไข่ในท่อนำไข่ โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบมดลูก

ต่อมธัยรอยด์ (Thyroid Gland)

ต่อมธัยรอยด์ มี 2 ต่อม อยู่ 2 ข้างของคอหอยใต้กล่องเสียง สร้างฮอร์โมน 2 ชนิด คือ ธัยรอกซีน และ คัลซิโตนิน

1. Thyroxine เป็นฮอร์โมนที่มีไอโอดีนเป็นองค์ประกอบ มี 2 ชนิด คือ Tetraiodothyronine (T_4) หรือ Thyroxine และ Triiodothyronine (T_3) เมื่อสร้างเสร็จจะเก็บไว้ในถุง (Follicle) ในต่อม จะหลั่งเมื่อถูกกระตุ้นจากฮอร์โมน TSH ของต่อมใต้สมองส่วนหน้า เมื่อเข้าสู่กระแสเลือดจะรวมกับโปรตีนและออกฤทธิ์โดยแตกตัวเป็น T_3 , T_4 โดยปริมาณ T_4 มีมากกว่า แต่ T_3 จะออกฤทธิ์แรงกว่า T_4 ถึง 4 เท่า ธัยรอยด์ฮอร์โมนเป็นฮอร์โมนที่ควบคุมเมแทบอลิซึมและพลังงาน จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของร่างกายในการสร้างกล้ามเนื้อ กระดูกและฟัน และอวัยวะอื่น ๆ

ควบคุมอัตราการเผาผลาญอาหาร การผลิตความร้อน และการใช้พลังงาน ทำให้ร่างกายอบอุ่น เพิ่ม Basal Metabolic Rate (BMR) และกระตุ้นให้มีการใช้ออกซิเจนเพิ่มขึ้น

กระตุ้นกระบวนการเมแทบอลิซึม คาร์โบไฮเดรต การสร้างกลูโคสและการดูดซึมเพื่อเพิ่มระดับกลูโคสในเลือด และเร่งการสลายไกลโคเจน

กระตุ้นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสลายไขมัน ให้ไขมันถูกสลายจากเนื้อเยื่อไขมัน และเนื้อเยื่ออื่น ๆ เข้าสู่กระแสเลือดในรูปของกรดไขมันอิสระ ซึ่งเซลล์นำไปใช้เป็นพลังงานได้มากขึ้น

กระตุ้นการสังเคราะห์โปรตีนในเนื้อเยื่อเกือบทุกชนิด

กระตุ้นการสังเคราะห์วิตามิน ปฏิกริยาชีวเคมีภายในเซลล์หลายอย่างต้องใช้วิตามินเป็นโคเอนไซม์ ดังนั้นถ้ามีการเผาผลาญสารอาหารเพิ่มขึ้น ความต้องการวิตามินจึงเพิ่มตาม การสร้างวิตามินต้องอาศัยธัยรอยด์ฮอร์โมน เช่น การสร้างวิตามินเอที่ตับต้องใช้ธัยรอยด์ฮอร์โมนเป็นตัวเปลี่ยนแคโรทีนไปเป็นวิตามินเอ

ธัยรอยด์ฮอร์โมนมีความสำคัญต่อการทำงานของระบบประสาท ระบบสืบพันธุ์ การผลิตน้ำนมและการหลั่ง Corticosteroid ในผู้ใหญ่ ในเด็กทารกมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสมองและระบบประสาท ถ้าขาดธัยรอยด์ฮอร์โมน เซลล์ประสาทจะลดทั้งขนาดและจำนวน ทำให้เป็นปัญญาอ่อนได้

ภาวะความผิดปกติของร่างกายเกี่ยวกับการได้รับฮอร์โมนธัยรอกซิน

1. Nontoxic Goitre คือ อาการคอพอกที่ไม่เป็นพิษ ต่อมธัยรอยด์โตกว่าปกติ ซึ่งอาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่น ได้รับสารยับยั้งการสังเคราะห์ธัยรอยด์ฮอร์โมนมากเกินไป การได้รับสารอาหารที่มีธาตุไอโอดีนน้อยผิดปกติ การขาดเอนไซม์สำหรับการสังเคราะห์ฮอร์โมนมาแต่กำเนิด และร่างกายต้องการฮอร์โมนมากกว่าปกติในช่วงวัยรุ่น สาเหตุเหล่านี้ ทำให้มีระดับฮอร์โมนในเลือดต่ำ จึงมีการกระตุ้นการสร้างและหลั่ง TSH สูงกว่าปกติ จึงกระตุ้นให้ต่อมธัยรอยด์โตขึ้น

2. Hyperthyroidism หรือ Thyrotoxicosis คือ ภาวะที่มีฮอร์โมนธัยรอกซิน มากผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากร่างกายสร้างหรือรับประทานเข้าไป ทำให้เกิดอาการคอพอกเป็นพิษ (Toxic Goitre) และถ้ามีอาการตาโปนร่วมด้วย เรียกว่า คอพอกตาโปน (Exophthalmic Goitre) หรือ Grave's Disease) จะมีอัตราการเผาผลาญอาหารสูง BMR สูงขึ้น ทำให้มีความร้อนมากจนทนอากาศร้อนไม่ได้ มีเหงื่อออกมาก อ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย กินจุ หิวบ่อย และน้ำหนักตัวลดลง ถ้าเกิดขึ้นในเด็กจะทำให้เตี้ยโตช้า

3. Hypothyroidism คือ ภาวะการขาดธัยรอยด์ฮอร์โมน เกิดจากการสร้างฮอร์โมนไม่เพียงพอ อันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น เป็นโรคเกี่ยวกับต่อมธัยรอยด์ ต่อมธัยรอยด์ไม่ทำงาน การผ่าตัด การฉายแสง และการได้รับยายับยั้งการสร้างฮอร์โมน อัตราการเผาผลาญอาหารต่ำลงในเด็ก เรียกว่า Cretinism มีความผิดปกติของสมองและระบบประสาท ถ้ารักษาไม่ทันจะทำให้ปัญญาอ่อน (Mental Retardation) เจริญเติบโตช้า ร่างกายเตี้ย แคระแกรน ผลิตพลังงานน้อย ทำให้ทนต่อสภาพอากาศเย็นไม่ได้ ในผู้ใหญ่เรียกว่า Myxedema ร่างกายอ่อนแอ สมองเสื่อม ผิวหนังบวม น้ำ ทนอากาศเย็นไม่ได้

2. Calcitonin หรือ Thyrocalcitonin เป็นฮอร์โมนที่ไม่มีไอโอดีนเป็นองค์ประกอบ ทำหน้าที่ลดระดับแคลเซียมในเลือดโดยการเพิ่มการขับทิ้งแคลเซียมออกไปทางน้ำปัสสาวะ และทำให้แคลเซียมในเลือดไปสะสมที่กระดูกเพิ่มขึ้น ทำให้กระดูกหนาขึ้น ถ้าระดับแคลเซียมในเลือดมากจะมีผลป้อนกลับ (Feedback) ต่อการหลั่งแคลซิโทนินน้อยลง

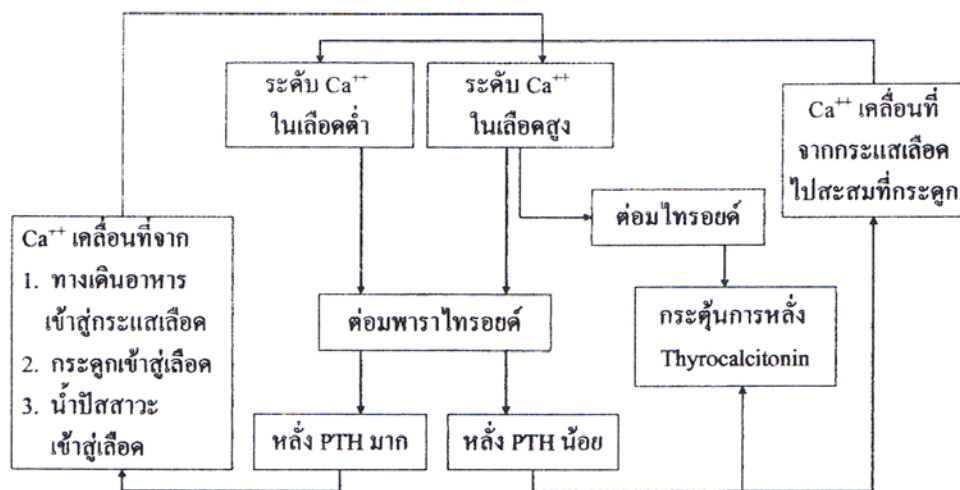
ต่อมพาราธัยรอยด์ (Parathyroid Gland)

พาราธัยรอยด์ เป็นต่อมขนาดเล็ก 2 ต่อม อยู่ด้านข้างของต่อมธัยรอยด์ ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนพาราไธรอม (Parathormone ; PTH) ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นให้หลอดเลือดที่

หน่วยไตมีการดูดกลับแคลเซียม และสลายแคลเซียมจากกระดูกเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมในเลือด ฮอร์โมนจะทำงานได้ดีเมื่อมีวิตามินดีร่วมด้วย ภาวะขาดฮอร์โมนจะทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดต่ำ ทำให้กล้ามเนื้อและระบบประสาททำงานผิดปกติ แต่ถ้าฮอร์โมนมากเกินไปจะทำให้ระดับแคลเซียมในเลือดสูง กระดูกและฟันจะถูกละลายแคลเซียมออกมา ทำให้ฟันและกระดูกบาง เปราะ หักง่าย

การหลั่งของฮอร์โมนจะถูกควบคุมโดยระดับแคลเซียมในเลือด ถ้าระดับแคลเซียมในเลือดสูงจะยับยั้งการหลั่งฮอร์โมน ในขณะที่ระดับแคลเซียมในเลือดต่ำจะกระตุ้นให้มีการหลั่งฮอร์โมนออกมามาก

การทำงานของ PTH และ Thyrocalcitonin จะตรงข้ามกันในการใช้แคลเซียม



รูปที่ 7.5.4 การควบคุมการหลั่ง PTH และ Thyrocalcitonin

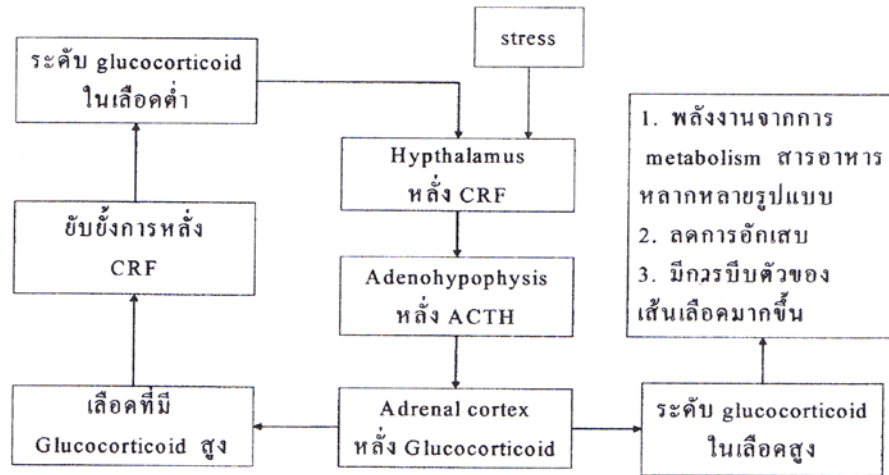
ต่อมหมวกไต (Adrenal Gland)

ต่อมหมวกไต เป็นต่อมที่อยู่เหนือไตทั้ง 2 ข้าง แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนนอกและส่วนใน

ต่อมหมวกไตส่วนนอก (Adrenal Cortex) ทำหน้าที่สร้างและหลั่ง Steroid Hormone ที่สำคัญ 2 กลุ่ม ได้แก่

1. Glucocorticoids เป็นกลุ่มฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับ Insulin ได้แก่ Cortisol ทำหน้าที่ Metabolism สารอินทรีย์ คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ คือ ในภาวะขาด Insulin แต่มี Glucocorticoids

และ Glucagon มาก จะเกิดเบาหวานได้ง่าย ในทางกลับกันถ้ามี Insulin มาก แต่ขาด Glucocorticoids และ Glucagon จะเกิดเบาจัดได้ง่าย



รูปที่ 7.5.5 กลไกการควบคุมการหลั่ง Glucocorticoid

2. Mineralocorticoids เป็นฮอร์โมนที่ควบคุมสมดุลของน้ำและเกลือแร่ โดยการดูด Na^+ กลับ และขับ K^+ ออกที่บริเวณหลอดไต ฮอร์โมนที่สำคัญในกลุ่มนี้ คือ Aldosterone Deoxycorticosterone ฮอร์โมนกลุ่มนี้ยังทำหน้าที่ควบคุม Metabolism ของคาร์โบไฮเดรต ด้วย

ภาวะที่ขาดฮอร์โมนจะทำให้ร่างกายสูญเสีย Na^+ มาก และเก็บ K^+ ไว้มากในร่างกาย จะขาดน้ำ ชูบผอม ผิวหนังแห้ง เรียกว่า Addison'Disease ในทางกลับกันถ้าสร้างฮอร์โมน มาก ร่างกายก็จะเก็บน้ำมาก มีอาการบวมน้ำ เรียกว่า Cushing's Disease

ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตชั้นนอก จะหลั่งมากถ้ามีภาวะเครียด (Stress) พบว่า สัตว์ป่าทุกชนิดจะมีต่อมขนาดใหญ่มาก จึงมักดูร้าย แต่เมื่อนำมาเลี้ยงให้เชื่อง ต่อมจะลด ขนาดเล็กลง และมีความเครียดน้อยลง ลดความดูร้าย

ชั้นในของต่อมหมวกไตชั้นนอก จะสร้างฮอร์โมนเพศ ได้แก่

1. Androgens ซึ่งจะเปลี่ยนเป็น Testosterone ซึ่งมีไม่ถึง 5 % ของ Testosterone ทั้งหมดของร่างกาย การหลั่ง Androgen มากในผู้ใหญ่ จึงไม่พบความผิดปกติ แต่จะมีผล ในเด็กชาย คือ จะทำให้เข้าสู่วัยรุ่นเร็วกว่าปกติ นอกจากนี้ Androgen ยังเป็นฮอร์โมนที่มี ผลต่อการสร้างกล้ามเนื้อและโปรตีน ทำให้มีผลต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย

2. Estrogen เป็นฮอร์โมนที่มีผลต่อการสร้างกล้ามเนื้อเรียบของมดลูก และท่อของต่อมน้ำนม ให้เจริญเติบโตมากขึ้นด้วย

ต่อมหมวกไตส่วนใน (Adrenal Medulla) ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมน 2 ชนิด ได้แก่

1. Adrenaline หรือ Epinephrine เป็นฮอร์โมนที่หลั่งเมื่อมีภาวะบีบคั้นทางอารมณ์อย่างรุนแรง มีผลให้หลอดเลือดขยายตัว ตับและกล้ามเนื้อสลายไกลโคเจนไปเป็นกลูโคสจำนวนมาก ทำให้มีการเผาผลาญกลูโคสได้พลังงานมาก

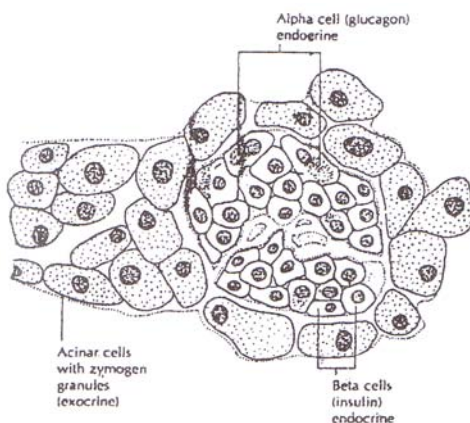
2. Noradrenaline หรือ Norepinephrine เป็นฮอร์โมนที่กระตุ้นให้หลอดเลือดขนาดเล็กบีบตัว ความดันเลือดสูง ฮอร์โมนนี้สามารถสร้างได้ที่เส้นประสาทซิมพาเทติกในระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic System) อีกด้วย

ผลของ Noradrenaline คล้ายกับ Adrenaline แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า แต่ผลของความดันเลือดที่สูงขึ้นต่างกัน คือ Noradrenaline ทำให้เส้นเลือดแดงที่ไปเลี้ยงอวัยวะภายในบีบตัว แต่ Adrenaline ทำให้หัวใจสูบฉีดโลหิตมากขึ้น ทำให้เส้นเลือดแดงขยายตัว

ตับอ่อน (Pancreas)

ตับอ่อนเป็นได้ทั้งต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ คือ ต่อมมีท่อจะสร้างน้ำย่อยเข้าสู่ลำไส้เล็ก ส่วนต่อมไร้ท่อจะทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนอินซูลิน และกลูคากอน

เนื้อเยื่อที่สร้างฮอร์โมน คือ Islet of Langerhans เป็นเนื้อเยื่อที่มีเส้นเลือดมาเลี้ยงมาก แต่ไม่มีท่อติดต่อกับอวัยวะอื่น มีเซลล์ 2 ชนิด คือ



รูปที่ 7.5.6 กลุ่มเซลล์ชนิด ต่าง ๆ ของตับอ่อน

เซลล์เบต้า (-Cells) เป็นเซลล์ขนาดเล็ก มีโครงสร้างเล็ก ๆ (Granule) ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin)
เซลล์แอลฟา (-Cells) เป็นเซลล์ขนาดใหญ่ ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนกลูคากอน (Glucagon)

ฮอร์โมนจากตับอ่อน

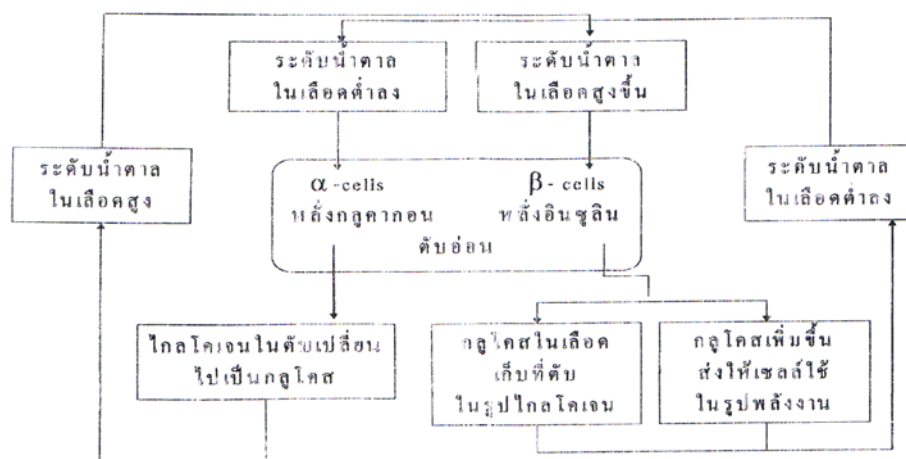
1. Insulin ทำหน้าที่ควบคุมระดับกลูโคสในเลือดไม่ให้มีมากเกินไป โดยเร่งการเปลี่ยนกลูโคสให้เป็นไกลโคเจน สะสมไว้ที่ตับและกล้ามเนื้อลาย และเร่งการใช้กลูโคสในร่างกาย

ภาวะการขาดอินซูลินมีผลให้ระดับกลูโคสในเลือดสูง เนื่องจากร่างกายไม่สามารถนำกลูโคสไปใช้ได้เต็มที่ และมีการเปลี่ยนกลูโคสไปเป็นไกลโคเจนน้อย ทำให้กลูโคสถูกกรองผ่านที่ไตมากเกินไปที่จะดูดกลับได้หมด ทำให้กลูโคสออกมากับปัสสาวะ เป็นอาการเบาหวาน (Diabetes Mellitus) และทำให้มีกลูโคสค้างอยู่ตามเนื้อเยื่อต่าง ๆ มากกว่าปกติ เมื่อเกิดบาดแผลจึงรักษาหายยาก เนื่องจากแบคทีเรียใช้กลูโคสเป็นอาหารได้มาก

ภาวะที่หลังอินซูลินมากเกินไป ทำให้มีการใช้กลูโคสมากกว่าปกติ มีการสะสมไกลโคเจนมาก ระดับกลูโคสในเลือดต่ำ ถ้าต่ำมากจะทำให้ไม่มีกลูโคสไปเลี้ยงสมอง จะเกิดอาการช็อคได้ง่าย

2. Glucagon เป็นฮอร์โมนที่ทำหน้าที่ตรงข้ามกับอินซูลิน คือ เร่งการสลายไกลโคเจนจากตับและกล้ามเนื้อลายให้เป็นกลูโคสเข้าสู่กระแสเลือด เร่งการเปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นกลูโคส เร่งการใช้ไขมันและโปรตีนแทนกลูโคส ทั้งหมดนี้ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดสูงขึ้น

ภาวะขาดกลูคากอนจะเหมือนกับภาวะมีอินซูลินมาก และภาวะมีกลูคากอนมากจะเหมือนกับภาวะขาดอินซูลิน



รูปที่ 7.5.7 การควบคุมการหลั่งกลูคากอนและอินซูลิน

ต่อมในอวัยวะสืบพันธุ์ (Reproductive Gland)

รังไข่ (Ovary) เป็นอวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิง เป็นทั้งต่อมมีท่อ คือ สร้างไข่ที่ไปตามท่อนำไข่ ส่วนที่ไม่มีท่อ คือ สร้างฮอร์โมนเพศหญิงที่สำคัญ 2 กลุ่ม ได้แก่

1. Estrogen ฮอร์โมนที่มีมากและสำคัญ คือ Estradiol รองลงมาคือ Estrone และ Estriol ซึ่งเป็น Steroid Hormone ที่เปลี่ยนมาจาก Testosterone

Estrogen สร้างมาจาก 2 แหล่ง ส่วนใหญ่สร้างจากรังไข่ ส่วนน้อยสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก เนื้อเยื่อไขมันและตับ ระดับของฮอร์โมนจะสูงในช่วงที่ไข่เจริญกับช่วงหลังตกไข่ และมีการสร้าง Corpus Luteum ในระยะตั้งครรภ์ Estrogen ส่วนใหญ่สร้างมาจากรก Estrogen เป็นฮอร์โมนที่มีฤทธิ์หลายอย่าง ได้แก่

กระตุ้นการเจริญเติบโตของถุงไข่อ่อน (Follicle)

ควบคุมการเจริญของลักษณะเพศหญิงระยะที่ 2 (Female Secondary Sex Characteristics)

กระตุ้นเซลล์ปากมดลูกให้หลั่งเมือกให้ออกมาช่วยการเคลื่อนที่ของอสุจิเข้าสู่มดลูก

กระตุ้นการเจริญของกระดูกทำให้ร่างกายสูงขึ้นมากในช่วงวัยรุ่น

ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนเพศ (Gonadotrophin)

2. Progestin เป็น Steroid Hormone ฮอร์โมนชนิดที่สำคัญ Progesterone ช่วงที่ผู้หญิงตั้งครรภ์ฮอร์โมนนี้จะถูกสร้างมาจาก Corpus Luteum เป็นส่วนใหญ่ และส่วนน้อยสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก ระดับฮอร์โมนจะต่ำในช่วงการเจริญของไข่ และจะสูงช่วงหลังตกไข่ หญิงตั้งครรภ์หลังสี่เดือน ฮอร์โมนนี้จะสร้างมาจากรกเป็น ส่วนใหญ่ Progesterone ออกฤทธิ์หลายอย่าง ได้แก่

กระตุ้นการสร้างผนังมดลูกให้พร้อมสำหรับการฝังตัวของตัวอ่อน

กระตุ้นเซลล์ปากมดลูกให้ขับเมือกเหนียวเพื่อขัดขวางการเคลื่อนที่ของอสุจิ

กระตุ้นการพัฒนาเต้านมโดยออกฤทธิ์ร่วมกับ Estrogen และ Prolactin

ควบคุมการหลั่งฮอร์โมน Gonadotrophin

เร่งการดูดกลับของเกลือโซเดียมที่หลอดไต

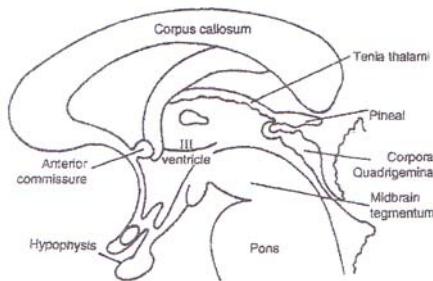
อัณฑะ (Testis) เป็นอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย เป็นทั้งต่อมมีท่อ คือ สร้างอสุจิส่งไปตามท่อนำอสุจิ ส่วนที่ไม่มีท่อ คือ สร้างฮอร์โมนเพศชาย คือ Androgen ฮอร์โมนชนิดที่สำคัญ คือ Testosterone ซึ่งส่วนใหญ่สร้างจาก Leydig Cell ของอัณฑะ และส่วนน้อยสร้างจากต่อมหมวกไตส่วนนอก

Testosterone เป็น Steroid Hormone ซึ่งบางส่วนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสาร Dihydrotestosterone (DHT) ซึ่งออกฤทธิ์มากกว่า Testosterone ที่เซลล์ตับ เซลล์ไขมัน และเซลล์ท่อปัสสาวะ ระดับฮอร์โมนในเลือดจะสูงขึ้น เมื่อเข้าสู่วัยรุ่น และสูงสุดเมื่ออายุ 20-35 หลัง 40 ปีระดับฮอร์โมนจะค่อย ๆ ลดลง

Testosterone จะออกฤทธิ์ที่มีผลต่อการพัฒนาอวัยวะเพศชายในทารก และการกระตุ้นให้อัตนะเคลื่อนลงสู่ถุงอัณฑะในระยะก่อนคลอด กระตุ้นการเจริญของลักษณะเพศชายระยะที่ 2 (Male Secondary Sex Characteristic) ได้แก่ การเจริญเติบโตขององคชาติ (Penis) กล่องเสียง (Larynx) กล้ามเนื้อและกระดูกทำให้ร่างกายสูงและมีกล้ามเนื้อ เป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญและจำเป็นในการสร้างอสุจิ

DHT จะออกฤทธิ์ต่อการพัฒนาอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอกของเพศชายในวัยทารก การเจริญของอวัยวะเพศชายระยะที่ 2 ทำให้มีการเจริญของถุงหุ้มอัณฑะและต่อมลูกหมาก การมีขนในที่ต่าง ๆ ได้แก่ หนวด เครา ขนที่อวัยวะเพศ ขนรักแร้ เป็นต้น การมีหน้าผากเถิกขึ้น และการกระตุ้นต่อมน้ำมันให้ขับน้ำมันออกมา

นอกจากนี้ยังออกฤทธิ์ร่วมกับ Testosterone และ Estradiol ในการสร้างอสุจิ และมีผลต่อต่อมลูกหมากในการหลั่งสารที่เป็นส่วนประกอบของน้ำอสุจิ



รูปที่ 7.5.8 ที่ตั้งของต่อมไพเนียล

ต่อมไพเนียล (Pineal Gland)

ต่อมไพเนียลมีขนาดเล็ก รูปร่างแบน ประกอบด้วยเซลล์ Pinealocyte ซึ่งเป็นแหล่งสร้างฮอร์โมนเมลาโตนิน (Melatonin) ที่สร้างมาจากสารซีโรโตนิน (Serotonin) เมื่อเข้าสู่วัยรุ่นต่อมจะฝ่อลงจนมีขนาดเล็ก

การออกฤทธิ์ของฮอร์โมนเมลาโตนิน

ในสัตว์มีกระดูกสันหลังพวกบก เมลาโตนินจะทำให้เม็ดสีในเซลล์ เมลาโนไซต์มารวมกลุ่มกันบริเวณนิวเคลียส ทำให้สีผิวจางลง ซึ่งออกฤทธิ์ตรงข้ามกับ MSH

ในคน เมลาโตนินออกฤทธิ์กดการทำงานของอวัยวะเพศ โดยออกฤทธิ์ที่ต่อมใต้สมอง กดการหลั่ง LH และ FSH ทำให้เป็นหนุ่มสาวช้าลง สำหรับในผู้ใหญ่ยังไม่ทราบหน้าที่ที่ชัดเจน แต่จากการทดลองในหนู พบว่า การหลั่งของฮอร์โมนขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลง

สว่าง คือ เมื่ออยู่ในที่ไม่มีแสงหรือตาบอดจะมีการหลั่งฮอร์โมนมาก สัตว์ที่อยู่ในที่มีแสงตลอดเวลาจะมีการหลั่งฮอร์โมนน้อย

ต่อมธัยมัส (Thymus Gland)

ต่อมธัยมัส เป็นต่อมที่อยู่ระหว่างกระดูกอก (Sternum) กับหลอดเลือดใหญ่ของหัวใจ มีรูปร่างเป็นสามเหลี่ยมสองอันติดกัน ในทารกต่อมจะมีขนาดใหญ่ และใหญ่ที่สุดในช่วงวัยหนุ่มสาว และจะลดขนาดเล็กลงในวัยผู้ใหญ่ ทำหน้าที่สร้างและหลั่งฮอร์โมนธัยโมซิน (Thymosin) ซึ่งออกฤทธิ์ต่อการเจริญเติบโตของเซลล์เม็ดเลือดขาว พวก T-lymphocyte ในภูมิคุ้มกันร่างกาย เกี่ยวกับปฏิกิริยาภูมิแพ้ การปฏิเสธเนื้อเยื่อแปลกปลอมที่นำมาปลูกถ่ายเข้ากับร่างกาย ช่วยป้องกันการติดเชื้อไวรัส รา และแบคทีเรียบางชนิด เช่น แบคทีเรียโรควัณโรค เป็นต้น

การควบคุมการทำงานของฮอร์โมน

ฮอร์โมนบางชนิดสร้างและหลั่งออกมาทันทีโดยไม่ต้องมีการเก็บไว้ก่อน การควบคุมการหลั่งจึงเป็นการควบคุมการสร้างด้วย ซึ่งมีหลายวิธี

1. การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) เป็นวิธีการควบคุมตัวเอง (Self Regulation) คือ อวัยวะเป้าหมายจะสร้างสารออกมายับยั้งการทำงานของต่อมไร้ท่อให้มีการหลั่งฮอร์โมนออกมามากขึ้นหรือน้อยลง ถ้าเป็นป้อนกลับทางลบ (Negative Feedback) ฮอร์โมนที่หลั่งออกมาจะไปยับยั้งการหลั่งของตัวเองที่ต่อมไร้ท่อโดยตรงหรือทางอ้อม แต่ถ้าเป็นป้อนกลับทางบวก (Positive Feedback) ฮอร์โมนที่หลั่งออกมาจะไปกระตุ้นการทำงานของต่อมไร้ท่อให้มีการหลั่งฮอร์โมนเพิ่มขึ้น

2. การควบคุมโดยระบบประสาท (Neural Control)

การควบคุมทางตรง ต่อมที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อของเซลล์ประสาทจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อมีการกระตุ้นระบบประสาทจะมีกระแสประสาทส่งไปตามเส้นใยประสาทที่ไปควบคุมต่อมไร้ท่อ ทำให้เกิดการหลั่งฮอร์โมนได้ทันที

การควบคุมทางอ้อม เซลล์ประสาทสร้างสารเคมีที่เรียกว่า Neuroendocrine Hormone หรือ Neurohormone เก็บไว้ที่เส้นใยประสาท เมื่อมีการกระตุ้นประสาท กระแส

ประสาทจากสมองที่ควบคุมต่อมไร้ท่อจะกระตุ้นให้มีการปล่อยสารที่เก็บไว้เข้าสู่กระแสเลือด

3. การควบคุมโดยสารอื่นในกระแสเลือด สารที่ไม่ใช่ฮอร์โมนสามารถทำหน้าที่ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนได้ เช่น กลูโคสในเลือดที่ควบคุมการหลั่งอินซูลินและกลีโกรีในเลือดควบคุมการหลั่ง ADH เป็นต้น

สารฟีโรโมน (Pheromone)

ฟีโรโมน เป็นสารเคมีที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้น แล้วปล่อยออกจากร่างกายซึ่งไปมีผลต่อสิ่งมีชีวิตตัวอื่นในสปีชีส์เดียวกัน ให้เกิดการแสดงออกทางพฤติกรรม หรือการเปลี่ยนแปลงทางสรีรบางอย่าง สิ่งมีชีวิตสามารถรับฟีโรโมนเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ช่องทาง คือ

1. ทางกลิ่น (Olfaction) พบในแมลงหลายชนิด ส่วนมากมีผลในการดึงดูดเพศตรงข้ามให้เข้ามาหา หรือบอกตำแหน่งที่อยู่ หรือเป็นการส่งสัญญาณเตือนภัยในกลุ่มสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน

2. การกิน (Ingestion) เช่น ผีเสื้อนางพญาที่สร้างสาร Queen Substance ที่บริเวณปากสำหรับให้ผึ้งเพศเมียที่เกิดใหม่กิน ซึ่งสารนี้จะยับยั้งการเจริญของรังไข่ ทำให้ผึ้งพวกนี้เป็นหมัน จัดเป็นกลุ่มผึ้งงาน (Worker)

3. การดูดซึม (Absorption) พบเฉพาะในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมงมุม แมลงสาบ โดยตัวเมียจะปล่อยสารฟีโรโมนไว้ตามทางที่มันผ่านไป ถ้าตัวผู้ผ่านมาและสัมผัสกับสาร จะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายไปกระตุ้นให้เกิดความต้องการทางเพศ และติดตามตัวเมียเพื่อทำการผสมพันธุ์

ประเภทของฟีโรโมน (Type of Pheromone)

1. รีลีสเซอร์ ฟีโรโมน (Releaser Pheromone) เป็นฟีโรโมนที่มีผลโดยตรงต่อระบบประสาทส่วนกลางของสัตว์ เมื่อได้รับจะเกิดปฏิกิริยาตอบสนองทันที เป็นฟีโรโมนที่สื่อสารในหลายเรื่อง คือ ดึงดูดเพศตรงข้ามให้เข้ามาทำการผสมพันธุ์ ซึ่งพบได้ในสัตว์ทั่วไป รวมทั้งสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม กระตุ้นให้เกิดพฤติกรรมการต่อสู้ เช่น หนู 2 ตัวที่เคยอยู่ด้วยกันอย่างปกติ เมื่อได้รับสารฟีโรโมนทำให้เกิดการต่อสู้กันใช้สื่อสารว่าเป็นสปีชีส์

เดียวกัน และสื่อสารเกี่ยวกับตำแหน่งที่อยู่ เช่น มดจะปล่อยสารไว้ตามทางที่มันเดินไปยัง แหล่งอาหารหรือรังใหม่ ทำให้มดที่เดินตามมาที่หลังไปได้ถูก

2. ไพโรเมอร์ ฟีโรโมน (Primer Pheromone) เป็นฟีโรโมนที่มีผลต่อต่อมสมองส่วนหน้า ทำให้มีปฏิกิริยาตอบสนองช้ามาก ต้องใช้เวลากระตุ้นนาน เช่น สารที่ขับออกมาจาก ปลวกวรรณะทหาร และวรรณะสืบพันธุ์ ถ้าตัวอ่อนกินสารนี้เข้าไปจะทำให้เจริญไปเป็น ปลวกงาน ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมส่วนมากสร้างมาจากตัวผู้ที่ปล่อยออกไปกระตุ้นการเป็นสัด (Estrus) ของตัวเมีย ทำให้มีการตกไข่เร็วขึ้น ในหนูที่กำลังตั้งท้องถ้าได้รับสารนี้ จากตัวผู้แปลกหน้าจะขัดขวางการฝังตัวของตัวอ่อน และกลับไปมีการตกไข่ตามปกติ

3. อิมพริ้นติง ฟีโรโมน (Imprinting Pheromone) เป็นฟีโรโมนที่ทำให้เกิดการฝังใจ การได้รับหรือไม่ได้รับฟีโรโมนในช่วงวิกฤติของการเจริญเติบโตของสัตว์จะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาตอบสนองในตอนโตเต็มวัย ดังนั้นพฤติกรรมบางอย่างที่ขาดหายไปในตัวที่โตเต็มวัยจึงเกิดจากการได้รับหรือไม่ได้รับฟีโรโมนในตอนที่เป็นตัวอ่อนมาก่อนนั่นเอง

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. ระบบย่อยอาหารของคน ประกอบด้วยอวัยวะอะไรบ้าง
2. การย่อยเชิงกลเกิดขึ้นที่อวัยวะใดบ้างในระบบย่อยอาหาร
3. การย่อยเชิงเคมีในกระเพาะอาหารเป็นการย่อยสารอาหารชนิดใด
4. ตับทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดด้วยวิธีการใด
5. กระเพาะอาหารของคนมีการป้องกันไม่ให้เอนไซม์ย่อยตนเองด้วยวิธีการใด
6. ลำไส้เล็กมีกี่ส่วน แต่ละส่วนทำหน้าที่อะไรบ้าง
7. หน้าที่หลัก (main function) ของลำไส้ใหญ่ คืออะไร
8. เอนไซม์ส่วนใหญ่ที่ทำการย่อยอาหารสมบูรณ์เป็นโมเลกุลเดี่ยว คือ กรดอะมิโน และกรดไขมันหลังจากอวัยวะใด
9. สารอาหารที่ได้จากการย่อยจะถูกลำเลียงผ่านเยื่อเซลล์บุลำไส้โดยกระบวนการใด
10. ระบบหมุนเวียนโลหิตแบบเปิด มีการหมุนเวียนอย่างไร พบในสัตว์ชนิดใด
11. เลือดในเส้นแวนไหลเวียนได้ มีวิธีการอย่างไร และมีปัจจัยใดช่วย
12. ถ้าลิ้นหัวใจที่กั้นระหว่างห้องบนซ้ายและล่างซ้ายถูกทำลายจะทำให้เกิดผลอย่างไร
13. เม็ดเลือดแดงของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เมื่อเติบโตเต็มที่แล้ว นิวเคลียสจะสลายไป เซลล์เม็ดเลือดที่ไม่มีนิวเคลียสจะมีผลต่อการทำหน้าที่หรือไม่ อย่างไร
14. ลักษณะที่ทำให้เส้นเลือดฝอยเหมาะสมในการทำหน้าที่แลกเปลี่ยนสารเข้าออกเส้นเลือดคืออะไร
15. เส้นน้ำเหลืองฝอย (Lymph Capillary) มีความแตกต่างกับเส้นเลือดฝอย (blood Capillary) อย่างไร
16. สารที่ไม่พบอยู่ในท่อน้ำเหลืองคือสารชนิดใด
17. เมื่อมีแอนติเจน (antigen) เช่น เชื้อโรคหรือสารพิษเข้าสู่ร่างกาย เลือดจะมีปฏิกิริยาตอบสนองอย่างไร
18. ขณะให้น้ำเกลือ 0.80 % เข้าทางเส้นแวนที่บริเวณแขนของผู้ป่วย ถ้ามีฟองอากาศหลุดเข้าไปด้วยจะเกิดผลอย่างไร
19. อาการความดันโลหิตต่ำเกิดจากสาเหตุใด
20. การจำแนกหมู่เลือดในระบบ ABO มีหลักการอย่างไร

21. ผู้ป่วยที่มีเลือด Rh⁻ จะรับเลือดของคนที่มีเลือด Rh⁺ ที่มีหมู่เลือดระบบ ABO ตรงกันหรือไม่ เพราะเหตุใด
22. อธิบายภาวะเลือดของแม่กับลูกเข้ากันไม่ได้ (erythroblastosis fetalis) ว่าเกิดจากอะไร และมีผลอย่างไร
23. การฉีดทอกซอยด์เพื่อป้องกันโรคคอตีบทำให้เกิดภูมิคุ้มกันอย่างไร
24. สารแอนติบอดี (antibody) ซึ่งสร้างโดยเม็ดเลือดขาว จะมีการลำเลียงไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายอย่างไร
25. พลังงานที่ได้จากการหายใจ เกิดขึ้นจากกระบวนการสลายโมเลกุลสารอาหารในขั้นใดมากที่สุด
26. เนื้อเยื่อสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูงที่สามารถหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ดีเป็นพิเศษคืออะไร
27. กระบวนการหายใจแบบใช้ออกซิเจนให้พลังงานมากกว่าการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพราะอะไร
28. ถ้าความดันภายในถุงลมปอดเพิ่มขึ้นจะมีผลดีหรือไม่ เพราะเหตุใด
29. หลังจากวิ่ง 400 เมตร เซลล์กล้ามเนื้อของผู้วิ่งจะเปลี่ยน pyruvate ไปเป็นสารอะไร และในกระบวนการนี้จะได้สารชนิดใด
30. ขณะที่หายใจออกจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดใดบ้าง อย่างไร และมีผลทำให้ความดันอากาศในปอดเป็นอย่างไร
31. ในกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อสร้าง ATP สารตัวกลางที่รับอิเล็กตรอนมีอะไรบ้าง
32. เมื่อการหายใจเกิดขึ้นออกซิเจนจะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารชนิดใด และ CO₂ ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ได้มาจากปฏิกิริยาในช่องใด
33. ออกซิเจนทำหน้าที่อะไรบ้างในกระบวนการหายใจระดับเซลล์
34. ถ้ากลั่นหายใจชั่วคราว จะมีผลต่อระดับ pH ในเลือด และการรวมตัวของฮีโมโกลบินกับออกซิเจนอย่างไร
35. ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เกิดขึ้นที่ส่วนใดของเซลล์บ้าง
36. การกำจัดของเสียที่เป็นของเหลวโดย Flame cells พบในสัตว์อะไร

37. สารที่ผ่านโกลเมอรูลัสของหน่วยเนฟรอนของไตมีสภาพคล้ายกับสารชนิดใดในร่างกาย

38. บริเวณใดของหน่วยเนฟรอนของไตที่มีการดูดกลืนน้ำ และสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายได้มากที่สุด

39. คนที่ดื่มเบียร์มาก จะปัสสาวะบ่อย และมีปริมาณมาก เป็นเพราะอะไร

40. เมื่อดื่มน้ำมาก จะปัสสาวะมาก เป็นเพราะอะไร

41. เพราะเหตุใดขณะนอนหลับตอนกลางคืนไตจึงทำหน้าที่กรองและปัสสาวะออกมาได้น้อยกว่าขณะทำงานตอนกลางวัน

42. ขณะมีไข้ อุณหภูมิของร่างกายจะเพิ่มสูงกว่า 37 °C เกิดจากอะไร และมีประโยชน์อย่างไรต่อร่างกาย

43. เหยือกของปลาน้ำเค็ม นอกจากใช้ในการหายใจแล้วยังทำหน้าที่อะไร

44. อาการตัวสั่นขณะปัสสาวะใกล้จะเสร็จ เป็นความผิดปกติของร่างกายหรือไม่ เพราะอะไร

45. ศูนย์กลางการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติอยู่ที่ใด

46. ผู้ที่เป็นโรคพิษสุราเรื้อรัง มักมีสมรรถภาพในการทำงานต่ำกว่าคนปกติในวัยเดียวกัน เพราะอะไร

47. เมื่อถูกมีดบาดแล้วรู้สึกเจ็บ การรู้สึกเจ็บเป็นผลจากการส่งงานของศูนย์ประสาทที่ใด

48. เมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้น เยื่อหุ้มเซลล์จะยินยอมให้อิออนชนิดใดผ่านเข้าไปได้มาก

49. ขณะที่ชายคนหนึ่งเดินเลาะตามชายคาอาคารร้านค้า เขาสามารถก้มศีรษะจากไม้ที่ยื่นออกมาได้อย่างกะทันหัน การกระทำนี้อาศัยการส่งงานจากส่วนใดในระบบประสาท

50. การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเส้นประสาทใด ๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยอะไร

51. โยประสาทแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม การเปลี่ยนแปลงของประจุบวกและประจุลบจะเกิดที่บริเวณใด

52. คนที่เมาสุราจัด แล้วมีอาการพูดผิด เดินพลาด และหายใจไม่สะดวก เกิดจากการทำงานผิดปกติของศูนย์ควบคุมในสมองส่วนใดบ้าง ตามลำดับ

53. ขณะที่ไฟไหม้บ้านหลังหนึ่งชายเจ้าของบ้าน สามารถแบกตู้เย็นขนาดใหญ่หนีไฟออกมาได้ เป็นผลมาจากการหลั่งฮอร์โมนชนิดใด และฮอร์โมนนี้ออกฤทธิ์ที่อวัยวะใด

54. Vasopressin มีอิทธิพลต่อการทำงานที่ส่วนไหนของหน่วยไตมากที่สุด
55. อวัยวะใดที่ทำหน้าที่ทั้งหลังเอนไซม์และฮอร์โมน
56. การขยายพันธุ์สัตว์เศรษฐกิจ เช่น ปลา เพื่อให้มีปริมาณมากและรวดเร็ว วิธีที่รวดเร็วและให้ผลสำเร็จสูง คือ การใช้ฮอร์โมนอวัยวะใด
57. ฮอร์โมนไทรอกซินในเด็กทำหน้าที่ควบคุมเกี่ยวกับเรื่องอะไร
58. ฮอร์โมนที่สร้างจากเซลล์ประสาท คือ ฮอร์โมนอะไร และทำหน้าที่อย่างไร
59. ฮอร์โมนชนิดใด มีกลไกการออกฤทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของยีนในเซลล์เป้าหมาย
60. ต่อมหมวกไต ตับ และไอส์เลต ออฟ แลงเกอร์ ฮานส์ ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทำหน้าที่ร่วมกันในเรื่องใด