บทที่ 1
ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับกายวิภาคและสรีรวิทยา
Introduction to Anatomy and Physiology

กายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา

กายวิภาคศาสตร์ (anatomy) เป็นแขนงหนึ่งของวิชาชีววิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับขนาด รูปร่าง โครงสร้างและตำแหน่งของอวัยวะในร่างกาย อาจกล่าวได้ว่าเป็นความรู้ทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตสาขาหนึ่ง ซึ่งต้องมีการตัดชิ้นส่วนของร่างกายมาเกี่ยวข้อง เพราะคำว่า anatomy มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก โดยคำว่า ana แปลว่า แยกออก ส่วนคำว่า tomy หรือ tome แปลว่า ตัด แต่สรีรวิทยา (physiology) เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับหน้าที่หรือการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย ซึ่งรวมถึงหน้าที่ในระดับเซลล์ที่เป็นส่วนประกอบด้วย โดยทั่วไปการศึกษาด้านกายวิภาคและการศึกษาด้านสรีรวิทยาจะเป็นการศึกษาที่ควบคู่กันไปก็ได้ เพื่อจะได้ทราบว่าอวัยวะแต่ละอย่างในร่างกายมีรูปร่างอย่างไร มีขนาด หรืออยู่ที่ตำแหน่งใดของร่างกายและอวัยวะนั้นๆทำหน้าที่อย่างไร เป็นต้น แนววิชาของกายวิภาคศาสตร์สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.กายวิภาคศาสตร์เฉพาะทาง (special anatomy) หมายถึงการศึกษาทางลักษณะโครงสร้างของสัตว์แต่ละชนิด โดยเฉพาะศึกษาในทุกระบบของร่างกาย เช่น กายวิภาคศาสตร์ของโค ,ม้า,สุกร,สุนัขและสัตว์ปีก เป็นต้น

2.จุลกายวิภาคศาสตร์ (histology หรือ microscopic anatomy) หมายถึงการศึกษาลักษณะโครงสร้างของร่างกาย โดยอาศัยกล้องจุลทรรศน์ การศึกษานี้เป็นการศึกษาเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกายว่าประกอบด้วยเซลล์ประเภทใดบ้าง ลักษณะเซลล์มีรูปร่างอย่างไร ขนาด เป็นอย่างไร เป็นต้น

3. มหกายวิภาคศาสตร์ (gross anatomy หรือ macroscopic anatomy) หมายถึงการศึกษาลักษณะโครงสร้างของอวัยวะต่างๆที่สามารถจะเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยวิธีการแยกหรือชำแหละแยกอวัยวะออกเป็นส่วนๆ

4. คัพภะวิทยา (embryology หรือ developmental anatomy) หมายถึงการศึกษาการเจริญเติบโตเปลี่ยนแปลงของเซลล์ตลอดจนเนื้อเยื่อ และอวัยวะในร่างกาย ตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในระยะแรก (zygote)จนกระทั่งถึงระยะก่อนคลอด

5.กายวิภาคศาสตร์เปรียบเทียบ (comparative anatomy) หมายถึงการศึกษาด้านโครงสร้าง รูปร่างของอวัยวะของสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังชนิดต่างๆ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร เช่นโคมีกระเพาะรวม สุกรมีกระเพาะเดี่ยวเป็นต้น

6.กายวิภาคศาสตร์ทางสัตว์แพทย์ (veterinary anatomy) หมายถึงการศึกษากายวิภาคศาสตร์ของสัตว์เลี้ยง เพื่อประโยชน์ในอาชีพสัตว์แพทย์

สำหรับการศึกษากายวิภาคศาสตร์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าใจได้ง่าย มักนิยมศึกษาแยกเป็นระบบ เรียกว่า systemic anatomy หรือศึกษาแยกเป็นส่วนๆเฉพาะแต่ละแห่งเรียกว่า topographic anatomy

1.การศึกษากายวิภาคศาสตร์โดยศึกษาโครงสร้างของร่างกายแยกเป็นระบบ(systemic anatomy) จะทำให้เกิดสาขาวิชาเฉพาะตามระบบหรือสาขาวิชาเฉพาะตามอวัยวะที่ใช้ศึกษาแบ่งออกได้ดังแสดงในตารางที่ 1.1

`

ตารางที่ 1.1 แสดงระบบของอวัยวะและการแบ่งสาขาวิชาที่ศึกษา

ระบบ	ชื่อสาขาวิชา	อวัยวะที่ศึกษา
ระบบโครงร่าง (skeleton system)	osteology	กระดูกอ่อน, กระดูก
ระบบข้อต่อ (articular system)	arthropology	ข้อต่อแขนขา
ระบบกล้ามเนื้อ (muscular system)	myology	กล้ามเนื้อลาย เรียบ หัวใจ
ระบบประสาท (nervous system)	neurology	สมอง ไขสันหลัง เส้นประสาท
ระบบปกคลุมร่างกาย (integumentary system)	dermatology	ผิวหนัง ต่อมเหงื่อ ต่อมน้ำนม ขน กีบ เขา
ระบบรับความรู้สึก (sensory system)	esthesiology	ตา หูจมูก ลิ้น อวัยวะรับสัมผัส
ระบบหมุนเวียนโลหิต (circular system)	angiology	หัวใจ เส้นเลือด เส้นน้ำเหลือง
ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (urinary system)	splanchnology	ไต กระเพาะปัสสาวะ
ระบบหายใจ (respiratory system)	splanchnology	ปอด ทางเดินหายใจ
ระบบย่อยอาหาร (digestive system)	splachnology	กระเพาะ ลำไส้ ตับ ตับอ่อน
ระบบสืบพันธุ์ (reproductive system)	splanchnology	รังไข่ และ ลูกอัณฑะ

2.การศึกษาระบบเฉพาะเป็นแห่ง (topographic anatomy) เป็นการศึกษาระบบแยกส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องของอวัยวะ และตำแหน่งที่ตั้ง จัดเป็นการศึกษาที่เป็นพื้นฐานสำหรับวิชาศัลยศาสตร์ต่อไป แบ่งส่วนศึกษาดังนี้คือ

- การศึกษาในส่วนหัว(head, throat, neck)
- การศึกษาในส่วนขาหน้า(fore limb)
- การศึกษาในส่วนท้อง (abdominal)
- การศึกษาในส่วนขาหลัง (hind limb)

ท่ามาตราฐานทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomical position)

การศึกษาท่ามาตรฐานทางกายวิภาคศาสตร์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับท่าต่างๆที่ใช้อ้างอิงในการศึกษา เมื่อจะกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะต่างๆ เพื่อเป็นการป้องกันความสับสนในการบอกทิศทางของอวัยวะต่างๆ โดยกำหนดว่าท่านี้เป็นท่าคนยืนตัวตรง ตาทั้งสองข้างมองตรงไปข้างหน้าในแนวระดับ แขนทั้งสองข้างแนบชิดลำตัว โดยหันผ่ามือทั้งสองข้างแบออกไปทางด้านหน้า และเท้าทั้งสองข้างชิดกันตลอด สำหรับการศึกษาทางกายวิภาคศาสตร์สัตว์เลี้ยงจำเป็นต้องยึดหลักท่ามาตรฐานทางกายวิภาคของคนเช่นกัน

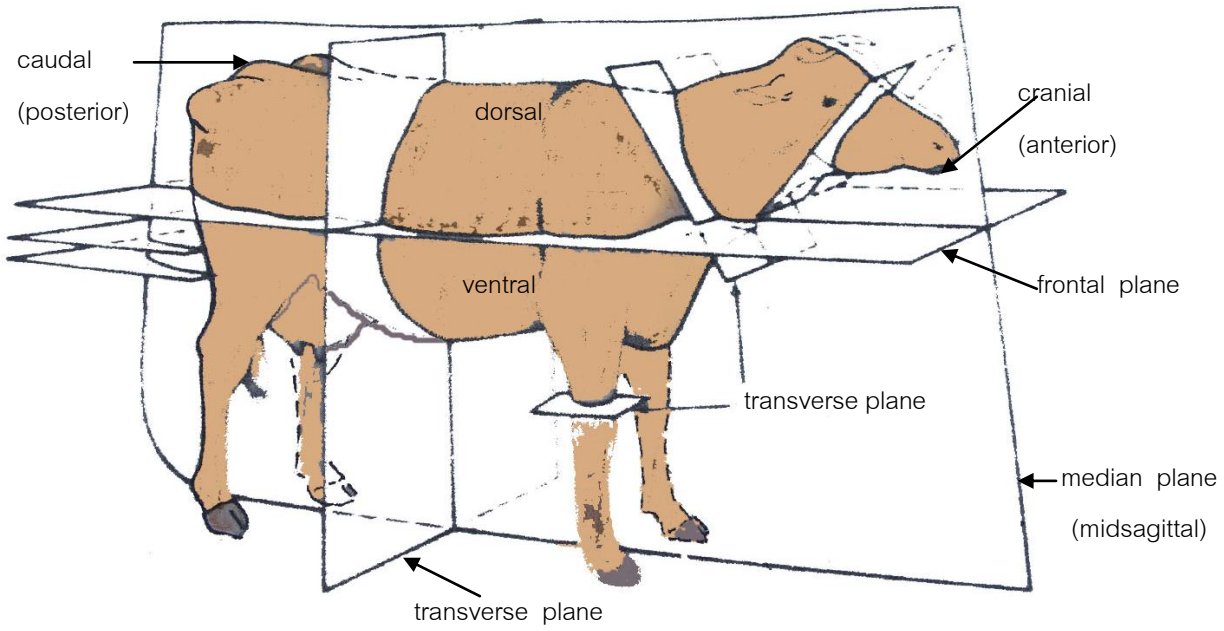
ระนาบหรือแนวตัดแบ่งร่างกาย (plane of body section)

ในการกำหนดตำแหน่งและการบอกความสัมพันธ์ระหว่างอวัยวะในร่างกายจำเป็นต้องมีการแบ่งระนาบของร่างกายออกเป็นระนาบต่างๆดังนี้

1.ระนาบข้าง (sagittal plane) หมายถึงระนาบในแนวดิ่งที่แบ่งร่างกายมนุษย์หรือสัตว์เลี้ยงออกเป็นสองซีกขวาและซ้าย แต่ละซีกไม่จำเป็นต้องเท่ากันพอดี ถ้าเป็นการผ่าแบ่งตามแนวกึ่งกลางร่างกายตามแนวดิ่งพอดีจะแบ่งร่างกายออกเป็นสองซีกเท่ากันทั้งซ้ายและขวา เรียกว่า midsagittal plane หรือ median plane

2.ระนาบหน้าหลัง (coronal plane) หมายถึงระนาบที่แบ่งร่างกายคนตามแนวดิ่งตัดขนานกับรอยต่อของกะโหลก แบ่งร่างกายออกเป็นซีกหน้าและซีกหลัง แต่ในสัตว์เลี้ยงเนื่องจากยืนด้วยเท้าทั้งสี่ จะทำให้มีความแตกต่างกับในคน ในสัตว์เลี้ยงระนาบนี้จะแบ่งร่างกายออกเป็นครึ่งบนและครึ่งล่าง อาจเรียกว่า horizontal plane

3.ระนาบขวาง (transverse plane) เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบข้าง และระนาบหลัง ซึ่งจะแบ่งร่างกายออกเป็นซีกหน้าและซีกหลัง แต่ในร่างกายคนจะแบ่งออกเป็นครึ่งบนและครึ่งล่าง



ภาพที่ 1.1 แสดงระนาบและแนวตัดแบ่งของร่างกายโค
ดัดแปลงจาก : Dyce และคณะ 1996

แนวแกนร่างกาย (body axis)

แนวแกนร่างกายเป็นแนวแกนที่กำหนดขึ้นมาเพื่อความสะดวกในการกำหนดจุดหมุนของการเคลื่อนไหวของร่างกาย สามารถกำหนดแกนร่างกายออกเป็น 3 แกนคือ

1. แกนหน้าหลัง (anteriorposterior axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านจากส่วนหน้าของสัตว์ไปส่วนหลังของสัตว์ตามแนวนอน

2. แกนขวาง (transverse axis หรือ horizontal axis) เป็นแนวแกนที่ทอดผ่านร่างกายจากด้านซ้ายไปด้านขวาของร่างกายสัตว์หรือมนุษย์ตามแนวนอน

3. แกนดิ่ง (vertical axis) เป็นแนวแกนในแนวดิ่งที่ตั้งฉากกับสองแกนแรก

ศัพท์ที่ใช้ชี้บอกตำแหน่งและความสัมพันธ์ของอวัยวะ (terms of relationship)

เพื่อให้มีความเข้าใจในทางเดียวกันหรือมีความเข้าใจตรงกันในการกล่าวถึงตำแหน่งของอวัยวะในร่างกายสัตว์เลี้ยง จึงได้มีการกำหนดศัพท์เฉพาะขึ้น เพื่อใช้ชี้บอกว่าโครงสร้างหรืออวัยวะนั้นๆ อยู่ที่ใดในร่างกาย และมีความสัมพันธ์กับอวัยวะอื่นๆ อย่างไร โดยคำศัพท์ที่จะกล่าวถึงต่อไปเป็นคำศัพท์ที่ใช้บอกตำแหน่งของอวัยวะบนร่างกาย เช่น

ตารางที่ 1.2 คำศัพท์ที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของร่างกาย

คำศัพท์	ความหมาย
anterior หรือ cranial	ส่วนหัวหรือด้านหน้าของสัตว์ หรือส่วนที่ค่อนไปทางด้านหน้าของสัตว์
posterior หรือ caudal	ส่วนท้ายหรือด้านหลังของสัตว์ หรือส่วนที่ค่อนไปทางด้านหลังของสัตว์
ventral	ด้านล่างหรือด้านที่ค่อนไปทางด้านท้องของสัตว์
dorsal	ด้านบนหรือด้านหลังของร่างกายสัตว์
proximal	ด้านที่อยู่สูงกว่าหรือเหนือกว่าหรืออยู่ใกล้กับเส้นกลางตัวมากกว่าหรือใกล้แนวกระดูกสันหลังมากกว่า
distal	ด้านที่อยู่ต่ำกว่าหรือไกลกว่าแนวกระดูกสันหลัง
superior	ส่วนบนเหนือหัวหรือส่วนหัว
inferior	ส่วนล่างของร่างกาย
median	ส่วนที่อยู่ในแนวกลางตัวพอดี
medial	อยู่ใกล้กับแนวกลางตัว
lateral	ส่วนที่อยู่ห่างจากแนวกระดูกสันหลังหรือเส้นแนวกลางตัว
intermediate	ส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่างสองสิ่ง
superficial	ส่วนที่อยู่ใกล้ผิวหรืออยู่ตื้น
deep	ส่วนที่อยู่ลึกลงไป
external	ส่วนที่อยู่ด้านนอกของผนัง(มักใช้กับอวัยวะที่มีโพรง)
internal	อยู่ข้างในของผนัง(มักใช้กับอวัยวะที่มีโพรง)
central	อยู่ใกล้ศูนย์กลางหรือใกล้อวัยวะมากกว่า
peripheral	อยู่ห่างจากศูนย์กลางหรือไกลอวัยวะมากกว่า
visceral	ชั้นที่แนบติดกับผิวอวัยวะภายใน
parietal	ชั้นที่บุผนังด้านในของช่องว่างในร่างกาย

ศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของอวัยวะในลักษณะต่าง ๆ(terminology of movement)

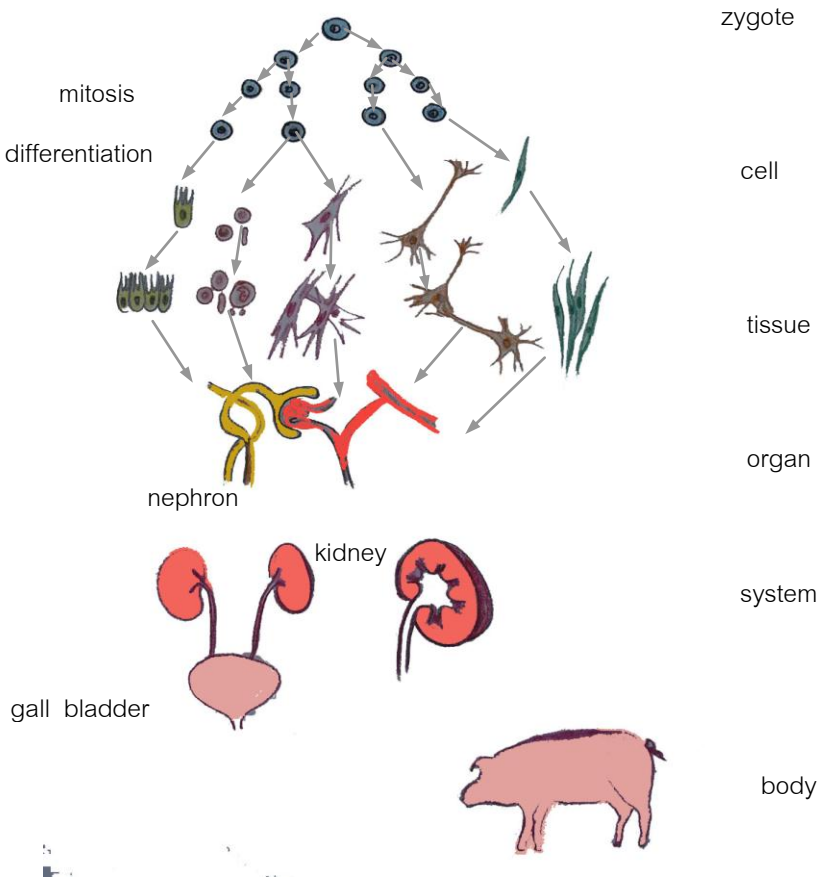
เนื่องจากร่างกายของสัตว์สามารถมีการเคลื่อนไหวได้เพราะมีระบบโครงสร้างและกล้ามเนื้อรวมทั้งข้อต่อ จึงได้มีการกำหนดศัพท์ที่ใช้เรียกท่าการเคลื่อนไหวต่างๆไว้ เพื่อสะดวกในการอ้างอิงและเพื่อให้เกิดความเข้าใจตรงกัน คำศัพท์ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวมักเป็นคำศัพท์ที่จัดไว้เป็นคู่ดังนี้

ตารางที่ 1.3 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย

ศัพท์	คำศัพท์ที่คู่กัน	ความหมาย
abduction	adduction	การเคลื่อนไหวที่ออกจากแนวกลางตัวและการเคลื่อนไหวเข้าหาแนวกลางตัว
flexion	extension	การงอข้อต่อข้อใดข้อหนึ่งและการยืดข้อต่อข้อใดข้อหนึ่งที่มีทิศทางตรงกันข้าม
elevation	depression	การเคลื่อนส่วนของร่างกายเช่นฝ่าเท้าให้เลื่อนไปทางส่วนหัวหรือด้านบน และการเลื่อนส่วนของร่างกายให้ลงไปทางด้านล่าง
protection	retraction	เป็นการเคลื่อนที่ของส่วนยื่นส่วยใดส่วนหนึ่งของร่างกายออกไปข้างหน้าและดึงกลับทางด้านท้าย

บทที่ 2
เซลล์และเนื้อเยื่อพื้นฐานของร่างกาย
(Cell and Basic body tissues)

เซลล์เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต โดยทั่วไปจะมีโครงสร้างพื้นฐานคล้ายคลึงกัน และมีคุณสมบัติของการเป็นสิ่งมีชีวิตครบถ้วน เช่นการมีคุณสมบัติในการเจริญเติบโตเพิ่มขนาดได้ (growth) สามารถแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนได้ (cell division) มีความสามารถในการดูดซึมโภชนะ(absorption) รวมทั้งสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้า (response) และขับถ่ายของเสียได้ (excretion) เซลล์ที่เป็นส่วนประกอบของร่างกายจะมีรูปร่าง ขนาด และหน้าที่แตกต่างกันไป เซลล์ที่มีหน้าที่เหมือนกันเมื่อมาอยู่รวมกันจะทำให้เกิดเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) เนื้อเยื่อหลายๆชนิดมาประกอบรวมกันเกิดเป็นอวัยวะ (organ)เช่น ปอด หัวใจ และกระเพาะอาหาร เมื่ออวัยวะหลายๆอวัยวะมาทำหน้าที่ร่วมกัน เรียกว่าระบบ (system) เช่นระบบทางเดินอาหารประกอบด้วยอวัยวะต่างๆทำหน้าที่ร่วมกันคือกระเพาะอาหาร (stomach) ลำไส้เล็ก (small intestine) ตับ (liver) และถุงน้ำดี(gall bladder)ระบบหลายๆรวมกันจะเกิดเป็นส่วนประกอบของร่างกาย(body)

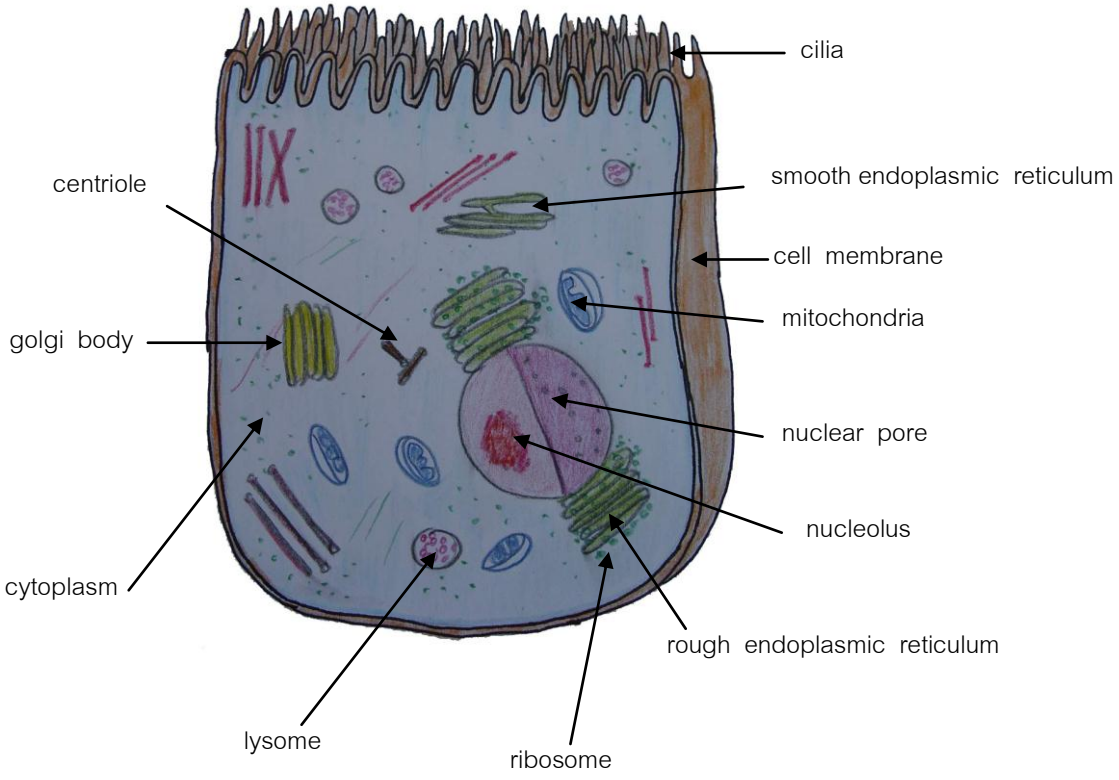


ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของร่างกาย

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ (basic cell structure)

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และนิวเคลียส (nucleus) เซลล์ของสัตว์ส่วนใหญ่มีเยื่อหุ้มเซลล์(cell membrane)มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane)และ มีออร์แกนเนลล์ (organells) ที่มีเยื่อหุ้มอยู่ในส่วนของไซโตพลาสซึม

เยื่อหุ้มเซลล์อาจเรียกว่า plasma membrane หรือ cytoplasmic membrane ทำหน้าที่ห่อหุ้มเซลล์ทำให้เซลล์เกิดเป็นรูปร่าง มีขนาดต่างๆ แลใช้แยกเซลล์แต่ละเซลล์ออกจากกัน นอกจากนี้ยังช่วยห่อหุ้มไซโตพลาสซึม และป้องกันไม่ให้ออร์แกนเนลล์ต่างๆไหลออกนอกเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์มีคุณสมบัติที่ยินยอมให้สารบางชนิดผ่านเข้าออกได้ โดยอัตราการซึมผ่านเข้าออกของสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เรียกคุณสมบัตินี้ว่าเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane)ทำหน้าที่ควบคุมการผ่านเข้าออกของสารจากเซลล์ เยื่อหุ้มเซลล์เป็นสารประกอบพวกโปรตีนและไขมัน สารโปรตีนส่วนใหญ่อยู่รวมกับคาร์โบไฮเดรทเรียกว่าไกลโคโปรตีน (glycoprotein) นอกจากนี้ยังมีมิวโคโปรตีน (mucoprotein) เป็นส่วนประกอบ ส่วนของไขมันจะเป็นพวกฟอสฟอไลปิด (phospholipid) และคลอเรสเตอรอล (cholesterol) เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์

1. ไซโตพลาสซึม คือส่วนของโปรโตพลาสซึมหรือของเหลวที่อยู่รอบนอกของนิวเคลียส มีลักษณะเป็นของเหลวใสประกอบด้วย ออร์แกนเนลล์ (organells) ซึ่งเป็นส่วนที่มีชีวิตของเซลล์หลายชนิด แต่ละเซลล์อาจมีชนิดของออร์แกนเนลล์ที่แตกต่างกัน และมีส่วนประกอบที่ไม่มีชีวิตของเซลล์ หรือไซโตพลาสมิกอินคลูชั่นบอดี้ (cytoplasmic inclusion bodies)

ก.ออร์แกนเนลล์ เป็นส่วนประกอบที่มีชีวิตแขวนลอยในไซโตพลาสซึม ทำหน้าที่เปรียบได้กับอวัยวะต่างๆของเซลล์ ทำหน้าที่เกี่ยวกับขบวนการเมตาโบลิซึมและเป็นส่วนประกอบที่ถาวรของไซโตพลาสซึม ได้แก่ ออร์แกนเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม(plasma bound organells) และไม่มีเยื่อหุ้ม (non membrane bounded organells) ออร์แกนเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มเป็นโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่ของเซลล์ ได้แก่ ไมโตคอนเดรีย (mitochondria) เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum) กอลจิบอดี้ (glogi bodies)และ ไลโซโซม (lysosome) เป็นต้น ส่วนออร์แกนเนลล์ที่ไม่เยื่อหุ้มเซลล์ได้แก่ ไรโบโซม (ribosome) และเซนตริโอล (centriole) เป็นต้น

ไมโตคอนเดรีย เป็นออร์แกนเนลล์ที่มีรูปร่างกลมหรือรูปร่างเป็นรูปไข่ เป็นท่อนสั้นๆ หรือท่อนยาว มีผนังหุ้ม 2 ชั้น (double unit membrane) ภายในมีเอ็นไซม์หลายชนิด โดยเฉพาะเอ็นไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์พลังงานพวก ATP เอ็นไซม์ที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์โปรตีนและไขมัน เป็นต้น เซลล์ที่มีไมโตคอนเดรียมากเป็นเซลล์ที่มีเมตาโบลิซึมสูง เช่น เซลล์ตับและไต เป็นต้น หน้าที่สำคัญของไมโตคอนเดรีย คือ แหล่งสร้างพลังงานของเซลล์ ไมโตคอนเดรียเป็นออร์แกนเนลล์ที่สามารถแบ่งตัวได้เนื่องจากมี DNA อยู่ภายใน

เอ็นโดพลาสมิกเรติคูลัม เป็นออร์แกนเนลล์ที่มีลักษณะเป็นท่อที่มีการเชื่อมต่อประสานกันมีเยื่อบางๆ หุ้ม 2 ชั้น ส่วนของท่อยังมีทางเชื่อมติดต่อกับเยื่อหุ้มเซลล์ เยื่อหุ้มนิวเคลียสและกอลจิบอดี้ ภายในท่อมีของเหลวบรรจุอยู่เรียกว่า ไฮยาโลพลาสซึม (hyaloplasm) โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดผิวเรียบ (smooth endoplasmic reticulum,SER) และ เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดขรุขระ(rough endoplasmic reticulum,RER) เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดผิวเรียบเป็นเอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมที่ไม่มีไรโบโซมมาเกาะ ทำหน้าที่สำคัญในการลำเลียงสารต่างๆ เช่น RNA, ไขมัน และ สเตอรอยด์ฮอร์โมน พบมากในเซลล์ที่มีการสังเคราะห์สเตอรอยด์ฮอร์โมน เช่น เลย์ดิกเซลล์ (leydig's cell) เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมชนิดผิวขรุขระเป็นเอ็นโดพลาสมิกชนิดที่มีไรโบโซมมาเกาะที่ผิวด้านนอกของท่อ พบมากในเซลล์ที่มีการสร้างและสะสมโปรตีน มีหน้าที่สังเคราะห์โปรตีนในลักษณะของสารละลาย (soluble) และนำออกจากเซลล์โดยส่งผ่านทางกอลจิบอดี้

กอลจิบอดี้ อาจเรียกว่ากอลจิคอมเพ็ลกซ์ (golgi complex) หรือ กอลจิแอพพาลาทัส (glogi apparatus) มีลักษณะเป็นถุงแบนๆ หรือเป็นท่อแบนเรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ทำหน้าที่สะสม

สารที่ร่างกายสร้างขึ้นมาภายในเซลล์เช่นโปรตีน ทำให้โปรตีนที่สร้างมามีความเข้มข้นขึ้นในรูปของซีครีเทอรี่เวสซิเคิล(secretory vesicle) เกี่ยวกับการหลั่งของสารออกนอกเซลล์(exocytosis) และเกี่ยวกับการสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรทด้วยเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งสารจะมีกอลจิ บอดี้ เจริญดี

ไลโซโซม เป็นออร์แกนเนลล์ที่มีรูปร่างกลม มีผนังเยื่อบุเป็นชั้นเดียว ภายในมีเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน (proteolytic enzyme) จึงทำหน้าที่ย่อยสารที่ร่างกายไม่ต้องการให้ออกภายนอกเซลล์ ไลโซโซมเป็นออร์แกนเนลล์ที่พบมากในเซลล์เม็ดเลือดขาวเช่นนิวโทรฟิล(neutrophil) และเซลล์ในระบบเรติคิวโลเอ็นโดทีเรียล (retoculoendotherial system) เช่น ตับและม้าม เอนไซม์ในไลโซโซมทำหน้าที่ในการย่อยสลายโมเลกุลของสารภายในเซลล์ ย่อยเซลล์ที่ตายแล้วหรือเซลล์ที่มีอายุมาก ย่อยสลายเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่เซลล์ และย่อยสลายโครงสร้างต่างๆของเซลล์ในระยะที่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลง

ไรโบโซม เป็นออร์แกนเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม มีขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วไปอย่างอิสระภายในไซโตพลาสซึมของเซลล์ บางส่วนเกาะอยู่ที่เอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลั่ม มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีน และเกี่ยวข้องกับการแบ่งเซลล์ ไรโบโซมที่อยู่ในไซโตพลาสซึมจะสร้างโปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์ ส่วนที่เกาะกับเอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลัมจะสร้างโปรตีนที่ใช้ภายนอกเซลล์

เซนทริโอล เป็นออร์แกนเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม มีลักษณะคล้ายท่อทรงกระบอกเล็กๆ 2 กลุ่ม เรียงตัวตั้งฉากกัน มีหน้าที่ในการแบ่งเซลล์ จะพบเซนทริโอลในขณะที่เซลล์มีการแบ่งตัว ทำหน้าที่ในการแยกโครโมโซมออกจากกัน เซลล์บางชนิดเซนทริโอลจะเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของเซลล์เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของซีเลียหรือขน

ข.ไซโตพลาสมิกอินคลูชั่นบอดี้ (cytoplasmic inclusion bodies) หรือสารที่ไม่มีชีวิตที่เซลล์สร้างขึ้นมาและอยู่ในส่วนของไซโตพลาสซึม เช่นเม็ดแป้ง เม็ดไขมัน ของเสียที่เกิดขึ้นจากขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ สารสีหรือสิ่งแปลกปลอมที่เข้าไปอยู่ในเซลล์

ส่วนประกอบที่อยู่ในไซโตพลาสซึมที่มีโครงสร้างและหน้าที่ต่างจากออร์แกนเนลล์คือไม่มีเยื่อหุ้มและไม่เกี่ยวกับขบวนการเมตาโบลิซึม แต่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของไซโตพลาสซึมและการเคลื่อนที่ของเซลล์ได้แก่ ไมโครทูบูล(microtubules) และ ไมโครฟิลาเมนท์ (microfilaments) เป็นต้น

2.นิวเคลียส (nucleus) เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของเซลล์ และเป็นที่อยู่ของสารพันธุกรรมของเซลล์เช่น DNA ซึ่งจะอยู่รวมกับโปรตีนในรูปของโครมาติน นอกจากนี้ยังมี RNA ทั้ง DNA และ RNA ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซลล์ร่วมกับไซโตพลาสซึม เซลล์ทุกชนิดจะมีนิวเคลียสยกเว้นเซลล์เม็ดเลือดแดง นิวเคลียสของเซลล์อาจมีรูปร่างต่างๆกันเช่น รูปกลม รี หรือเป็นพู(lobe) เซลล์หนึ่งๆอาจมีนิวเคลียสมากกว่า 1 อัน(multinucleate) ก็ได้เช่นเซลล์กล้ามเนื้อลาย นิวเคลียสประกอบด้วยเยื่อหุ้มนิวเคลียส โครมาตินและ นิวคลีโอลัส เป็นต้น

ก. เยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear envelop หรือ nuclear membrane)เป็นเยื่อบางๆมี 2 ชั้น ที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสมีรูอยู่มากมา เรียกว่านิวเคลียร์พอร์ (nuclear pore) ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสารต่างๆ ระหว่างไซโตพลาสซึมกับนิวเคลียส เยื่อหุ้มนิวเคลียสมีลักษณะเป็นเยื่อเลือกผ่านเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ ด้านนอกของเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะมีช่องทางติดต่อกับเอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลั่มชนิดหยาบ เพื่อทำหน้าที่ลำเลียงสารต่างๆระหว่างนิวเคลียสและไซโตพลาสซึม

ข.โครมาติน(chromatin) เป็นส่วนของนิวเคลียสที่ย้อมติดสี มีลักษณะเป็นเส้นใยเล็กๆขดไปมาเป็นร่างแห เรียกว่าร่างแหโครมาติน (chromatin network) ประกอบด้วยโปรตีนหลายชนิด เช่นโปรตีนฮีสโตน (histone) โครงสร้างพื้นฐานของโครมาติน คือนิวคลีโอโซม(nucleosome) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแกนคือ ฮีสโตน และมี DNA พันอยู่โดยรอบนอกจากนี้มีโปรตีนที่ไม่ใช่ฮีสโตนเป็นแหล่งสังเคราะห์สารตั้งต้นของ mRNA ในขณะที่มีการแบ่งเซลล์ ส่วนของโครมาติน (chromatin) จะหดตัวสั้นลงเป็นแท่งเรียกว่าโครโมโซม (chromosome)โครโมโซมจะจำลองตัวตัวเองเป็นเส้นคู่เรียกว่าโครมาติด (chromatid) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีจำนวนโครโมโซมที่ต่างกันไป สุกรมีโครโมโซม 20 คู่ โคมี 48 คู่ และแมวมี 19 คู่ โครโมโซมทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

ค. นิวคลีโอลัส(nucleus) เป็นส่วนของนิวเคลียสที่มีลักษณะเป็นก้อนประกอบด้วย โปรตีนและ RNA นิวคลีโอลัสในเซลล์จะที่มีกิจกรรมสูงจะมีขนาดใหญ่ ทำหน้าที่สังเคราะห์ RNA ชนิดต่างๆ RNA จะถูกนำออกจากนิวเคลียสทางรูที่เยื่อหุ้มนิวเคลียส เพื่อทำหน้าที่สร้างไรโบโซม

เซลล์ทุกชนิดในร่างกายสิ่งมีชีวิตจะมีการเสื่อมสลายหรือตายไปตามธรรมชาติ ทำให้เกิดการหมุนเวียนของเซลล์ในร่างกายตลอดเวลา(cell turnover) หากการตายของเซลล์เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เรียกว่า ขบวนการอะพ๊อพโทซีส(apoptosis) ส่วนการตายของเซลล์ที่เกิดจากการติดเชื้อ (pathogenic condition) จะเรียกว่า การนีโครซีส(necrosis) ซึ่งเกิดจากเซลล์นั้นๆไม่มีความสามารถในการสร้างพลังงาน เพื่อให้เซลล์มีชีวิตอยู่รอดได้

การเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

การเคลื่อนที่ของสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์มีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่ของเซลล์ เนื่องจากเซลล์จะมีชีวิตอยู่ได้ จำเป็นต้องได้รับอาหารหรือโภชนะเพื่อใช้ในการสังเคราะห์แหล่งพลังงาน ขณะเดียวกันก็จำเป็นต้องมีการขับของเสีย หรือสารที่เซลล์ไม่ต้องการให้ออกจากเซลล์ สารต่างๆเหล่านี้จะเข้าออกจากเซลล์โดยผ่านทางเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์เป็นเยื่อที่มีคุณสมบัติยอมให้สารบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านเข้าออกได้ ความสามารถของสารต่างๆในการผ่านเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์จะแตกต่างกันออกไป น้ำจัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ดีที่สุด

เนื่องจากสามารถผ่านเข้าออกจากเซลล์ได้อย่างอิสระ (เช่นเดียวกับสารที่มีขนาดเล็กบางชนิด) รองลงมาคือก๊าซที่ละลายน้ำได้ หรืออยู่ในรูปสารละลาย สารอินทรีย์ สารประจุลบ และสารประจุบวกเป็นต้น สำหรับสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เช่นโภชนะต่างๆ เซลล์จำเป็นต้องมีกลไกพิเศษในการนำสารดังกล่าวนี้เข้าภายในเซลล์ และสารที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้จะต้องมีสภาพเป็นสารละลายเท่านั้นสำหรับกลไกที่ใช้ในการลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์มีด้วยกัน 3 แบบ คือ

1.การแพร่หรือการดิพฟิวชั่น (diffusion) เป็นกลไกการลำเลียงสารแบบไม่ใช้พลังงาน (passive transport) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารจะเคลื่อนที่จากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจะเป็นแบบทุกทิศทุกทางจนกระทั่งเกิดความสมดุลของสารละลาย ไม่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าสำหรับเยื่อหุ้มเซลล์ การเคลื่อนที่ของสารแบบนี้จะขึ้นกับอุณหภูมิ ขนาดของโมเลกุลและความแตกต่างของความเข้มข้นของสารเป็น กลไกการลำเลียงสารแบบนี้สามารถแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

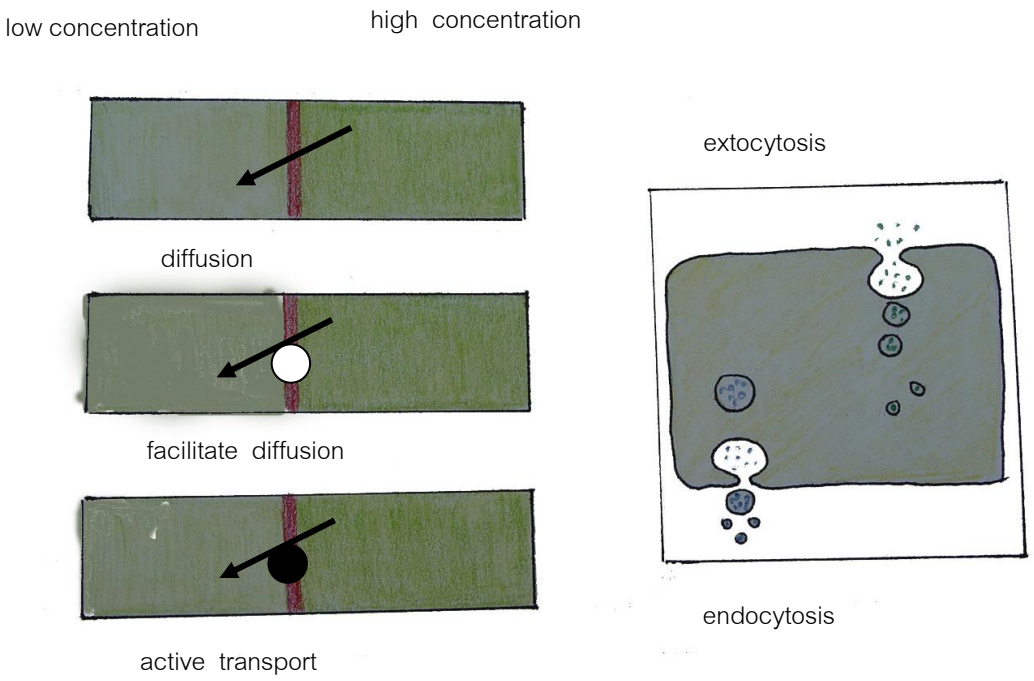
ก. การแพร่แบบธรรมดา (simple diffusion) เป็นการแพร่ของโมเลกุลของจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า เช่น การแพร่ของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถุงลมปอด และการแพร่ของสารบางชนิดที่เยื่อหุ้มเซลล์

ข. การออสโมซีส (osmosis) เป็นการแพร่ของน้ำหรือสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เช่นกัน โดยจะแพร่จากบริเวณที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า หรือมีน้ำมากกว่าผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่บริเวณที่มีน้ำน้อยกว่าหรือมีความเข้มข้นมากกว่า

ค. การแพร่โดยอาศัยตัวพา (facilitate diffusion) เป็นขบวนการที่สารเคลื่อนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยอาศัยตัวพา (carrier) ที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยไม่มีการใช้พลังงาน เนื่องจากตัวพานี้สามารถเคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อย่างอิสระ จึงสามารถนำพาสารจากด้านหนึ่งของเยื่อหุ้มเซลล์ผ่านไปยังอีกด้านหนึ่งได้ การเคลื่อนที่ของสารจะเป็นแบบการเคลื่อนที่จากสารที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำกว่า ลักษณะของการเกาะตัวของสารกับตัวพาเพื่อผ่านผนังเซลล์ จะเกาะกับตัวพาที่ตำแหน่งจำเพาะ (binding site) ลักษณะของการเกาะของสารกับตัวพาที่เยื่อหุ้มเซลล์มี 3 ลักษณะคือ ลักษณะจำเพาะ ลักษณะแข่งขัน และลักษณะความอิ่มตัวของตัวพาเป็นต้นการนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวพา มีลักษณะเป็นการนำสารเข้าสู่เซลล์ที่มีตัวรับอยู่ที่เยื่อเซลล์ ทำหน้าที่นำสารเข้าเซลล์ โดยสารและตัวนำจะมีความจำเพาะกันอย่างเจาะจงเท่านั้น

2. การลำเลียงสารแบบใช้พลังงาน (active transport) ลักษณะการเคลื่อนตัวของสารโดยใช้พลังงานนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในเซลล์ที่ยังมีชีวิตอยู่ท่านั้น โดยการใช้ตัวพาและพลังงานร่วมกัน การเคลื่อนที่แบบนี้จะสามารถทำให้สารเคลื่อนตัวจากที่มีความเข้มข้นต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นสูงได้ ตัวพาสารส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีน ตัวพาจะพาสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ต้องได้รับการกระตุ้นจากพลังงาน (ATP) ก่อน จากนั้นจึงยอมให้สารเกาะและนำเข้าสู่เซลล์ได้ การเคลื่อนที่ของ

สารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยใช้พลังงานได้แก่ การเคลื่อนที่ของกลูโคส กรดอะมิโน และแร่ธาตุ เช่น โซเดียมและโปแตสเซี่ยมปั๊มที่เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ประสาท รวมทั้งการดูดกลับของสารที่หลอดไต เป็นต้น



ภาพที่ 2.3 การเคลื่อนที่ของสารผ่านผนังเซลล์เมมเบรน

3. การลำเลียงสารโดยการสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์ ลักษณะการลำเลียงสารชนิดนี้เป็นการลำเลียงสารที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ โดยเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ เนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์เป็นสารประกอบพวกโปรตีนและไขมัน การลำเลียงสารชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการลำเลียงสารออกนอกเซลล์ (exocytosis)และการลำเลียงสารเข้าภายในเซลล์ (endocytosis)เป็นต้น extocytosis เป็นการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่ออกจากเซลล์ เช่นฮอร์โมนที่สังเคราะห์ขึ้นที่ไรโบโซมของเอ็นโดพลาสมิกเรติคิวลั่ม ฮอร์โมนที่สังเคราะห์ขึ้นจะถูกส่งไปที่กอลจิบอดี้เพื่อเก็บรวบรวมไว้เป็นถุงเล็กๆ หรือเวสซิเคิล (vesicle) แล้วปลดปล่อยเวสซิเคิลไปในไซโตพลาสซึม การหลั่งฮอร์โมนเกิดขึ้นโดยเวสซิเคิลเคลื่อนตัวมาที่ผนังเซลล์ แล้วมีการรวมตัวกันระหว่างผนังของเวสซิเคิลและเยื่อหุ้มเซลล์ ทำให้สารหลั่งออกจากเซลล์ได้ ส่วนการลำเลียงสารเข้าในเซลล์ซึ่งเป็นการลำเลียงสารที่มีโมเลกุลใหญ่กว่ารูของเยื่อหุ้มเซลล์เข้าภายในเซลล์โดยการสร้างถุงจากเยื่อหุ้มเซลล์มี 2 แบบคือการฟาโกไซโตซีส(phagocytosis) และการพินโนไซโตซีส (pinocytosis)

ก.ฟาโกไซโตซีส (phagocytosis) เป็นการนำเข้าสารโดยที่เยื่อหุ้มเซลล์มีการยื่นขาเทียม (pseudopodium) ออกมาโอบสารหรืออาหารไว้ จากนั้นจะเปลี่ยนเป็นถุงให้สารอยู่กลางถุง

แล้วทำให้ถุงหลุดเข้าไปในเซลล์ ซึ่งเป็นลักษณะของการกินเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมของเซลล์เม็ดเลือดขาว

ข.พินโนไซโตซีส (pinocytosis) เป็นลักษณะการนำสารโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ในรูปของสารละลายเช่นการนำโปรตีนเข้าเซลล์ การเคลื่อนย้ายสารจะเกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ตรงจุดที่โมเลกุลของสารมาสัมผัส โดยเยื่อเซลล์จะเว้าเป็นแอ่งเข้าไปในเซลล์และโอบล้อมโมเลกุลที่มาสัมผัสเยื่อเซลล์ไว้จนทำให้เกิดเป็นถุง จากนั้นถุงที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนตัวจากด้านนอกเซลล์เข้าสู่ภายในเซลล์ ลักษณะการลำเลียงสารแบบนี้สามารถพบได้ที่หลอดไต

การแบ่งเซลล์ (cell division)

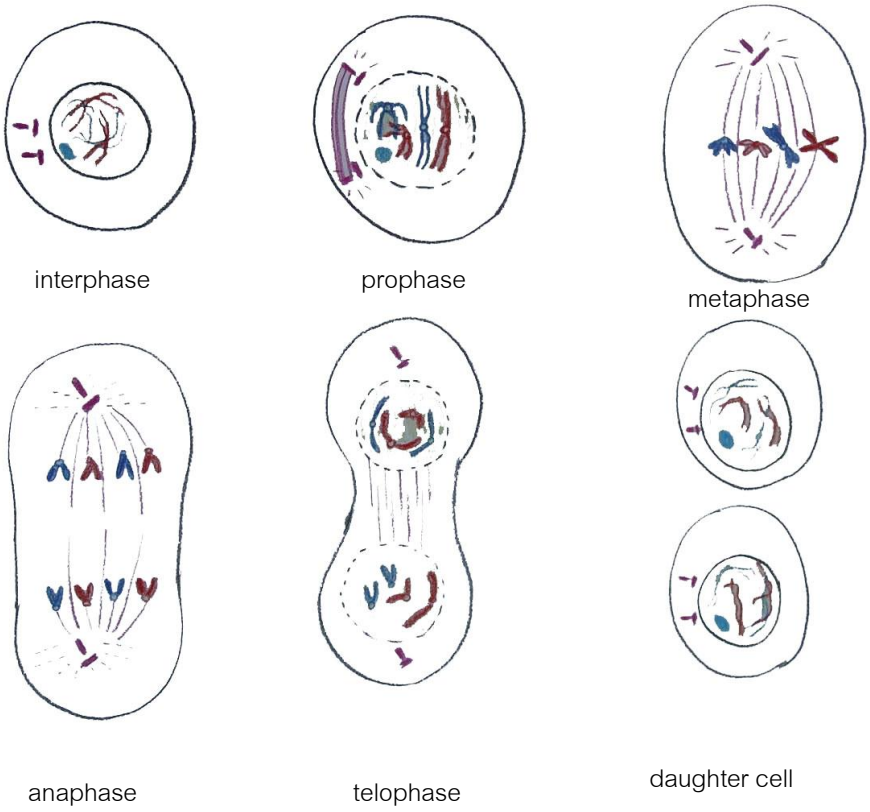
การแบ่งเซลล์เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. การแบ่งเซลล์แบบอะไมโตซีส (amitosis) เป็นการแบ่งเซลล์ของสัตว์เซลล์เดียว เช่น แบคทีเรีย และโปรโตซัว ลักษณะการแบ่งเซลล์เป็นการแบ่งโดยตรงที่เริ่มจากการแบ่งนิวเคลียส จากนั้นจึงแบ่งไซโตพลาสซึม โดยเซลล์มีการคอดออกเป็นสองส่วนจนแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาด

2. การแบ่งเซลล์แบบไมโตซีส (mitosis) เป็นการแบ่งเซลล์ของเซลล์ร่างกายในสัตว์เลี้ยงทุกชนิด เซลล์ที่เกิดขึ้นจะมีพันธุกรรมเหมือนเซลล์แม่ มี 2 ขั้นตอนคือ การแบ่งนิวเคลียส (karyokinesis) และการแบ่งไซโตพลาสซึม(cytokinesis)การแบ่งเซลล์แบบไมโตซีสแบ่งออกเป็น 5 ระยะ คือ

ระยะอินเตอร์เฟส (interphase) เป็นระยะที่เซลล์อยู่ในระหว่างเจริญเต็มที่หรือเรียกว่าระยะพัก(resting state) เซลล์จะเริ่มมีการจัดตัวของเส้นโครมาติน(chromatin filament)จากเม็ดโครมาตินที่กระจายอยู่ในนิวเคลียส ขณะนี้ที่เซนตริโอลของเซลล์จะเริ่มเห็นว่ามีการแบ่งออกเป็น 2 เซนทริโอล

ระยะโปรเฟส (prophase) เป็นระยะที่เยื่อหุ้มนิวเคลียสเริ่มจาง เซนตริโอลแต่ละอันเริ่มเจริญเติบโตและทำหน้าที่ได้(active) เซนตริโอลจะแยกออกจากกันเป็น 2 เซนตริโอลไปอยู่แต่ละด้านของเซลล์ เริ่มมีเอสเตอร์ (aster) ที่จะเปลี่ยนเป็นสปรินเดิลไฟเบอร์ (sprindle fiber) ปรากฏให้เห็นเพื่อทำหน้าที่ในการยึดโยงเซนตริโอล โครมาตินที่เป็นเส้นจะหดตัวเล็กลงกลายเป็นโครโมโซม ทำให้เห็นโครโมโซมชัดขึ้น โดยโครโมโซมจะจัดตัวกันเป็นคู่ จากนั้นจะแบ่งตัวตามยาวได้เป็น 2 โครมาติด (chromatid) ระยะนี้นิวคลีโอลัส (nucleolus) จะเริ่มจางหายไปจากเซลล์



ภาพที่ 2.4 การแบ่งเซลล์แบบไมโตซีส

ระยะเมตาเฟส (metaphase) โครโมโซมจะมาจัดตัวเรียงกันอยู่บริเวณแนวกึ่งกลางเซลล์ แต่ละโครมาติดจะมีรอยคอดแห่งหนึ่งและมีปมตรงกลางเรียกว่าเซนโตรโซม (centrosome หรือ kinotoshore)ปมที่เกิดขึ้นนี้คือจุดที่เส้นสปรินเดิลไฟเบอร์มายึดโยงโครมาติดแต่ละอันไว้ด้วยกัน และเซนตริโอลแต่ละอันจะอยู่ที่ขั้วเซลล์แต่ละข้าง จากนั้นสปรินเดิลไฟเบอร์จะหดตัวมีผลให้เซนโตรโซมของโครโมโซมที่เรียงตัวกันอยู่ตรงกลางเซลล์ แยกออกจากกันโดยโครมาติดแต่ละข้างเริ่มแยกออกจากกันได้เล็กน้อย ระยะนี้เยื่อหุ้มนิวเคลียสจะสลายอย่างสมบูรณ์

ระยะอะนาเฟส (anaphase) ระยะนี้โครมาติดเริ่มแยกตัวออกห่างจากกัน โดยสปรินเดิลไฟเบอร์ที่ยึดโยงโครมาติดแต่ละข้างของโครโมโซมจะหดตัวสั้นลง ดึงให้โครมาติดแต่ละอันแยกออกไปเข้าใกล้ขั้วเซลล์ในแต่ละข้าง ผนังเยื่อหุ้มเซลล์เริ่มคอดตัวตรงแนวกลางเซลล์ ขณะนี้โครมาติดแต่ละกลุ่มมาเรียงกันอยู่ที่แต่ละข้างของขั้วเซลล์

ระยะเทโลเฟส (telophase) โครโมโซมลูกที่รวมกันอยู่ที่ขั้วเซลล์จะจับกันเป็นเส้น เยื่อหุ้มเซลล์คอดตัวในแนวกลางเซลล์มากขึ้น และเริ่มปรากฏเยื่อหุ้มนิวเคลียสใหม่ สปรินเดิลไฟเบอร์เริ่มหายไปจากเซลล์ โครโมโซมที่เป็นเส้นจะสลายตัวกลายเป็นเม็ด (chromatin granule) กระจายไป

ทั่วนิวเคลียส เริ่มปรากฏนิวคลิโอลัสของแต่ละเซลล์ที่นิวเคลียสของเซลล์ที่จะเจริญไปเป็นเซลล์ลูก แล้วเยื่อหุ้มเซลล์จะคอดตัวมากขึ้นจนกระทั่งแบ่งแยกให้เซลล์แต่ละเซลล์แยกออกจากกันเด็ดขาด

3.การแบ่งเซลล์แบบไมโอซีส (meiosis) หรือการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์ เป็นการแบ่งเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้คือเซลล์อสุจิ (sperm) และเซลล์สืบพันธุ์เพศเมียหรือเซลล์ไข่ (ovum) การแบ่งเซลล์แบบนี้นิวเคลียสจะถูกแบ่งออก 2 ครั้ง ครั้งแรกจะเป็นการแบ่งนิวเคลียสเพื่อลดจำนวนโครโมโซมลงให้เหลือครึ่งหนึ่งจากเดิม (haploid chromosome, n) การแบ่งเซลล์หรือการแบ่งนิวเคลียสครั้งที่สองจะเป็นการแบ่งเซลล์ที่คล้ายกับการแบ่งเซลล์ร่างกาย ผลการแบ่งเซลล์จะได้เซลล์ใหม่ทั้งหมด 4 เซลล์ การแบ่งเซลล์แบบไมโอซีสแบ่งได้เป็นการแบ่งเซลล์ครั้งที่ 1 และการแบ่งเซลล์ครั้งที่ 2

การแบ่งเซลล์ครั้งที่ 1 (first meiosis division) มี 4 ระยะดังนี้

ระยะโปรเฟส 1 (prophase I) สามารถแบ่งแยกออกเป็น 5 ระยะย่อยๆด้วยกันคือ ระยะเลพโตทีน (leptotene) ระยะไซโกทีน (zygotene) ระยะเพคคีทีน (pachytene) ระยะดิพโพทีน (diplotene) และระยะไดอะคิเนซีส (diakinesis)

ระยะเลพโตทีน โครโมโซมจะเริ่มปรากฏให้เห็นเป็นเส้นยาวๆขดไปขดมาในนิวเคลียส

ระยะไซโคทีน เป็นระยะที่โครโมโซมที่มีรูปร่างเหมือนกันหรือเป็นคู่กัน(homologus chromosome) จะมาจับกันเป็นคู่ตามความยาวของโครโมโซมประกอบด้วย 4 โครมาติด

ระยะเพคไคทีน โครโมโซมที่เป็นคู่กันจะหดตัวหนาขึ้นเป็นเส้นสั้นๆ

ระยะดิพโพทีน โครโมโซมแต่ละอันจะแยกตัวออกเป็น 2 โครมาติด ในแต่ละคู่ที่มาจับคู่กันจะมีโครมาติด 4 เส้น แต่ละโครมาติดที่แยกจากกันจะมีการไขว้กันของโครมาติดเรียกว่าเกิดการไคเอสมาต้า (chiasmata) และมีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาติด (crossing over)

ระยะไดอะคิเนซีส โครโมโซมจะหดตัวสั้นมากที่สุดและเริ่มแยกกันจุดไขว้มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ส่วนปลายของโครโมโซม และนิวคลีโอลัสและเยื่อหุ้มนิวเคลียสจะเริ่มจางหายไป

ระยะเมตาเฟส 1 (metaphase I) โครโมโซมมาเรียงตัวกันที่แนวกึ่งกลางเซลล์ เซนตริโอลจะแยกไปที่แต่ละข้างของขั้วเซลล์ และมีสปรินเดิลไฟเบอร์ยึดโยงระหว่างแต่ละโครมาติด

ระยะอะนาเฟส1(anaphase I)โครมาติดจะแยกตัวออกเป็น 2 คู่และแต่ละคู่จะแยกตัวออกไปที่แต่ละขั้วของเซลล์

ระยะเทโลเฟส 1 (telophase I) เกิดเยื่อหุ้มนิวเคลียสล้อมโครโมโซมใหม่ที่อยู่ที่ขั้วเซลล์ ไซโตพลาสซึมจะคอดตัวเพื่อแบ่งเซลล์ออกเป็น 2 เซลล์ ระยะนี้โครโมโซมจะมีเพียงครึ่งหนึ่งเท่านั้น (haploid chromosome)

การแบ่งเซลล์ครั้งที่ 2 ไม่มีการจำลองของโครโมโซม จำนวนโครโมโซมมีเพียงชุดเดียวมี 4 ระยะ เป็นการแบ่งเซลล์แบบคล้ายกับการแบ่งเซลล์แบบไมโตซีส เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์จาก 2 เป็น 4 เซลล์

เนื้อเยื่อพื้นฐานของร่างกาย (body tissue)

เนื้อเยื่อพื้นฐานที่ประกอบเป็นอวัยวะส่วนใหญ่ในร่างกายของสัตว์เลี้ยง สามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทคือ เนื้อเยื่อบุผิว (epithelial tissue) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (muscular tissue) เนื้อเยื่อประสาท (nervous tissue)และเนื้อเยื่อที่เป็นของเหลวในร่างกาย (tissue fluid) เป็นต้น โดยทั่วไปอวัยวะต่างๆในร่างกายสัตว์เลี้ยงจะประกอบด้วยเนื้อเยื่อพื้นฐานชนิดต่างๆมารวมกันในสัดส่วนต่างๆ กระเพาะอาหารเป็นอวัยวะที่ประกอบด้วยเนื้อเยื่อบุผิววางตัวอยู่ทั้งบริเวณภายในตลอดช่องว่างของกระเพาะอาหาร และบริเวณด้านนอกของกระเพาะอาหาร โดยมีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทำหน้าที่เป็นตัวประสานเนื้อเยื่อต่างๆ มีเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อคือกล้ามเนื้อเรียบเป็นชั้นที่อยู่ถัดออกไปจากชั้นเยื่อบุผิว และมีเนื้อเยื่อประสาทโดยเฉพาะแขนงของเนื้อเยื่อประสาทจากไขสันหลังหรือประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) และเนื้อเยื่อประสาทอัตโนมัติส่วนซิมพาทิติส (sympathetic nerve) มาทำหน้าที่ควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบของกระเพาะอาหารและการหลั่งของของเหลวจากเยื่อบุกระเพาะอาหาร นอกจากนี้มีเนื้อเยื่อที่เป็นของเหลวในรูปของเลือดมาหล่อเลี้ยงเนื้อเยื่อต่างๆโดยมากับเส้นเลือด เพื่อทำหน้าที่นำสารอาหารมาหล่อเลี้ยงกระเพาะและดูดซึมโภชนะที่ย่อยแล้วไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกาย

เนื้อเยื่อบุผิว (epithelial tissue **หรือ** epithelium)

เนื้อเยื่อบุผิวส่วนใหญ่เป็นเนื้อเยื่อที่เจริญมาจากเซลล์ชั้นนอก (ectoderm) และเซลล์ชั้นใน (endoderm) ส่วนของ ectoderm จะพัฒนาเป็นชั้นหนังกำพร้า(epidermis) ของผิวหนัง ส่วน endoderm พัฒนาเป็นเนื้อเยื่อบุผิวระบบทางเดินอาหาร เนื้อเยื่อบุผิวส่วนที่พัฒนามาจากชั้น mesoderm จะพัฒนาเป็นเยื่อบุผิวของหลอดเลือด (endothelium) เนื้อเยื่อบุผิวเป็นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายๆกันมาเรียงตัวกันเป็นชั้นเดี่ยว หรือเรียงตัวกันมากกว่า 1 ชั้น กลุ่มเซลล์จะวางตัวติดอยู่บน basement membrane เซลล์แต่ละเซลล์ของเยื่อบุผิวจะถูกยึดให้ติดกันด้วย intercelluar substance ส่วนต่างๆของร่างกายที่มีเนื้อเยื่อบุผิวเป็นองค์ประกอบได้แก่ ผิวหนังชั้นหนังกำพร้า (epidermis) เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่อยู่ด้านนอกสุดของร่างกายเกี่ยวข้องกับการปกคลุมร่างกายเพื่อป้องกันอันตรายจากภายนอก เนื้อเยื่อบุผิวที่บุอยู่ภายในท่อต่างๆเช่นท่อทางเดินอาหาร ท่อปัสสาวะ ท่อในระบบสืบพันธุ์ หรือบุภายในเส้นเลือด และเส้นน้ำเหลืองเป็นต้น ผิวด้านบนของเนื้อเยื่อบุผิวที่บุตามท่อและช่องว่างในร่างกายเช่นช่องอก ช่องท้อง และเส้นเลือด

มักจะมีผิวด้านบนที่เรียบ แต่ส่วนของผิวด้านบนของเยื่อบุผนังลำไส้เล็กที่เป็นเซลล์แบบรูปสี่เหลี่ยมทรงสูง (simple columnar cells) จะมีส่วนยื่นเรียกว่าไมโควิลไล (microville) ที่เป็นโครงสร้างที่มีประโยชน์ต่อการดูดซึมโภชนะที่ย่อยแล้วเป็นต้น เซลล์ของเยื่อบุผิวสามารถแบ่งออกตามรูปร่างได้ 3 กลุ่ม คือ เซลล์ที่มีรูปร่างแบน มีนิวเคลียสอยู่ตรงกลางเซลล์ ทำให้เซลล์ดูโป่งออกเรียกว่า สแควสมัสเซลล์ (squamous cell) , เซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายรูปสี่เหลี่ยมลูกบากศ์ (cuboidal cell) แต่บางแห่งอาจเปลี่ยนเป็นรูปพิรามิดได้ เนื่องจากมีฐานของเซลล์ที่กว้างขึ้น และเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายรูปทรงกระบอก (columnar cell) มีส่วนสูงมากกว่าส่วนกว้าง เนื้อเยื่อบุผิวมีหน้าที่ต่างๆ กัน คือ

1.ป้องกันหรือปกป้องร่างกาย (boundary and protection) เช่นเนื้อเยื่อบุผิวที่ชั้นหนังกำพร้าของผิวหนัง จะประกอบด้วยเซลล์ที่เรียงซ้อนกัน 3-5 ชั้น

2.ทำหน้าที่หลั่งของเหลว(secretion) เช่นเหงื่อ และ น้ำลาย โดยเซลล์เยื่อบุผิวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมชนิดต่างๆ เช่นโกลบเล็ดเซลล์ (globlet cells) ต่อมน้ำลาย และต่อมเหงื่อ

3.มีหน้าที่ดูดซึมสาร(absorption) เช่นเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็ก ทำหน้าที่ในการดูดซึมโภชนะที่ย่อยแล้วจากลำไส้เข้าสู่ระบบเลือดเพื่อส่งไปที่ตับ

4.เกี่ยวกับการหล่อลื่น โดยการสร้างเยื่อเมือก เซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมเดี่ยวประเภทโกลบเล็ดเซลล์ที่เยื่อบุของช่องหลอดลม และเยื่อบุผิวของลำไส้ใหญ่

5.ช่วยในการกำจัดของเสียออกจากร่างกาย (excretion) เช่น เซลล์เยื่อบุผิวที่ท่อไตและโกลเมอร์ลูไลของไต (glomeruli) ทำหน้าที่ในการกำจัดของเหลวที่เป็นของเสียออกจากเซลล์

6.หน้าที่รับความรู้สึก(sensation)เช่นเซลล์เยื่อบุผิวที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นตุ่มรับรสชาดที่ลิ้น (taste bud) เป็นต้น

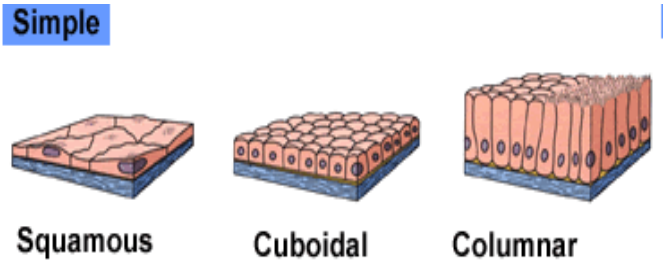
7.หน้าที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์(reproduction) เช่นเซลล์เยื่อบุผิวของท่อสร้างเซลล์อสุจิ (seminiferus tubule) ในลูกอัณฑะ ที่จะพัฒนาเปลี่ยนไปเป็นเซลล์อสุจิหรือสเปอร์ม (sperm)เซลล์เยื่อบุผิวจะมีการสร้างเซลล์ขึ้นมาเพื่อทดแทนเซลล์ที่ตาย หรือหลุดลอกออกไปตลอดเวลา โดยจะมีอัตราการสร้างเซลล์ที่คงที่และมีการแบ่งเซลล์แบบไมโตซีส เซลล์เยื่อบุผิวที่มีการสร้างซ่อมแซมตลอดเวลาได้แก่เซลล์เยื่อบุผิวของผิวหนัง (epidermis) เซลล์เยื่อบุผิวที่วางตัวอยู่ตามช่องว่างในระบบทางเดินอาหารที่เยื่อบุผิวของกระเพาะอาหารและลำไส้

การแบ่งประเภทเนื้อเยื่อบุผิว

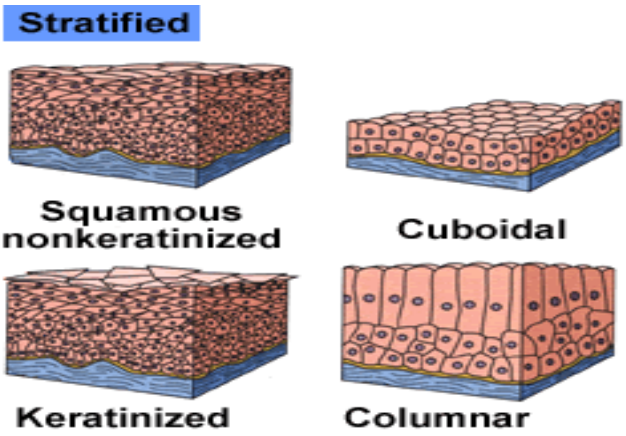
ประเภทของเนื้อเยื่อบุผิว สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการเรียงตัวของชั้นเซลล์ หรือแบ่งออกตามรูปร่างของเซลล์ หรือแบ่งออกตามหน้าที่ของเซลล์ คือ

1. การแบ่งเนื้อเยื่อบุผิวตามการเรียงตัวของชั้นเซลล์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

ก. simple epithelium หมายถึงเนื้อเยื่อบุผิวที่เกิดจากการเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนกันมาเรียงตัวกันเป็นชั้นเดียวอยู่บน basement membrane



ภาพที่ 2.5 เนื้อเยื่อบุผิวชนิด simple epithelium

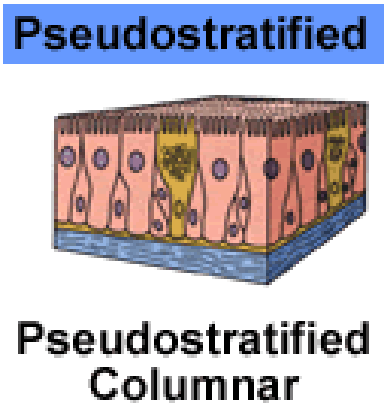


ภาพที่ 2.6 เนื้อเยื่อบุผิวชนิด stratified epithelium

ข. stratified epithelium หมายถึงเนื้อเยื่อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนๆกันมาเรียงตัวกันมากกว่า 1 ชั้นโดยชั้นล่างสุดจะวางตัวบน basement membrane

ค.pseudostratified epithelium หมายถึงเนื้อเยื่อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีรูปร่างเหมือนกันมาเรียงตัวกันเป็นชั้นเดียว แต่ดูคล้ายกับว่ามีการเรียงตัวหลายชั้น เซลล์แต่ละเซลล์จะอยู่บน basement membrane แต่ขนาดของเซลล์จะต่างแต่กัน เซลล์ที่มองเห็นว่าอยู่ด้านล่างจะ

เป็นเซลล์ที่มีรูปร่างสั้นๆ แต่เซลล์ที่มองเห็นว่าอยู่ด้านบนจะมีส่วนฐานเซลล์ที่เรียวเล็กเพราะถูกเซลล์ที่มีรูปร่างสั้นๆเบียดตัวให้สูงขึ้น เนื้อเยื่อบุผิวประเภทนี้ผิวด้านบนจะมีลักษณะเป็นขน (cilia) และมีเซลล์ที่สร้างเมือกหรือเซลล์เยื่อบุที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมเดี่ยว พวกโกลบเหล็ดเซลล์แทรกตัวอยู่



ภาพที่ 2.7 เนื้อเยื่อบุผิวชนิด pseudostratified epithelium

2. การแบ่งเนื้อเยื่อบุผิวตามรูปร่างของเซลล์ที่มาประกอบ โดยทั่วไปการเรียกเนื้อเยื่อบุผิวตามรูปร่างของเซลล์ที่มาประกอบ จะยึดหลักโดยดูจากจำนวนชั้นเซลล์ที่ประกอบและรูปร่างของเซลล์ที่อยู่ชั้นบนสุด ถ้าเนื้อเยื่อบุผิวนั้นมีชั้นเซลล์มากกว่า 1 ชั้น จะใช้ชั้นเซลล์ที่อยู่ด้านบนสุดเป็นหลักในการแบ่งประเภท เช่น

ก. simple squamous epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่มีลักษณะบางๆ เกิดจากเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายเกล็ด (squamous) มีนิวเคลียสบางมายึดติดกันเป็นแผ่นอยู่บน basememt membrane โดยมากจะพบเนื้อเยื่อบุผิวนี้ตามชั้น serous membrane ที่บุตามช่องว่างของร่างกาย เช่นช่องท้อง ช่องอก เส้นเลือดดำเส้นเลือดแดง เส้นน้ำเหลือง และเยื่อบุที่โบว์แมนแคบซูล (Bowman's capsule) ของไต เป็นต้น มีหน้าที่เกี่ยวกับการดูดซึมและการกรองสารต่างๆ

ข. simple cuboidal epithelium เป็นเยื่อบุผิวที่เกิดจากเซลล์รูปร่างลูกบาศก์มายึดติดกันเป็นชั้นเดียวบน basement membrane พบตามท่อของต่อมต่างๆ และท่อไต มีหน้าที่เกี่ยวกับการหลั่งน้ำเมือก น้ำย่อย เหงื่อ และ สารอื่นๆ นอกจากนี้ยังมีหน้าที่ในการดูดซึมน้ำและสารอื่นๆได้

ค. simple columnar epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่เกิดจากเซลล์รูปร่างแท่ง (columnar)มีนิวเคลียสรูปไข่อยู่ที่ฐานของเซลล์ เซลล์จะเรียงตัวกันเป็นชั้นเดียวบน basement

membrane ด้านบนของเซลล์จะมีขน(cilia)หรือไมโครวิลไล (microvilli) และบางเซลล์จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมเดี่ยวเช่นโกลบเหล็ดเซลล์ เพื่อขับน้ำเมือกช่วยในการหล่อลื่น เนื้อเยื่อนี้จะพบตามท่อนำไข่ กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ต่อมของท่อทางเดินอาหาร และเยื่อบุผิวของถุงน้ำดี เป็นต้น เซลล์ในเนื้อเยื่อบุผิวประเภท simple columnar epithelium ที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถที่จะทำหน้าที่พิเศษได้หลายอย่างเช่น

globlet cells เป็นเซลล์รูปแท่งที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมที่มีเซลล์เดียว ทำหน้าที่สร้างสารเมือก (mucin) เป็นเซลล์ที่พบแทรกอยู่ตามเยื่อบุทางเดินอาหาร และทางเดินหายใจ โดยทั่วไปจะพบแทรกตัวระหว่างเซลล์ที่มีขน (ciliated cell)

pyramidal cells เป็นเซลล์รูปแท่งที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นเซลล์รูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมที่มีส่วนยอดแคบกว่าส่วนฐาน พบได้ตามต่อม(acini) ของตับอ่อนและต่อมน้ำลาย

neuroepithelium เป็นเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงไปเพื่อรับความรู้สึกชนิดพิเศษ มีรูปร่างคล้ายกับกระสวย (spindle shape) พบได้ที่ต่อมรับรสชาติ (taste bud) ที่บริเวณลิ้น

cilated squamous epithelium cells เป็นเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปโดยผิวด้านบนของเซลล์จะเปลี่ยนเป็นขนเล็กๆ เช่นเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวของท่อนำไข่ หลอดอาหาร ช่องจมูก ท่อไตส่วนต้น และท่อพักเซลล์อสุจิ เป็นต้น

4.stratified squamous epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่เกิดจากเซลล์รูปร่างเกล็ดมาเรียงตัวซ้อนกันมากกว่า 1 ชั้น แต่ละชั้นเซลล์อาจมีรูปร่างต่างกัน แต่เซลล์ชั้นบนสุดจะเห็นมีรูปร่างแบนแต่ตรงกลางเซลล์ป่องออก เซลล์แต่ละชั้นเกิดจากเซลล์ชั้นล่างสุด มี 2 ชนิดคือเซลล์ชั้นบนสุดเป็นเซลล์ที่ตายแล้วไม่มีนิวเคลียสแต่มีสารเคอราตินอยู่พบที่ผิวหนังกำพร้า(keatinized dry type) เนื้อเยื่อบุผิวชนิดนี้จะพบตามส่วนของร่างกายที่สัมผัสกับอากาศบ่อยๆ หรือส่วนที่มีการเสียดสี ทำให้เซลล์ชั้นบนสุดมีการตาย และหลุดลอกได้ (keratinization)type) ในขณะที่เซลล์เยื่อบุชั้นบนยังมีชีวิตอยู่ (nonkeratinized moist type)พบได้ที่เยื่อบุช่องคลอดและหลอดอาหาร เป็นต้น

5.stratified cuboidal epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่เกิดจากเซลล์ที่มีรูปร่างลูกบากศ์มาเรียงซ้อนกันมากกว่า 1 ชั้นเซลล์ชั้นบนสุดมีรูปคล้ายลูกบากศ์ พบตามผนังท่อของต่อมเหงื่อ และต่อมน้ำมัน

6. stratified columnar epithelium เป็นเนื้อเยื่อที่เกิดจากเซลล์รูปแท่งมาเรียงซ้อนกันมากกว่า 1 ชั้น เซลล์ชั้นบนสุดมีรูปร่างเป็นรูปแท่ง เซลล์ชั้นล่างสุดติดกับ basememt membrane จะมีรูปร่างคล้ายรูปลูกบากศ์ และผิวบนของเซลล์ชั้นบนสุดจะมีขน (cilia) เป็นบางเซลล์ บริเวณผิวด้านบนจะชุ่มชื้นตลอดเวลา เช่นบริเวณกล่องเสียง (larynx) และเพดานอ่อน (soft palate) มีหน้าที่ในการหลั่งของเหลวและขับไล่สารต่างๆออกไปจากผิวของเซลล์

7. pseudostratified columnar epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์รูปร่างแท่งมาเรียงตัวกันเป็นชั้นเดียว แต่ดูเหมือนว่ามีหลายชั้น ผิวบนของเยื่อบุผิวจะมีขนทุกเซลล์ พบในท่อทางเดินหายใจส่วนเยื่อบุช่องจมูก ท่อทางเดินระบบสืบพันธุ์เพศผู้ และในช่องหู มีหน้าที่กำจัดสิ่งแปลกปลอมและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของสารต่างๆบนผิวเซลล์

8. transitional epithelium เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่ประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุที่เรียงซ้อนกันหลายชั้น เซลล์เยื่อบุชั้นบนจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ เป็นเนื้อเยื่อบุผิวที่พบในท่อทางเดินปัสสาวะ กระเพาะปัสสาวะ โดยปกติในกระเพาะปัสสาวะขณะที่ไม่มีปัสสาวะอยู่เซลล์ชั้นบนจะมีรูปร่างกลม เมื่อมีน้ำปัสสาวะอยู่กระเพาะปัสสาวะจะยืดตัว เซลล์ชั้นบนสุดจะเปลี่ยนรูปร่างเป็นเซลล์แบน

เนื้อเยื่อบุผิวเมื่อรวมตัวกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน จะเกิดเป็นเนื้อเยื่อบางๆ เรียกว่าเมมเบรน (membrane) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อที่พบปกคลุมร่างกาย หรือบุตามช่องว่างต่างๆ สามารถแบ่งออกเป็น ชั้นเยื่อเมือก (mucous membrane) ชั้นเซอโรซ่า (serosa หรือ serous membrane) หรือชั้นเยื่อเมือกที่บุตามข้อต่อต่างๆ (synovial membrane) และชั้นคิวทาเนียส (cutaneous membrane) ส่วนของชั้นเยื่อเมือก ชั้นเซโรซ่าและชั้นเยื่อเมือกของข้อต่อต่างๆ จัดเป็นชั้นเยื่อเมือกที่ชุ่มชื้นตลอดเวลา (moist membrane) แต่ cutanous membrane อาจเรียกว่า ดรายเมมเบรน (dry membrane)

ชั้นเยื่อเมือก (mucous membrane หรือ mucosa) เป็นเยื่อที่พบมากที่สุดในร่างกาย ปกติจะพบอยู่ตามผนังภายในท่อทางเดินอาหาร ท่อทางเดินหายใจ ท่อในระบบสืบพันธุ์ และท่อในระบบขับถ่าย โดยท่อต่างๆจะมีทางเปิดออกสู่ภายนอกร่างกาย ชั้นเยื่อเมือกจะประกอบด้วยชั้นต่างๆ 3 ชั้นคือ ชั้นเยื่อบุผิว (epithelium) ชั้นลามิน่าโพรเพรีย (laminar propria) และชั้นกล้ามเนื้อเรียบบางๆ (muscularis mucosa) ชั้นเยื่อเมือกมีหน้าที่หลั่งของเหลว เช่นน้ำย่อยและน้ำเมือกที่จะช่วยเคลือบผิวเยื่อบุทางเดินอาหาร เกี่ยวข้องกับการดูดซึมโภชนะ น้ำและการหลั่งอิเลคโตรไลท์ต่างๆ

ก.epithelium เป็นชั้นเยื่อบุผิวที่เกิดจากเซลล์เยื่อบุที่มีรูปร่างต่างๆกันมาเรียงตัวกันบน basement membrane ขึ้นกับว่าเป็นเนื้อเยื่อบุผิวในส่วนใดของร่างกาย

ข.laminar propria เป็นชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่อยู่กันอย่างหลวมๆ (loose connective tissue) เป็นที่อยู่ของเส้นเลือด เส้นประสาทและเส้นน้ำเหลือง ทำหน้าที่ค้ำจุนเนื้อเยื่อบุผิว โดยด้านล่างจะยึดติดกับชั้นกล้ามเนื้อเรียบ

ค.muscularis mucosa เป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบบางๆ เรียงตัวกันเป็น 2 ชั้น

ชั้นเยื่อเมือกในร่างกายแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. gastropulmonary mucous membrane เป็นชั้นเยื่อเมือกที่พบตามผนังภายในท่อทางเดินอาหาร ท่อทางเดินหายใจ และช่องว่างที่ติดต่อถึงทางเดินต่างๆดังกล่าว เช่นเยื่อเมือกจากริมฝีปาก จมูก ลำคอ ท่อทางเดินอาหาร หลอดลม ถุงลมปอด ท่อจากตับอ่อน และ ท่อน้ำดี เป็นต้น

2.genitourinary mucous membrane เป็นชั้นเยื่อเมือกที่พบตามผนังท่อภายในของระบบขับถ่ายปัสสาวะและระบบสืบพันธุ์

ชั้นเซอโรซ่า (serosa หรือ serous membrane) เป็นเนื้อเยื่อที่มีลักษณะบางมาก มีความเหนียวและยืดหยุ่นได้เล็กน้อย ผิวด้านนอกของเซอโรซ่าจะถูกทำให้ชื้นตลอดเวลาด้วยserous fluid ชั้นเซอโรซ่าประกอบด้วยชั้นเซลล์เยื่อบุผิวและชั้นเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เนื้อเยื่อบุผิวเป็นชนิด simple squamous epithelium ตำแหน่งที่พบเยื่อเซอโรซ่าคือเยื่อที่พบบุตามช่องว่างทางด้านล่างของร่างกาย เช่นช่องอก ช่องท้อง และช่องหัวใจ รวมทั้งเยื่อบุที่หุ้มอยู่ภายนอกของอวัยวะภายใน เยื่อบุภายในของอวัยวะในระบบหมุนเวียนของเลือด และเยื่อบุผนังภายในของ serous sac ของลูกตา และเยื่อบุในช่องหู(membranous labrynx)

synovial membrane เป็นเยื่อที่บุตามข้อต่อต่างๆของร่างกาย สามารถสร้าง synovial fluid มาหล่อลื่นได้ ของเหลวที่ได้มาจากน้ำเลือดเนื่องจากบริเวณ synovial membrane มีเส้นเลือด เส้นน้ำเหลือง และเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยง

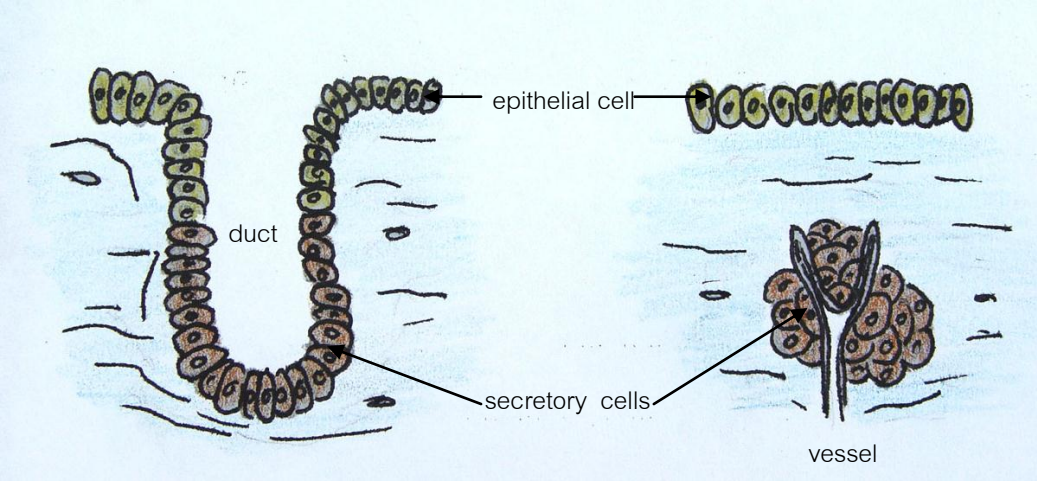
ต่อม (glands)

ต่อมเป็นโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากเซลล์เยื่อบุชนิดลูกบาศก์หรือชนิดแท่ง ที่เปลี่ยนรูปร่างไปเพื่อทำหน้าที่พิเศษคือสร้างและหลั่งสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเช่นเอ็นไซม์และฮอร์โมน ต่อมที่เกิดขึ้นอาจเป็นลักษณะต่อมเดี่ยวเกิดจากเซลล์เดียว หรือเป็นต่อมที่เกิดจากเซลล์หลายๆเซลล์มารวมกันเป็นกลุ่มเพื่อทำหน้าที่ร่วมกัน เช่นทำหน้าที่ในการขับถ่ายของเสีย หรือหลั่งของเหลวที่เป็นประโยชน์แก่ร่างกาย โดยขับออกตามท่อต่างๆ ต่อมที่สำคัญได้แก่ ต่อมเหงื่อ, ต่อมน้ำลายและต่อมสร้างน้ำย่อยเป็นต้น

การแบ่งประเภทของต่อมในร่างกายอาจแบ่งโดยอาศัยหลักการต่างๆ เช่นการแบ่งตามลักษณะการปล่อยของสารหรือของเหลวออกมาจากต่อม หรือแบ่งตามจำนวนเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นต่อม หรือแบ่งโดยอาศัยลักษณะของของเหลวที่หลั่งมาจากต่อม และแบ่งออกตามรูปร่างของต่อมที่ปรากฏออกมาให้เห็น เป็นต้น

1.การแบ่งประเภทของต่อมตามลักษณะการปล่อยของเหลวออกจากต่อมแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

ก.ต่อมมีท่อ (exocrine gland) เป็นต่อมที่มีท่อสำหรับนำของเหลวที่ผลิตได้ออกจากเซลล์เพื่อนำสารหรือของเหลวไปใช้ประโยชน์หรือขับออกจากร่างกายโดยตรง เช่น ต่อมน้ำลายและต่อมเหงื่อเป็นต้น



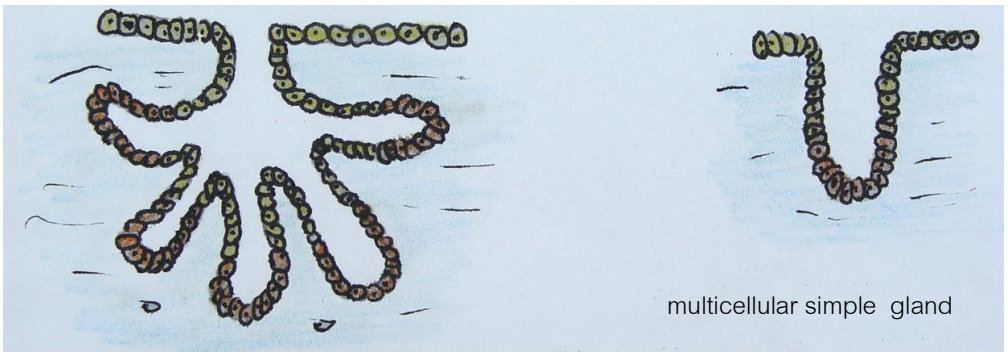
ภาพที่ 2.8 ต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ

ข. ต่อมไม่มีท่อ (endocrine gland) เป็นต่อมที่หลั่งของเหลวออกมาภายนอกโดยให้ของเหลวที่ผลิตออกมาจากต่อมอาศัยกระแสเลือดพาไปตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย เช่น ต่อมไทรอยด์ ต่อมหมวกไต และต่อมใต้สมองเป็นต้น

2. การแบ่งชนิดของต่อมโดยอาศัยจำนวนเซลล์ที่ประกอบขึ้นเป็นต่อมเป็นหลัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก. ต่อมที่ประกอบขึ้นด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว (unicellular glands) เช่น ต่อมโกลบเหล็ด (globlet cell) ที่พบแทรกตัวอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อบุผิวที่มีรูปร่างเป็นแท่งในส่วนเนื้อเยื่อบุผิวบริเวณโพรงจมูก หลอดลม และเยื่อบุผิวที่ลำไส้เล็ก

ข. ต่อมที่ประกอบด้วยเซลล์หลายๆ เซลล์มารวมกลุ่มกัน (multicellular glands) ทำหน้าที่เหมือนอวัยวะหนึ่ง และมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาห่อหุ้มได้แก่ acini ในตับอ่อน , alveoli ในเต้านม, glomeruli ในเนื้อเยื่อของไต เป็นต้น ของเหลวที่ผลิตจากต่อมจะออกมาตามท่อหรือผ่านทางเส้นเลือดเช่นต่อมน้ำลาย ต่อมน้ำนม ต่อมใต้สมอง และต่อมไทรอยด์เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 ต่อมที่ประกอบด้วยเซลล์หลายๆ เซลล์มารวมกลุ่มกัน

3. การแบ่งชนิดของต่อมตามลักษณะของเหลวหรือสารที่หลั่งออกมา แบ่งเป็น 3 ชนิดคือ

ก. ต่อมที่หลั่งของเหลวที่มีลักษณะเป็นเมือกเหนียว (mucous gland) เช่นต่อมน้ำลายใต้ลิ้น (sublingual gland) ต่อมพาลาทีน (palatine gland)และโกลบเหล็ดเซลล์ (globlet cell)

ข. ต่อมที่หลั่งของเหลวที่มีลักษณะใสไม่เหนียว (serous gland) ได้แก่ต่อมน้ำลายข้างกกหู (parotid gland)

ค. ต่อมที่หลั่งของเหลวที่มีลักษณะเป็นเมือกใสและเหนียว เช่นต่อมที่อยู่ตามท่อทางเดินหายใจและต่อมน้ำลายใต้ลิ้นเป็นต้น

4. การแบ่งชนิดของต่อมโดยอาศัยลักษณะรูปร่างของต่อมแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

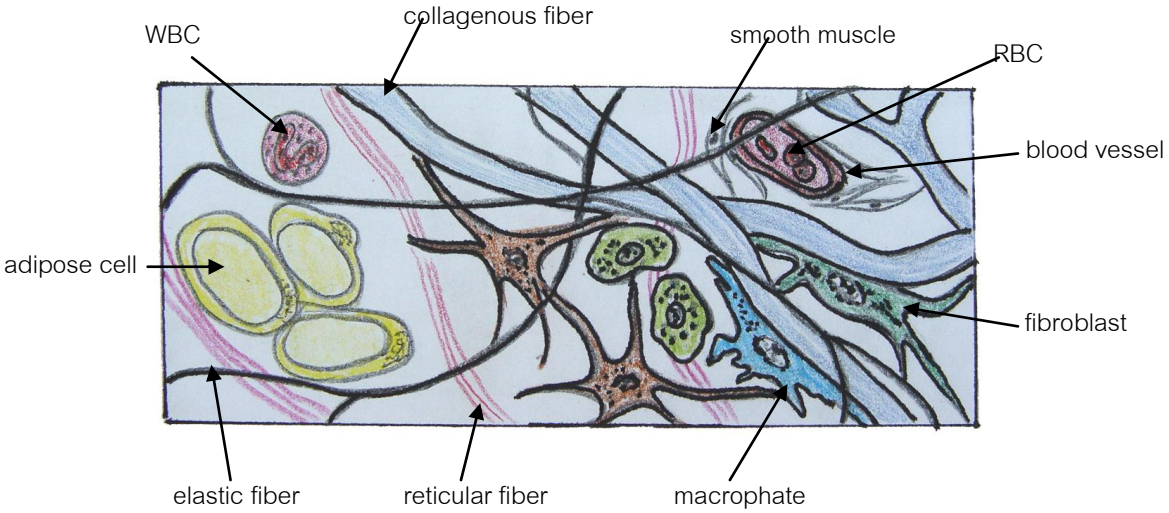
ก. ต่อมที่มีท่อเพียงท่อเดียว (simple gland) ส่วนที่สร้างของเหลวอาจมีลักษณะเป็นท่อหรือเป็นกระเปาะ (acini หรือ alveoli) อันเดียวหรือหลายอันมาเปิดเข้าในท่อ

ข. ต่อมที่มีท่อมากกว่า 1 ท่อ (compound gland) หมายถึงต่อมที่มีท่อแตกแขนงมากกว่า 1 ท่อเป็นลักษณะร่างแห่ มาเปิดเข้าท่อเดียวหรือหลายท่อ

เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissues)

เนื้อเยื่อเกี่ยวพันอาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเนื้อเยื่อประสาน เป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุดในร่างกาย ทำหน้าที่ในการห่อหุ้ม หรือประสานและยึดเหนี่ยวเซลล์หรือเนื้อเยื่อชนิดอื่นเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรง อาจเป็นแหล่งอาหารหรือเป็นทางผ่านของอาหารหรือเป็นส่วนประกอบของอวัยวะต่างๆ รวมทั้งเป็นส่วนประกอบของเส้นเลือด และเส้นประสาท เนื้อเยื่อเกี่ยวพันเป็นเนื้อเยื่อที่พัฒนาเปลี่ยนแปลงมาจากเนื้อเยื่อชั้นกลางของตัวอ่อน (mesoderm) มีส่วนประกอบคือเซลล์และสารที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular substance) เช่น ground substance และ amorphous โดยจำนวนเซลล์จะมีน้อยกว่าสารที่อยู่ระหว่างเซลล์ สารที่อยู่ระหว่างเซลล์เป็นสารประกอบพวกไกลโคโปรตีน คาร์โบไฮเดรทและไขมันละลายตัวอยู่ในน้ำ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจะรวมถึงเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) เนื้อเยื่ออิลาสติด (yellow elastic tissue) คลอลาเจน collagenous หรือ white fiber) กระดูกอ่อน (cartilage) และกระดูก (bone) เป็นต้น เซลล์ที่ประกอบเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันได้แก่ fibroblasts , histiocytes , mast cells ,fat cells ,reticular cells , plasma cells และ pigmented cells เป็นต้น โดยเซลล์ fibroblast ทำหน้าที่สร้างเส้นใยคลอลาเจน (collagen fiber) อิลาสติน (elastic fiber) และเส้นใยที่เป็นร่างแห่ (reticular fiber)

การแบ่งประเภทของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันในร่างกายสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ (special connective tissue) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจริง (connective tissue proper)



ภาพที่ 2.10 เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน

ก. เนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษ ได้แก่ เนื้อเยื่อเลือดและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ทำหน้าที่ค้ำจุนร่างกาย เป็นต้น

1.เนื้อเยื่อเลือด ซึ่งประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆ ทั้งเม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด มีตำแหน่งอยู่ในหลอดเลือดโดยลอยอยู่ในน้ำเลือด (plasma) ลักษณะเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษคือมีสภาพเหลวเป็นพวก(fibrous connective tissues)

2. เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ทำหน้าที่ค้ำจุนร่างกาย ได้แก่กระดูกอ่อนและกระดูก

กระดูกอ่อน (cartilages) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ค่อนข้างแข็งแต่บิดงอได้ ประกอบด้วยเซลล์กระดูกอ่อน (chondrocytes) เซลล์วางตัวในแอ่งเซลล์ที่เรียกว่าลาคูน่า(lacunae) และส่วนที่สังเคราะห์มาจากเซลล์กระดูกอ่อนเรียกว่าเอ็กตร้าเซลลูล่าร์เมทริก (extracellular matrix) ที่ประกอบด้วยคอลลาเจน (collagen) หรืออิลาสติน (elastin) และ กราวซัพสแตนส์ (ground substance) พวก proteoglycan น้ำ และสารโมเลกุลใหญ่หลายชนิด ทำให้กระดูกอ่อนมีความเหนียว ชนิดของกระดูกอ่อนแบ่งตามส่วนประกอบได้ 3 ชนิดคือ hyaline cartilage, fibroelastic cartilage และ elastic cartilage

กระดูก (bone) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษที่มีลักษณะแข็ง โดยมีเซลล์กระดูก (osteocytes) เป็นเซลล์ที่วางตัวอยู่ในแอ่งลาคูน่า (laculae) สารที่อยู่ระหว่างเนื้อกระดูกจะเป็นแร่ธาตุหลายชนิดมีมารวมกันเป็นสารประกอบที่สร้างความแข็งแรงให้กระดูกเช่น Ca_3PO_4 และ $CaCO_3$ เนื้อกระดูกสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ compact bone และ spongy bone หรือ cancellous bone

ข. เนื้อเยื่อเกี่ยวพันจริง (connective tissue proper) หมายถึง เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่พบในอวัยวะหรือโครงสร้างส่วนต่างๆของร่างกาย รวมถึงเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษที่พบได้บางส่วนของร่างกาย เช่น เนื้อเยื่อไขมัน ligmented connective tissue และ reticular connective tissue ที่พบในเนื้อเยื่อน้ำเหลืองเท่านั้น ตำแหน่งจำเพาะ (binding site) ลักษณะของการเกาะของสารกับตัวพาที่เยื่อหุ้มเซลล์มี 3 ลักษณะคือ ลักษณะจำเพาะ ลักษณะแข่งขัน และลักษณะความอิ่มตัวของตัวพาเป็นต้นการนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวพา มีลักษณะเป็นการนำสารเข้าสู่เซลล์ที่มีตัวรับอยู่ที่เยื่อเซลล์ ทำหน้าที่นำสารเข้าเซลล์ โดยสารและตัวนำจะมีความจำเพาะกันอย่างเจาะจงเท่านั้น

บทที่ 3
ระบบประสาท
(Nervous system)

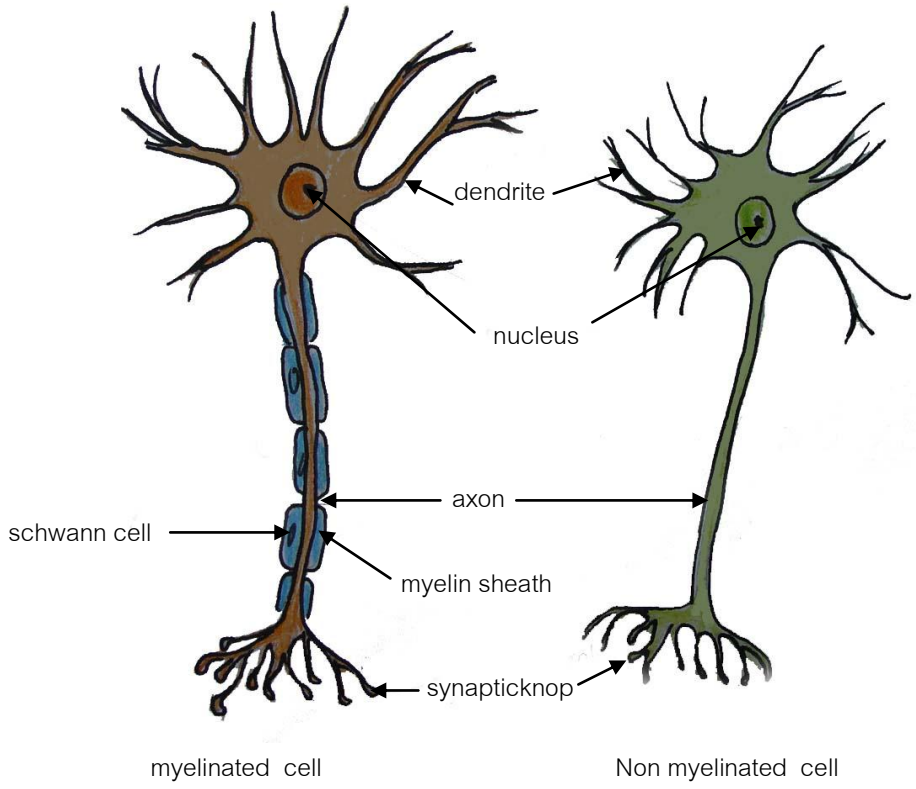
ระบบประสาทเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆที่อยู่ภายในร่างกาย โดยจะทำงานร่วมกับระบบต่อมไร้ท่อ มีผลให้ส่วนต่างๆในร่างกายทำงานได้อย่างปกติ แม้จะมีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าทั้งจากภายในและภายนอกร่างกาย ศูนย์ควบคุมของระบบประสาทได้แก่ สมองส่วนต่างๆ และไขสันหลัง โดยมีเซลล์ประสาทและใยประสาทหรือเส้นประสาทเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการรับความรู้สึก และทำหน้าที่ส่งคำสั่งต่างๆ จากสมองและไขสันหลัง เพื่อควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย ระบบประสาทประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาท(nervous tissue) ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อพื้นฐานที่พบได้ทั่วไปในร่างกายเช่นกัน ทำหน้าที่รับสิ่งกระตุ้นจากภายในและภายนอกร่างกายเพื่อให้ร่างกายมีการตอบสนอง เนื้อเยื่อประสาทประกอบด้วยเซลล์ประสาท(nerve cell หรือ neuron) และเซลล์เกี่ยวพันประสาท(supporting cell)

เซลล์ประสาท (neuron หรือ nerve cell)

เซลล์ประสาทเป็นโครงสร้างที่สำคัญของระบบประสาท ทำหน้าที่รับและส่งกระแสความรู้สึกหรือกระแสประสาท (impulse) ไปตามอวัยวะต่างๆของร่างกาย เซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์ (cell body หรือ nerve cell body) และใยประสาท (cell process หรือ nerve fiber) ตัวเซลล์ประสาทประกอบด้วยนิวเคลียส ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) หรือ นอยโรพลาสซึม (neuroplasm) ที่เป็นส่วนของเหลวในนิวเคลียส และมีออร์แกนเนลล์ต่างๆ เช่น ไมโตคอนเดรีย เอ็นโดพลาสมิกเรคติคิวลั่ม กอลจิบอดี้ และ Nissle's bodies เป็นต้น เซลล์ประสาทมีรูปร่างและขนาดที่แตกต่างกัน เช่นมีรูปวงรี รูปวงกลม หรือเป็นรูปดาว เป็นต้น ใยประสาท คือส่วนของเซลล์ประสาทที่แยกหรือแตกแขนงออกมาจากตัวเซลล์โดยทั่วไปจะเป็นส่วนของไซโตพลาสซึมที่แตกแขนงออกมาจากตัวเซลล์ ใยประสาทสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ เด็นไดรท์ (dendrite) และ เอ๊กซอน (axon)

1.เด็นไดรท์ เป็นส่วนของใยประสาทที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์ เมื่อแตกออกจากตัวเซลล์จะมีการแตกแขนงเป็นกิ่งก้าน คล้ายกับการแตกกิ่งก้านของต้นไม้ เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์อาจมีส่วนของเด็นไดรท์มากกว่า 1 แขนงก็ได้ เด็นไดรท์มักเป็นใยประสาทแขนงสั้นๆ ทำหน้าที่นำกระแสประสาทเข้าสู่ตัวเซลล์ ใกล้ๆกับเด็นไดรท์ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งจะมีส่วนของเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งมาติดอยู่ใกล้ๆเสมอ

2.เอ๊กซอนเป็นส่วนของใยประสาทที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์เช่นเดียวกับเด็นไดรท์ แตกต่างกันที่แต่ละเซลล์ประสาทจะมีเอ๊กซอนเพียงอันเดียวเท่านั้น ทำหน้าที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์ ลักษณะของเอ๊กซอนจะเป็นท่อนหรือเป็นท่อยาวๆ อาจมีการแตกกิ่งแขนงได้บ้าง เอ๊กซอนที่มีขนาดยาวๆมักถูกหุ้มด้วยเยื่อไขมันประเภท sphingomyelin เรียกว่าเยื่อไมอิลิน (myelin sheath) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่ใยประสาท เป็นอาหารให้แก่เซลล์ประสาทที่ยาวๆ และเป็นฉนวนไฟฟ้า มีผลทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกและภายในเอ๊กซอนซึ่งเกี่ยวข้องในการนำกระแสประสาท ลักษณะของเยื่อไมอิลินชีสที่หุ้มเอ๊กซอนจะหุ้มอยู่มีลักษณะเป็นปล้องๆ ทำให้เกิดรอยต่อของเยื่อไมอิลิน เรียกว่า Node of ranvier การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทบนเอ๊กซอนที่มีเยื่อไมอิลินหุ้มจะมีลักษณะกระโดดเป็นช่วงๆ ระหว่าง Node of ranvier ที่ต่อกันอยู่ ทำให้การนำกระแสไฟฟ้าบนเอ๊กซอนที่มีเยื่อไมอิลินหุ้มเกิดขึ้นได้รวดเร็วกว่าเอ๊กซอนที่ไม่มีเยื่อไมอิลิน สามารถแบ่งเอ๊กซอนออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะโครงสร้างของเยื่อหุ้ม คือ ใยประสาทที่มีเยื่อหุ้ม (myelinated nerve fiber) และใยประสาทที่ไม่มีเยื่อหุ้ม (nonmyelinated nerve fiber) ในระบบประสาทส่วนกลางเยื่อไมอิลินจะถูกสร้างจากเซลล์ประสาทพวก oligodendroglia ที่ยื่นส่วนของเซลล์ออกมาพันรอบเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทโดยจะไม่มีชั้นนอยริเล็มม่า(neurilema)ปรากฏให้เห็น แต่ในระบบประสาทส่วนปลายเซลล์ประสาทจะมีเยื่อหุ้มเรียกว่านอยริเล็มม่า



ภาพที่ 3.1 ส่วนประกอบของเซลล์ประสาท

(neurilema) ซึ่งสร้างมาจาก Schwann cell เซลล์ประสาทที่ไม่มีเยื่อหุ้มสามารถแบ่งออกตามหน้าที่เป็น 3 ประเภทคือ เอ๊กซอนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve fiber) เอ๊กซอนของเซลล์ประสาทสั่งการ (motor nerve fiber) และ เอ๊กซอนของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ประสาน (associative neuron หรือ associative nerve fiber) ซึ่งเป็นเซลล์ประสาทที่พบในสมองและไขสันหลังเท่านั้น

การแบ่งประเภทของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท เช่นการแบ่งเซลล์ประสาทออกตามโครงสร้าง หรือการแบ่งเซลล์ประสาทตามจำนวนใยประสาทที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ และการแบ่งเซลล์ประสาทตามหน้าที่ของเซลล์ดังนี้

1.การแบ่งประเภทของเซลล์ประสาทตามโครงสร้าง หรือแบ่งตามจำนวนใยประสาทที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์ แบ่งเซลล์ประสาทออกได้เป็น 3 ประเภทได้แก่ เซลล์ประสาทขั้วเดียว เซลล์ประสาทสองขั้ว และเซลล์ประสาทหลายขั้ว เป็นต้น (ดังแสดงในภาพที่ 3. 2)

ก.เซลล์ประสาทขั้วเดียว (unipolar neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่มีใยประสาทยื่นออกจากตัวเซลล์เพียงด้านเดียว จากนั้นจะแยกออกเป็น 2 ใยประสาท คือส่วนของเด็นไดรท์และเอ๊กซอน ส่วนใหญ่เซลล์ประสาทชนิดนี้จะมีเอ๊กซอนยาวกว่าเด็นไดรท์ และปลายสุดของเด็นไดรท์จะเปลี่ยนรูปร่างเป็นส่วนที่รับความรู้สึก (receptor) เพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกจากสิ่งเร้าต่างๆ เซลล์ประสาทชนิดนี้มักพบที่ปมประสาทรับความรู้สึกที่ไขสันหลัง (dorsal root ganglion) ซึ่งเป็นเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซลล์ประสาทประเภทนี้พบได้น้อย ส่วนใหญ่พบในส่วนของตัวอ่อน

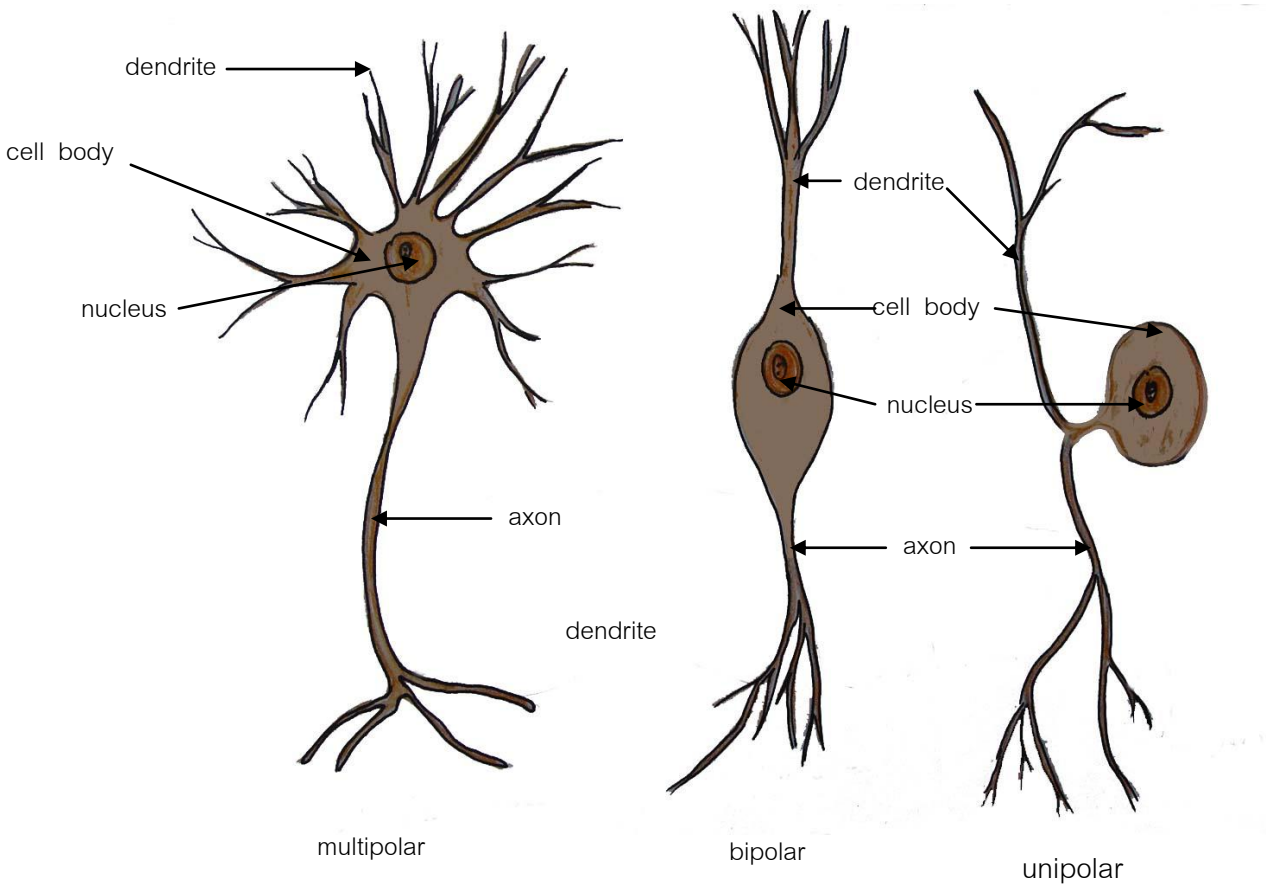
ข.เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่มีใยประสาทยื่นออกมาจากตัวประสาท 2 อันและอยู่ตรงกันข้าม คือเอ๊กซอน และเด็นไดรท์ ทั้งสองส่วนจะมีความยาวที่ใกล้เคียงกัน เป็นเซลล์ประสาทที่พบที่เรตินา(retina) ของตา เซลล์ประสาทของตุ่มรับรส (taste buds)ของลิ้น และเซลล์ประสาทที่เยื่อบุผิวของช่องจมูก (olfactory epithelium)เป็นต้น

ค.เซลล์ประสาทหลายขั้ว (multipolar neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่มีใยประสาทยื่นออกจากตัวเซลล์จำนวนมากในหลายทิศทาง แต่มีเอ๊กซอนเพียง 1 อันเท่านั้น จะเป็นกลุ่มเซลล์ประสาทที่พบมากที่สุดในร่างกาย เช่นเซลล์ประสาทสั่งการ(motor neuron)ในส่วนสมองและไขสันหลัง และเซลล์ประสาทที่คั่นกลางหรือเชื่อมระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึก และเซลล์ประสาทสั่งการ(interneuron) เซลล์ประสาทหลายขั้วสามารถแบ่งแยกออกตามลักษณะรูปร่างของเซลล์ เช่น เซลล์ประสาทหลายขั้วที่มีรูปร่างคล้ายดาว (satellite cell) พบในสมองและไขสันหลัง ตัวเซลล์ประสาทจะอยู่ในสมองหรือไขสันหลัง ส่วนเอ๊กซอนจะยื่นออกไปเป็นเส้นประสาทสมอง (cranial

nerve) และเส้นประสาทไขสันหลัง(spinal nerve) สำหรับเซลล์ประสาทที่มีรูปร่างคล้ายรูปปิรามิด (pyramidal cell) จะพบที่เนื้อสมองส่วนนอกของสมองส่วนหน้า (cerebral cortex) ส่วนเซลล์ประสาทหลายขั้วที่มีรูปร่างคล้ายกระถางต้นไม้ (purkinge cell) จะพบที่เนื้อสมองส่วนนอกของสมองส่วนหลัง (cerebellum) ส่วนใหญ่เซลล์ประสาทที่พบในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเป็นเซลล์ประสาทชนิดสองขั้ว และเซลล์ประสาทชนิดหลายขั้ว

2.การแบ่งประเภทของเซลล์ประสาทตามหน้าที่ของเซลล์สามารถแบ่งออกได้ 4 ชนิดคือ

ก.เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron หรือ afferent neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่รับความรู้สึกตามส่วนต่างๆของร่างกายเช่น ส่วนผิวหนัง เซลล์ประสาทชนิดนี้จะทำหน้าที่รับความรู้สึกและนำกระแสประสาทรับความรู้สึกส่งไปยังระบบประสาทคือสมองหรือไขสันหลัง เซลล์ประสาทรับความรู้สึกมีส่วนปลายของเด็นไดรท์เป็นตัวรับความรู้สึก (receptor) ตัวเซลล์ประสาทจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มนอกส่วนของสมองและไขสันหลังเรียกว่า sensory ganglion ปลายของเอ๊กซอนจะอยู่ที่สมองหรือไขสันหลัง เซลล์ประสาทรับความรู้สึกส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว เช่นเซลล์ประสาทรับความรู้สึกร้อนและเย็น สำหรับเซลล์ประสาทรับความรู้สึกแบบสองขั้วพบที่ตา และ จมูก เป็นต้น



ภาพที่ 3.2 ประเภทของเซลล์ประสาทแบ่งตามโครงสร้าง

ข.เซลล์ประสาทนำคำสั่งหรือเซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron หรือ efferent neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่มีตัวเซลล์อยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง เป็นเซลล์ประสาทมีเอ๊กซอนยาว ทำหน้าที่นำกระแสประสาท หรือนำคำสั่งออกจากสมองหรือไขสันหลังไปสั่งการที่อวัยวะต่างๆ เซลล์ประสาทสั่งการสามารถแบ่งออกตามหน้าที่เฉพาะของเซลล์ประสาทแต่ละชนิดเป็น เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) ที่เอ๊กซอนนำกระแสประสาทไปสั่งการที่กล้ามเนื้อลายเพื่อให้เกิดการหดตัว ส่วนเซลล์ประสาทสั่งการที่ส่วนของเอ๊กซอนนำคำสั่งไปส่งที่ต่อมไร้ท่อและต่อมมีท่อต่างๆในร่างกายเพื่อให้ผลิตและหลั่งของเหลวเรียกว่า secretory neuron ส่วน accelerator neuron เป็นเซลล์ประสาทสั่งการที่ส่วนของเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทไปสิ้นสุดที่อวัยวะภายในและหัวใจ ทำให้มีการทำงานมากขึ้นหรือเกิดการหดตัว และเซลล์ประสาทสั่งการที่นำคำสั่งไปที่อวัยวะภายในและหัวใจทำให้ทำงานช้าลงเรียกว่า inhibitory neuron เป็นต้น

ค.เซลล์ประสาทประสานงาน (association neuron) ส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปส่งให้เซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง เป็นเซลล์ประสาทที่พบมากในสมองและไขสันหลังเท่านั้น

ง.เซลล์ประสาทพี่เลี้ยงหรือเซลล์เกี่ยวพันประสาท(supporting neuron) เป็นเซลล์ประสาทที่พบมากในระบบประสาทส่วนกลาง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของระบบประสาท ช่วยค้ำจุนและให้อาหารแก่เซลล์ประสาท รวมทั้งเป็นทางผ่านของอาหาร และอิเล็คโตรไลท์ นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับสร้างเนื้อประสาททดแทนส่วนที่ถูกทำลาย สามารถทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอม รวมทั้งเป็นผนังแยกจุดประสาน (synapses) เซลล์ประสาทที่เป็นเซลล์พี่เลี้ยงไม่มีหน้าที่เกี่ยวกับการนำกระแสประสาท เซลล์ประสาทพี่เลี้ยงที่พบในสมองและไขสันหลังเรียกว่า neuroglia ประกอบด้วยเซลล์ประสาทชนิดต่างๆคือ

- ependymal cell เป็นเซลล์เยื่อบุผิวที่พบตามผนังช่องว่างในสมอง (ventricle) และช่องว่างในไขสันหลัง (central canal) เป็นเซลล์เยื่อบุผิวชนิด simple ciliated cuboidal epithelium ทำหน้าที่ในการสร้างน้ำไขสันหลัง (cerebrospinal fluid,CSF)

-astrocyte เป็นเซลล์(neuroglia)ที่มีรูปร่างคล้ายดาว มีขนาดใหญ่ พบมากที่สุดในระบบประสาทส่วนกลาง เป็นเซลล์ที่มีส่วนยื่นบางส่วนไปสัมผัสกับเส้นเลือด ทำหน้าที่เกี่ยวกับ blood brain barrior ที่ล้อมรอบเส้นเลือดฝอยในสมองและในไขสันหลัง เพื่อนำอาหารให้เซลล์ประสาท

- oligodendrocyte (oligodendroglia) เป็นเซลล์ประสาทที่มีขนาดเล็กลงมามีนิวเคลียสใหญ่ และมีส่วนยื่นน้อยกว่า astrocyte พบในสมองและไขสันหลัง เป็นเซลล์ที่พบมากที่สุดส่วนยื่นบางส่วนจะยื่นตรงไปที่เซลล์ประสาทเพื่อห่อหุ้มเซลล์ และทำหน้าที่คล้ายกับ schwann cell สร้างเยื่อไมอิลินหรือปลอกห่อหุ้มเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทที่อยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง

- microglia เป็นเซลล์ประสาทที่มีขนาดเล็กที่สุดสามารถเคลื่อนที่ได้ มีรูปร่างไม่แน่นอน ทำหน้าที่กินสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในเนื้อเยื่อประสาท โดยจะทำลายเชื้อจุลินทรีย์และเศษของเซลล์ที่ตายแล้ว เนื่องจากมีคุณสมบัติพิเศษ (phagocytic properties)

เซลล์ประสาทพี่เลี้ยงที่พบในระบบประสาทส่วนปลายประกอบด้วย Schwann cell, satellite cell และ fibroblast เป็นต้น Schwann cell เป็นเซลล์ที่หุ้มล้อมรอบส่วนเอ๊กซอนทำหน้าที่สร้างเยื่อไมอิลิน และ นอยริเลม่าชีส (neurilema sheath) ที่เป็นส่วนประกอบของใยประสาท ในเอ๊กซอนที่มีปลอกหุ้ม Schwann cell หนึ่งเซลล์จะสร้างปลอกหุ้มเอ๊กซอนได้ 1 ช่วงเท่านั้น(internode) เซลล์ประสาทรูปดาว(satellite cell) เป็นเซลล์ที่พบเรียงตัวอยู่รอบๆเซลล์ประสาทใน ปมประสาท(ganglion cell) และ fibroblast จะพบกระจายตัวในเนื้อเยื่อระบบประสาทส่วนปลาย ทำหน้าที่สร้างเนื้อเยื่อประสาททดแทนเนื้อเยื่อประสาทที่ถูกทำลาย

ปมประสาท (ganglion หรือ ganglia)

หมายถึงบริเวณที่ตัวเซลล์ประสาทมารวมกันเป็นกลุ่มอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลางมี 2 ชนิด คือ sensory ganglion เป็นปมประสาทของเส้นประสาทสมอง และ เส้นประสาทไขสันหลัง เช่น dorsal root ganglion ส่วน motor ganglion หรือ autonomic ganglion เช่น vertebral ganglion ของอวัยวะภายใน ปมประสาทเป็นส่วนของเนื้อเยื่อประสาทที่ทำงานกับระบบประสาทอัตโนมัติ ทำหน้าที่เป็นเซลล์ และรีเฟล็กส์เซ็นเตอร์ (reflex center) ของระบบประสาทอัตโนมัติ รวมทั้งเป็นกลุ่มเซลล์ประสาทสำหรับประสาทรับความรู้สึกในระบบประสาทส่วนกลาง

นิวเคลียส (nucleus)

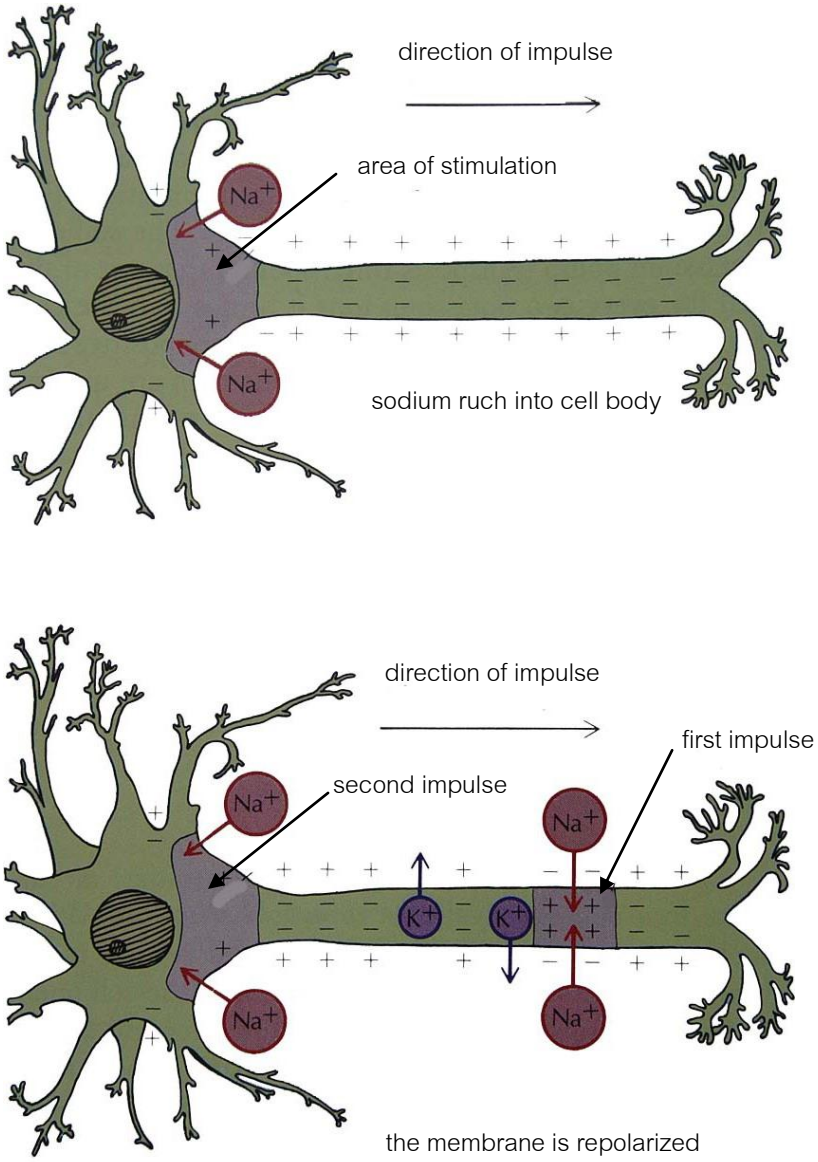
หมายถึงกลุ่มของเซลล์ประสาทที่รวมตัวกันอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง พบได้ทั้ง sensory nucleus เช่น gracilus nucleus และ motor nucleus เช่น hypoglossal nucleus หากกลุ่มของนิวเคลียสของเซลล์ประสาทมารวมกัน เพื่อทำหน้าที่พิเศษโดยเฉพาะจะเรียกว่า ศูนย์ (center) เช่น cardio inhibitory center

nerve tract หมายถึง กลุ่มของใยประสาทที่อยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง ส่วนเนื้อสีขาวทำหน้าที่นำกระแสประสาทขึ้นและลงเพื่อติดต่อระหว่าง upper และ lower nerve tracts

การทำงานของเซลล์ประสาท

ลักษณะการทำงานของเซลล์ประสาทแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเซลล์ประสาท เป็นการเคลื่อนที่โดยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (electrochemical reaction) มีขั้นตอนคือ ในขณะที่เซลล์ประสาทอยู่ในระยะพัก (resting stage หรือ polarized stage) ภายนอกเซลล์ประสาทจะมี Na^+,Cl^- อยู่มาก แต่จะมี K^+ อยู่น้อย โดย K^+ จะอยู่ในไซโตพลาสซึมของเซลล์ประสาท เนื่องจากคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์เมมเบรนที่มีคุณสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (semipermeable membrane) จึงทำให้ K^+ สามารถซึมผ่านเข้าภายในเซลล์ได้ดีกว่า Na^+ ในขณะที่ Cl^- สามารถเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์ได้อย่างอิสระและภายในเซลล์ประสาทมีประจุลบมากกว่าประจุบวก เนื่องจากมีสารประกอบที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีประจุลบเช่น โปรตีนและกรดนิวคลีอิก จากการวัดค่าความต่างศักย์พบว่าภายนอกเซลล์จะมีประจุบวกมากกว่าภายในเซลล์ (ประมาณ -60 มิลลิโวลต์) เรียกว่าภาวะมีขั้ว (polarized) เมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้นไม่ว่าจะเกิดจากไฟฟ้าหรือสารเคมี ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติชั่วคราว ทำให้ Na^+ สามารถแพร่เข้าไปในเซลล์ได้ พร้อมกับหยุดการส่งกลับของ Na^+ ออกจากเซลล์ ทำให้ผิวภายในเซลล์ประสาทตรงที่มี Na^+ ผ่านเข้าออกเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าเป็นประจุบวกและผิวภายนอกที่สูญเสีย Na^+ ไปเปลี่ยนเป็นประจุลบเรียกว่าการเกิด depolarization ระยะนี้ความต่างศักย์ไฟฟ้าของเยื่อหุ้มเซลล์จะเปลี่ยนแปลงจาก -60 มิลลิโวลต์ เป็น 0 มิลลิโวลต์ และเป็น +60 มิลลิโวลต์ตามปริมาณของ Na^+ ที่แพร่เข้าไปในเซลล์ ระยะ depolarized เป็นระยะที่มีกระแสประสาทเกิดขึ้น โดยกระแสประสาทที่เกิดขึ้น คือสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีไฟฟ้านั่นเอง (electrochemical change) เมื่อเกิด depolarized ถึงขั้นสูงสุดแล้วเยื่อหุ้มเซลล์จะไม่ยอมให้ Na^+ เข้าไปในเซลล์อีกต่อไป ในทางกลับกันจะยอมให้ K^+ แพร่ออกจากเซลล์อย่างรวดเร็วจนปริมาณ Na^+ ที่เข้ามาเท่ากับ K^+ ที่ออกไป การเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้าที่ผิวเซลล์นี้ใช้เวลาเพียงเศษเสี้ยววินาทีเท่านั้น เหตุการณ์ตั้งแต่ Na^+ หลุดเข้าในเซลล์เป็นจุดเริ่มต้นของการเกิด depolarization ต่อจากนั้นจะเกิดขบวนการนำ Na^+ ออกนอกเซลล์ และการนำ K^+ เข้าภายในเซลล์ โดยขบวนการ sodium-potassium pump ซึ่งขบวนการนี้ต้องใช้พลังงาน (active transport) โดยการใช้ ATP ร่วมด้วยในการขับ Na^+ ออกจากเซลล์และดึง K^+ เข้าเซลล์ เรียกว่าการ depolarization เซลล์ในระยะนี้จะมีสภาพเหมือนระยะ polarized stage โดยผิวของเซลล์จะมีประจุบวกมากและภายในมีประจุลบมาก การเปลี่ยนแปลงประจุบวกและประจุลบของเยื่อหุ้มเซลล์และภายในเซลล์จะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร การเปลี่ยนแปลงที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเรียกว่ากระแสประสาทหรือคลื่นประสาท (impulse) ซึ่งจะเคลื่อนผ่านจากเด็นไดรท์ไปที่เอ๊กซอน



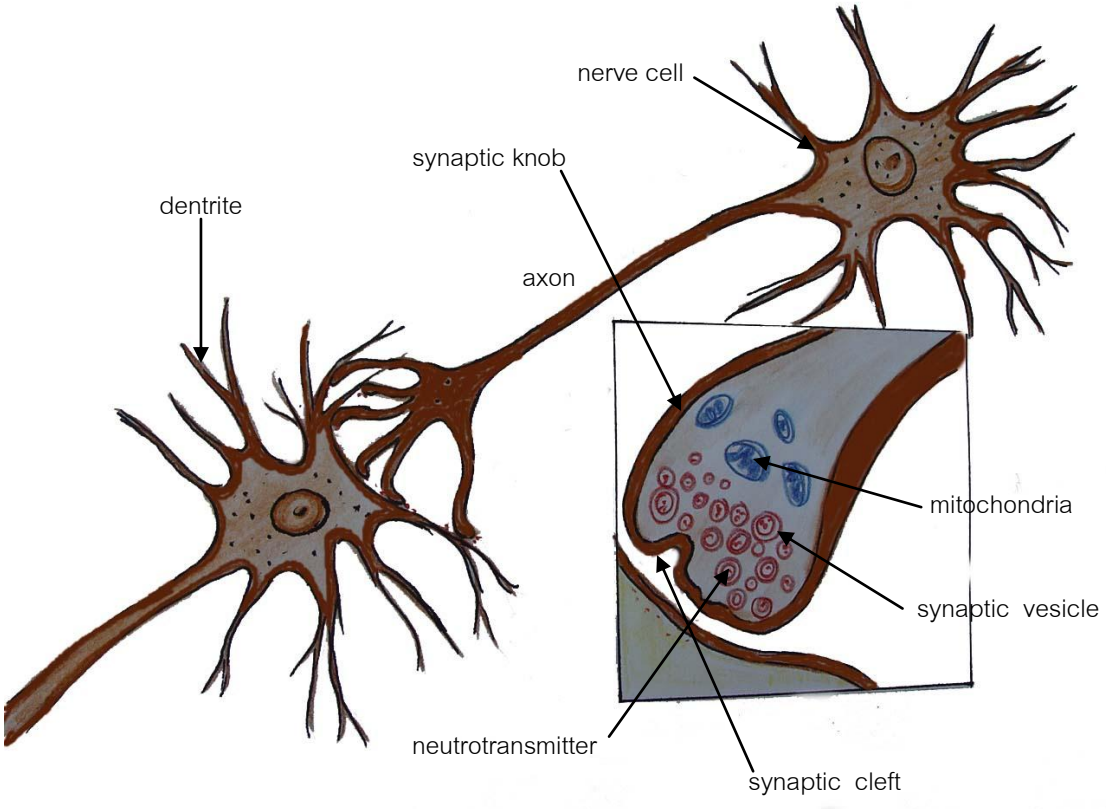
ภาพที่ 3.3 การส่งกระแสประสาทภายในเซลล์

2.การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง

เซลล์ประสาทเป็นเซลล์ที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างไปจากเซลล์อื่นๆในร่างกาย เนื่องจากมีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าและมีความสามารถในการถ่ายนำกระแสไฟฟ้าได้ โดยการถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ด้วยกันเอง หรือระหว่างเซลล์ประสาทกับกล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะที่เป็นหน่วยปฏิบัติการ (effector) โดยการมีจุดประสาน (synapes) ซึ่งเป็นบริเวณที่อยู่ชิดกันมากที่สุดระหว่างเยื่อหุ้มของเซลล์ประสาททั้งสอง ส่วนผิวสัมผัสที่เกิดจากการเกิดจุดประสานเรียกว่า synaptic membrane จุดประสานของเซลล์ประสาทส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นระหว่างปลายเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทตัวที่ 1 ซึ่งมักเป็นส่วนของเอ๊กซอนที่ไม่มีปลอกหุ้ม มาสัมผัสกับปลายเด็น

ไดรน์ของเซลล์ประสาทตัวที่ 2 โดยปลายเอ๊กซอนของเซลล์ประสาทตัวที่ 1 ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทจะพองออกเป็น synaptic knob ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มาสัมผัสกับปลายเด็นไดรน์ของเซลล์ประสาทตัวที่ 2 ภายในปลายประสาทที่พองออก(synaptic knob) จะมีถุงบรรจุของเหลว (synaptic vessicles) ซึ่งเป็นสารเคมีเรียกว่าสารสื่อประสาท (neurotransmitter) เช่น acetylcholine , noradrenalin, serotonin, epinephrin และ dopamin เป็นต้น เมื่อกระแสประสาทผ่านมาถึงปลายของเอ๊กซอนที่โป่งออก ถุงบรรจุของเหลว (synaptic vessicle) จะรวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทแล้วปล่อยสารสื่อประสาทที่เป็นของเหลวออกมา สารนี้จะทำหน้าที่ไปกระตุ้นปลายเด็นไดรน์ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง เพื่อให้กระแสประสาทผ่านจุดประสานไปสู่ปลายเด็นไดรน์ของเซลล์อีกเซลล์หนึ่งได้ เนื่องจากที่ปลายเด็นไดรน์ไม่มีการผลิตสารสื่อประสาท จึงทำให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวเท่านั้น

การถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านจุดประสานจากเซลล์หนึ่งไปอีกเซลล์หนึ่ง อาจเป็นการถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านในรูปของสารเคมีหรือในรูปกระแสไฟฟ้าก็ได้ การถ่ายทอดกระแสประสาทในรูปของสารเคมีเรียกว่า chemical synapse ส่วนการถ่ายทอดกระแสประสาทในรูปกระแสไฟฟ้าเรียกว่า electrical synapse



ภาพที่ 3.4 การส่งกระแสประสาทระหว่างเซลล์

การแบ่งประเภทของระบบประสาท

ในสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งระบบประสาทออกตามกายวิภาคและหน้าที่ออกเป็น 2 ชนิดคือ ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system, CNS)ประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง และ ระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral nervous system, PNS) ประกอบด้วยเส้นประสาทสมอง เส้นประสาทไขสันหลัง ปมประสาทและปลายประสาทเป็นต้น

1. ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) ประกอบด้วยสมอง (brain) และไขสันหลัง (spinal cord) ในระบบประสาทส่วนกลางสมองส่วนหน้า (cerebrum) จะเป็นส่วนควบคุมและสั่งการผ่านสมองหรือไขสันหลัง เพื่อให้เกิดการตอบสนองของกล้ามเนื้อลาย ทำให้เกิดการแสดงพฤติกรรมต่างๆ

สมอง ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมลักษณะของสมองจะมีรูปร่างคล้ายๆกัน อาจแตกต่างกันไปบ้างตามลักษณะของกะโหลกศีรษะที่บรรจุสมองอยู่ สมองบรรจุอยู่ในส่วนหน้าของกะโหลกศีรษะ (cranium)ประกอบด้วยสมองส่วนต่างๆกัน คือสมองส่วนหน้า(cerebrum), สมองส่วนหลัง (cerebellum) และ ก้านสมอง (brain stem) ส่วนของเนื้อสมองและไขสันหลังจะปกคลุมด้วยเยื่อบางๆ (membrane) ด้านนอกของเยื่อบางๆที่คลุมเนื้อสมองจะมีของเหลวหล่อเลี้ยงอยู่เรียกว่าน้ำในสมองหรือน้ำในช่องสมอง (cerebrospinal fluid ,CSF) ของเหลวนี้จะเชื่อมระหว่างของเหลวในสมองและไขสันหลังได้ ช่องว่างที่มี CSF อยู่เรียกว่า subarachnoid space ส่วนของเยื่อหุ้มสมองเรียกว่า meninges เป็นเยื่อที่มีความเหนียว ทำหน้าที่ในการรักษารูปทรงและป้องกันอันตรายให้เนื้อสมองและไขสันหลังที่มีลักษณะอ่อนนิ่ม เยื่อหุ้มสมองแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ dura matter, arachnoid matter และ pia matter ส่วนของ dura matter จะเป็นชั้นของเยื่อหุ้มที่อยู่ด้านนอกสุด arachnoid matter เป็นชั้นกลางมีลักษณะคล้ายใยแมงมุงด้านบนติดกับ dura matter ด้านล่างติดกับ pia matter ระหว่าง arachnoid matter และ pia matter จะมีช่องว่างเรียกว่า subarachnoid space มีของเหลวบรรจุ(CSF) อยู่ ของเหลวดังกล่าวถูกสร้างจากเซลล์เยื่อบุของช่องว่างในสมอง pia matter เป็นชั้นที่อยู่ใกล้กับเนื้อสมองและไขสันหลังมากที่สุด ถ้าตัดสมองหรือไขสันหลังตามแนวดิ่ง (cross section) จะพบว่าสมองและไขสันหลังจะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นเนื้อสีเทา(gray matter) และส่วนที่เป็นเนื้อสีขาว (white matter) ในไขสันหลังส่วนที่เป็นเนื้อสีเทา (gray matter) มีรูปร่างคล้ายกับผีเสื้ออยู่ด้านในและมีรูตรงกลาง เรียกว่า central canal ส่วนเนื้อสีเทา ประกอบด้วยเซลล์ประสาททั้งตัวเซลล์และใยประสาทบางส่วน(nonmyelinated neuron) ส่วนเนื้อสีขาวจะประกอบด้วยใยประสาทและ nerve tract ชนิดต่างๆ เนื้อสมองส่วนสีเทาจะเป็นเนื้อสมองส่วนนอก สมองมีหน้าที่สำคัญคือ

1.ควบคุมการทำงานของอวัยวะต่างๆในร่างกาย โดยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะส่งกระแสประสาทมาที่สมอง แล้วสมองจะส่งกระแสประสาทสั่งการผ่านเซลล์ประสาทไปยังอวัยวะต่างๆให้ทำงานตอบสนองตามหน้าที่ต่อไป

2.เป็นที่รวมของความรู้สึกต่างๆ เช่นความเจ็บปวด การได้กลิ่น การได้เห็นและการได้ยินเสียงเป็นต้น

3.เป็นศูนย์ควบคุมการแสดงออกของพฤติกรรมต่างๆของร่างกาย

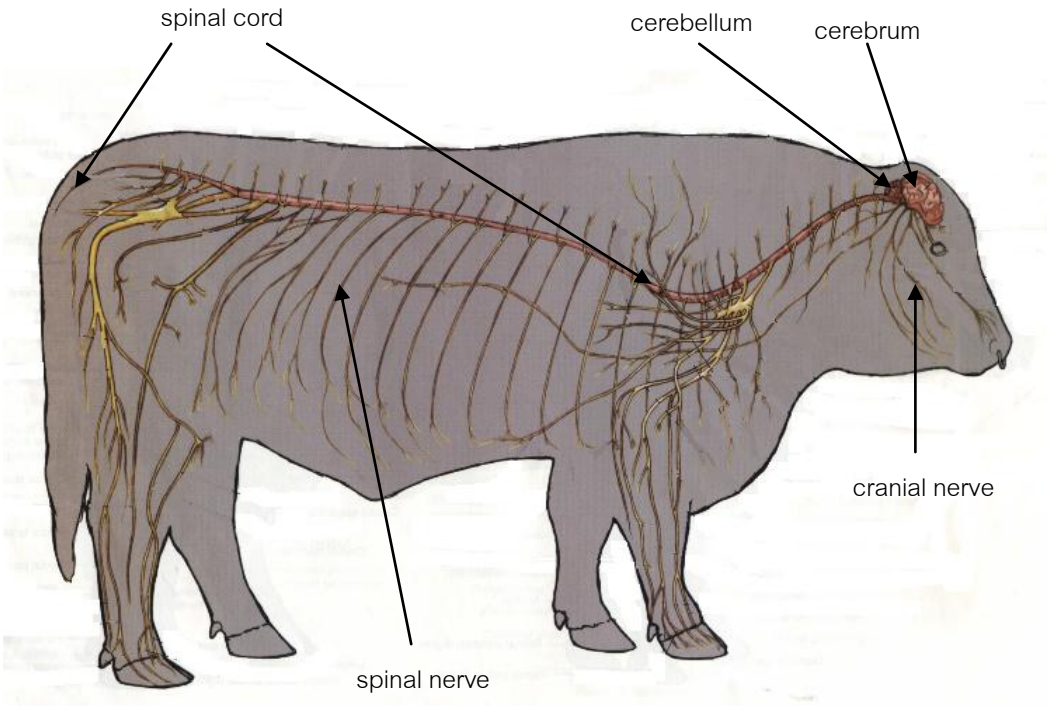
4.เป็นแหล่งรวมของความจำ ความรู้ ความคิด และความเข้าใจ

5.เป็นที่ตั้งของอารมณ์ และจิตใจ เช่นความรู้สึก ความต้องการ และความกลัว เป็นต้น

สมองส่วนหน้า (Cerebrum)

สมองส่วนหน้ามีขนาดใหญ่กว่าส่วนอื่น พัฒนามาจากส่วนสมอง telencephalon ของตัวอ่อน มีหน้าที่เกี่ยวกับการออกคำสั่ง และการตีความ หรือการแปลความหมาย โดยทั่วไปเกี่ยวข้องกับการควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อลายที่เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ ควบคุมการหายใจ เป็นศูนย์กลางควบคุมการกินอาหาร และศูนย์กลางของการรับความรู้สึกและความคิดความจำต่างๆ ลักษณะของเนื้อสมองส่วนนอกที่มีเนื้อสีเทาจะมีลักษณะผิวเป็นร่องๆ ทำให้ดูผิวสมองเป็นรอยหยักหรือเป็นริ้ว มีทั้งร่องตื้น(sulcus) สลับกันไปกับร่องลึก (fissure) จำนวนของร่องตื้น (sulcus) จะมีส่วนสำคัญเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของร่างกาย ถ้าผิวสมองมีร่องตื้นมากแสดงว่าสมองมีพื้นที่ผิวมากสมองจะมีการทำงานที่ซับซ้อนได้ดี ในส่วนของร่องตื้น (sulcus) จะมีเซลล์ประสาท (neuron)มากมาย ทำหน้าที่เป็นทั้งเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทสั่งการ โดยประสาทรับความรู้สึกที่อยู่ในส่วนนี้จะเป็นประสาทรับความรู้สึกจำเพาะในการทำงานแต่ละอย่างเช่น การดมกลิ่น การได้ยิน การมองเห็นเป็นต้น นอกจากนี้ยังพบร่องตื้นอีกประเภทหนึ่งเรียกว่า transverse sulcus ที่บริเวณส่วนหน้าของสมองส่วนหน้า (cerebrum) transverse sulcus ทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมความรู้สึกต่างๆของร่างกายโดยมีจุดกำเนิดที่แน่นอน หรือเรียกว่ามีประสาทสั่งการที่แน่นอน เช่นประสาทรับความรู้สึกในการมองเห็นเซลล์ประสาทที่รับความรู้สึกจะอยู่ส่วนหลังของ cerebrum แต่เซลล์ประสาทสั่งการที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นจะอยู่ ส่วนหน้าของ cerebrum โดยมี transverse sulcus เป็นส่วนแบ่งแยกจากกัน ส่วนสมองส่วนหลังที่มีเซลล์ประสาทรับความรู้สึกหรือเป็น sensory area อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า sensory area ของ somatic sensation ส่วนสมองส่วนหน้าที่มีเซลล์ประสาทสั่งการอยู่อาจเรียกว่า motor area ของ somatic sensation

สมองส่วนหน้าอาจแบ่งออกได้เป็นด้านซ้ายและด้านขวา โดยร่องลึกหรือร่องทางยาว เรียกว่า longitudinal fissure แต่ละข้างของสมองส่วนหน้าเรียกว่า cerebral hemisphere ทั้งสมองด้านซ้ายและขวาจะมีลักษณะของร่องตื้นๆ(sulcus)ที่เหมือนกัน เนื้อสมองของสมองส่วนหน้าแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนนอก (cerebral cortex) เป็นเนื้อสมองส่วนสีเทา (gray matter) ประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาท(neuron bodies หรือ nerve cell bodies)อยู่มากมาย เซลล์ประสาทที่พบส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว (multipolar neuron) ชนิดที่มีรูปร่างคล้ายรูปปิรามิด (pyramidal cell) เนื้อสมองส่วนนี้เป็นเนื้อสมองส่วนที่มีมากที่สุด ส่วนในเป็นเนื้อสมองสีขาว (white matter) เป็นส่วนที่มีใยประสาท (nerve fiber) จากตัวประสาทที่อยู่ในเนื้อสมองสีเทา (cortex) เพื่อผ่านไปยังก้านสมองและไขสันหลัง แต่ละ cerebral hemisphere สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลีบโดยร่องลึก ร่องตื้นและเส้นสมมุติ กลีบที่สำคัญของแต่ละ cerebral hemisphere คือ frontal lobe หรือเนื้อสมองส่วนหน้าที่อยู่ด้านหน้าของ cerebral hemisphere ส่วน temporal lobe หรือเนื้อสมองส่วนหน้าที่อยู่ส่วนหลังของเนื้อด้านข้างทั้งสอง parietal lobeคือเนื้อสมองส่วนหน้าที่อยู่ตรงกลางด้านบน และ occipital lobeได้แก่เนื้อสมองที่อยู่ด้านท้าย บางครั้งอาจแบ่งเนื้อสมองออกเป็น 3 ส่วน ส่วนด้านในสุดของเนื้อสมอง เรียกว่าเบซอลแกลงเกลีย (basal ganglia) เป็นบริเวณที่มีกลุ่มเซลล์ที่ควบคุมการเคลื่อนไหว ในสัตว์ปีกส่วนนอกของเนื้อสมองจะไม่ค่อยพัฒนา แต่ส่วนนี้จะพัฒนามากและทำหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายที่อยู่ในอำนาจจิตใจแทน



ภาพที่ 3.5 แสดงระบบประสาทในโค

ที่มา : MaCraken และ คณะ, 1999

สมองส่วนหลัง (Cerebellum)

สมองส่วนหลังมีขนาดเล็กกว่าสมองส่วนหน้า วางตัวอยู่บริเวณท้ายทอยใต้ส่วน occipital lope ของสมองส่วนหน้าแต่ละข้างมีลักษณะเป็นก้อน เป็นที่อยู่ของกลุ่มเซลล์ประสาท (nerve center) สมองส่วนหลังจะมีพื้นที่ครอบคลุมด้านหลังและด้านข้างของก้านสมองและเชื่อมติดกับก้านสมอง โดยกลุ่มของใยประสาทที่เรียกว่า cerebellar peducle ผิวด้านนอกมีร่องสมองแบบตื้น (sulcus) และร่องลึก (fissure)เช่นเดียวกับสมองส่วนหน้า แต่ร่องจะเรียงขนานกันหมดทำให้เห็นเป็นลักษณะเป็นแผ่นหรือกลีบมากมายเรียกว่า folia ส่วนชั้นนอกของสมองส่วนหลังจะมีเซลล์ประสาทรูปร่างคล้ายกระถางต้นไม้ (purkinge cell) หน้าที่ของสมองส่วนหลังเกี่ยวกับการทรงตัว การเคลื่อนไหว การรักษาสมดุลของร่างกายเป็นต้น

ก้านสมอง (brain stem)

ก้านสมองเป็นส่วนที่ต่อจากสมองส่วนหลังแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ diencephalon, midbrain, pons และ medulla oblongata

1.diencephalon เป็นที่ตั้งของสมองส่วนธาลามัส (thalamus) และส่วนไฮโปธาลามัส (hypothalamus) ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของประสาทตาทั้งสองข้าง เป็นศูนย์กลางของประสาทสองชนิดในระบบประสาทอัตโนมัติ เป็นศูนย์กลางของอารมณ์ เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ซึ่งเป็นหน้าที่ส่วนใหญ่ของไฮโปธาลามัส นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องโดยตรงกับการควบคุมการทำงานของระบบต่อมไร้ท่อในร่างกาย

2. midbrain เนื้อสมองมีลักษณะเป็นแท่งสั้นๆ มีสีขาวเชื่อมต่อระหว่างสมองส่วนหน้า (cerebrum) และ pons อาจเรียกว่าเป็นส่วนเชื่อมระหว่างสมองส่วนบนและส่วนล่าง ทำหน้าที่เกี่ยวกับการประสานงานด้านการยืน การนั่ง การนอน การมองเห็น การได้ยินและการสัมผัส เนื่องจากเนื้อสมองด้านในมีทั้งเซลล์ประสาทสั่งการและเซลล์ประสาทรับความรู้สึก

3. pons เป็นส่วนเนื้อสมองที่เชื่อมต่อระหว่าง cerebellar hemisphere ทั้งซีกซ้ายและขวา จึงทำให้เนื้อสมองส่วนหน้า สมองส่วนหลังและ medulla oblongata ติดกัน ตอนล่างของ pons มีกลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับศูนย์ควบคุมการหายใจ และการได้ยินเสียง

4. medulla oblongata เป็นส่วนท้ายของสมองที่ต่อกับไขสันหลังที่บริเวณ foramen magnum เป็นที่อยู่ของกลุ่มเซลล์ประสาท (nerve center) ที่เกี่ยวกับระบบประสาทอัตโนมัติซึ่งควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในต่างๆ(reflex center) เช่น ศูนย์ควบคุมการเต้นของหัวใจ (cardiac center) ศูนย์ควบคุมการไอ (coughing center) ศูนย์ควบคุมการอาเจียน (volmiting

center) เป็นต้น ด้านข้างของก้านสมองจะมี nerve tracts จำนวนมากจากไขสันหลังมารวมกัน นอกจากนี้ยังเป็นที่ตั้งของนิวเคลียสของเซลล์ประสาท (nuclei หรือ nucleus) และยังเป็นที่ตั้งของเส้นประสาทสมอง (cranial nerve) คู่ที่ V,VI,IX,X,XI และ XII โดยเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) จะมารวมกัน ส่วนของเส้นประสาทสั่งการด้านขวาจะควบคุมการทำงานของอวัยวะด้านซ้าย และเส้นประสาทสั่งการด้านซ้ายจะควบคุมการทำงานของอวัยวะด้านขวา

ไขสันหลัง (spinal cord)

ไขสันหลังเป็นส่วนของระบบประสาทส่วนกลาง มีรูปร่างเป็นแท่งยาวทรงกระบอกตรงปลายจะเป็นรูปกรวย ด้านหน้าของไขสันหลังต่อกับ medulla oblongata ไขสันหลังด้านหน้ามีขนาดใหญ่กว่าด้านปลาย โดยเฉพาะส่วนไขสันหลังบริเวณคอจะมีขนาดใหญ่จากนั้นขนาดของไขสันหลังจะค่อยๆเล็กลงไปเรื่อยๆ ตรงปลายที่มีลักษณะรูปกรวยเรียกว่า cones medullaris จะมีพังผืด (ligament) ยึดตรงปลายสุดของไขสันหลังให้ติดอยู่กับกระดูก(ระดับสะโพกส่วน sacrum) เรียกว่า filion terminale เนื่องจากขณะที่สัตว์เจริญเติบโตในมดลูกการเจริญเติบโตในระยะท้ายของการตั้งท้องส่วนของไขสันหลังเจริญเติบโตช้ากว่าส่วนกระดูกสันหลัง ตอนปลายของไขสันหลังจากส่วนกระดูก sacrum ไปถึงกระดูกหาง (coccygeal) จะไม่มีไขสันหลังปรากฏให้เห็นเด่นชัด ดังนั้นส่วนท้ายของร่างกายจากส่วนสะโพกลงไปจะไม่มีไขสันหลัง จากส่วนของสะโพกลงไปจะเป็นส่วนของ spinal ganglia ที่แตกแยกออกมาจากไขสันหลังตอนปลาย มีลักษณะเป็นเส้นประสาทหลายๆเส้น บางปมประสาท (ganglia) จะมีเส้นประสาทที่ยาวไปจรดส่วนหาง

ไขสันหลังมีลักษณะเป็นปล้องๆบรรจุอยู่ในช่องของกระดูกสันหลัง (vertebral canal) โดยแต่ละปล้องจะแยกออกเป็น 2 แถวคือ ventral root และ dorsal root ส่วนของ dorsal root จะเป็นส่วนที่รับความรู้สึก และ ventral root จะเป็นส่วนที่ส่งความรู้สึก ถ้าผ่าไขสันหลังออกตามขวาง (cross section) จะเห็นว่าเนื้อไขสันหลังมี 2 ชั้นคือเนื้อสีขาวอยู่ด้านนอกโดยรอบ และเนื้อสีเทาอยู่ด้านใน ส่วนเนื้อสีเทาของไขสันหลังจะมีรูปร่างคล้ายผีเสื้ออยู่ด้านใน แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ventral gray horn , dorsal gray horn และ lateral gray horn บริเวณตรงกลางของเนื้อสีเทาจะมีรูเรียกว่า central canal เซลล์ประสาทในไขสันหลังแต่ละส่วนจะแน่นไม่เท่ากัน เซลล์ประสาทส่วนใหญ่เป็นส่วนของเซลล์ประสาทที่ต่อมาจากสมอง (part way) ไขสันหลังมีเยื่อหุ้มเพื่อป้องกันอันตรายเช่นเดียวกับสมอง มีน้ำไขสันหลังซึ่งเป็นของเหลวที่สามารถถ่ายเทไปยังน้ำในสมองได้ เนื่องจากน้ำในไขสันหลังจะอยู่ในชั้น subarachnoid space เช่นกัน ไขสันหลังจะให้เส้นประสาท (nerve branch) ไปหล่อเลี้ยงตามส่วนต่างๆของร่างกาย โดยเส้นประสาทที่แตกตัว

ออกจากไขสันหลังเรียกว่า spinal nerve จะออกมาจากช่องหรือรูระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อ เรียกว่า intervertebral foramen

เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve) จะมีอยู่เป็นคู่ด้านซ้ายและขวา โดยจะมีเส้นประสาทรับความรู้สึก (afferent nerve หรือ sensory nerve) รวมทั้งมีเส้นประสาทสั่งการ (efferent nerve หรือ motor nerve)วิ่งคู่กันไป เส้นประสาทไขสันหลังที่วิ่งออกจากไขสันหลังจากส่วนคอถึงหน้าอกและส่วนสันหลัง จะมีลักษณะเป็นเส้นตรงพอดีกับช่องหรือรูที่ออกจากกระดูกสันหลังตรงกับ intervertebral column แต่เส้นประสาทไขสันหลังในส่วนท้ายของร่างกายบริเวณส่วนสะโพก(sacrum) และหาง (coccygeal) จะวิ่งออกจากไขสันหลังไม่ตรงกับ interverbral column

ส่วนเนื้อสีเทาของไขสันหลังประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาทและใยประสาท ได้แก่เซลล์ประสาทสั่งการ (motor nerve neuron) ที่อยู่ในส่วนเนื้อสีเทา มีใยประสาทออกจากไขสันหลังตรง ventral root เส้นประสาทไขสันหลังจะไปหล่อเลี้ยงหรือควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลายที่เป็นส่วนกล้ามเนื้อโครงร่าง เซลล์ประสาทที่อยู่ใน lateral gray horn จะส่งใยประสาทไปทาง ventral root เช่นกันโดยจะออกไปร่วมกับใยประสาทของประสาทสั่งการ เพื่อไปเลี้ยงอวัยวะต่างๆภายในช่องอก ช่องท้อง และช่องเชิงกราน ส่วน intercalated neuron เป็นเซลล์ประสาทที่อยู่ในส่วน dorsal root ganglion หรือจากส่วน descending tract แล้วส่งกระแสความรู้สึกต่อไปยังเซลล์ประสาทของ ventral gray horn หรือส่งต่อไปยังสมองหรือไขสันหลังข้อที่อยู่ต่ำลงมาเพื่อให้เกิดรีเฟล็กซ์ ส่วนเนื้อสีขาวของไขสันหลังซึ่งเป็นเนื้อไขสันหลังส่วนนอกจะประกอบด้วยส่วนใยประสาทหรือขาประสาททั้ง nerve fiber และnerve tract ที่รวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (ascending tract) เป็นใยประสาทที่นำกระแสประสาทไปสู่สมองเช่นใยประสาทรับความรู้สึกต่างๆ ในส่วนของ descending fiber จะเป็นใยประสาทที่นำกระแสประสาทออกจากสมองมาสู่ประสาทสั่งการที่ไขสันหลัง เช่น motor nerve ต่างๆ

ช่องว่างในสมองหรือโพรงสมอง (ventricle of the brain)

ช่องว่างในสมองเป็นส่วนที่เจริญมาจาก neural canal ในระยะที่สัตว์เป็นตัวอ่อน มีลักษณะเป็นโพรงหรือเป็นช่องว่างภายในสมอง บริเวณช่องว่างนี้จะมีของเหลวหรือน้ำในสมอง (cerebrospinal fluid) เป็นของเหลวที่สามารถไหลผ่านถึงกันได้ในแต่ละช่องว่าง และในช่องว่างส่วน sub acranoid space นอกจากนี้ยังสามารถดูดซึมเข้า venous sinus และเข้าสู่ระบบไหลเวียนของเลือดได้ ช่องว่างในสมองมีอยู่ 3 แห่งคือ ช่องว่างที่อยู่ในแต่ละซีกของสมอง (cerebral hemisphere เรียกว่า lateral ventricles ส่วน third ventricles เป็นช่องว่างอยู่ภายใน

ส่วน diencephalon ซึ่งมีช่องทางติดต่อกับ lateral ventricles ที่ aqueduct of monro ช่องว่าง fourth ventricles เป็นช่องว่างที่อยู่ในสมองส่วนหลังด้านหน้าจะติดกับ third ventricles ทาง cerebral aqueduct มีช่องทางติดต่อกับ sub arachnoid space ที่อยู่ในสมองและไขสันหลัง

2. ระบบประสาทส่วนปลาย (peripheral nervous system,PNS) เป็นระบบประสาทที่อยู่นอกส่วนของระบบประสาทส่วนกลางคือสมองและไขสันหลัง ได้แก่เส้นประสาทสมอง 12 คู่ (cranial nerves) เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerves) และปมประสาท (ganglia) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการติดต่อสื่อสารระหว่างสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกร่างกาย ร่วมกับระบบประสาทส่วนกลาง เส้นประสาทจะนำความรู้สึกเข้าสู่สมองซึ่งเป็นตัวออกคำสั่งและส่งกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทสั่งการ ไปยังอวัยวะเป้าหมายให้มีการตอบสนอง เส้นประสาทสมองจะแยกออกจากเนื้อสมองที่ก้านสมองตรงรูที่กะโหลกศีรษะ (cranial foramen) เส้นประสาทสมองบางส่วนออกมาจากสมองส่วนหลัง แต่ละคู่ของเส้นประสาทสมองจะทำงานร่วมกันเป็นทั้งประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ แต่เส้นประสาทสมองบางคู่จะทำหน้าที่เพียงอย่างเดียว คือทำหน้าที่รับความรู้สึก หรือทำหน้าที่สั่งการเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง เส้นประสาทสมองทั้ง 12 คู่มีหน้าที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในส่วนหัว คอ และส่วนอื่นๆในร่างกาย รวมทั้งการมองเห็น การได้ยิน การรับรสชาดอาหาร และการได้กลิ่น เป็นต้น

ระบบประสาทส่วนปลายสามารถแบ่งตามหน้าที่ได้ 2 ชนิดคือ ระบบประสาทที่นำกระแสประสาทจากระบบประสาทส่วนกลางไปสั่งการยังกล้ามเนื้อโครงร่าง และ somatic sensory neurons การทำงานเกิดภายใต้อำนาจจิตใจ และส่วนรับความรู้สึกอยู่ที่ผิวหนัง ผังผืดรอบๆข้อต่อ เรียกว่า somatic nervous system ส่วนระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) จะนำกระแสประสาทไปสั่งการที่อวัยวะภายใน กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่างๆในร่างกาย การทำงานอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ

เส้นประสาทสมอง(cranial nerves) มี 12 คู่ แต่ละคู่จะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไป ดังนี้

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 (cranial nerve I หรือ olfactory nerve) เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับการดมกลิ่น แต่ไม่มีแขนงของเส้นประสาทในช่องจมูก (nasal cavity) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม olfactory nerve จะมีลักษณะเป็นกลีบเล็กๆ (bulb) เซลล์ประสาทจะมีใยประสาทส่วนเด็นไดรท์อยู่มากมาย ปลายประสาทรับความรู้สึกจะอยู่ที่ช่องจมูก กลิ่นจะเป็นตัวกระตุ้นทางเคมีทำให้ olfactory nerve ส่งกระแสประสาทรับความรู้สึกไปยังสมองส่วนหน้าเพื่อให้รับรู้ว่ากลิ่นที่ได้รับเป็นกลิ่นอะไร

เส้นประสาทคู่ที่ 2 (cranial nerve II หรือ optic nerve) เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกที่ออกจากกะโหลกศีรษะตรง optic canal รับความรู้สึกที่ลูกตาเกี่ยวข้องกับการมองเห็น โดยมีปลายประสาทรับความรู้สึกอยู่ที่เรติน่า (retana) เป็นปลายประสาทจะมีความไวต่อแสง ทำให้ประสาทตาเห็นภาพได้ จากเรติน่าจะมีประสาทรับความรู้สึกส่งกระแสประสาทไปยังสมองส่วนหน้าบริเวณส่วนที่รับความรู้สึกในสมอง (sensory area) ทำให้สมองเกิดการเห็นภาพ การส่งกระแสประสาทจากเรติน่าของตาไปยัง optic nerve จะมีการสลับข้างกัน เช่น เรติน่าของลูกตาด้านขวาจะมี optic nerve ที่เป็นประสาทรับความรู้สึกวิ่งไปที่บริเวณที่รับความรู้สึก (sensory area) ที่สมองส่วนหน้าข้างซ้าย และเรติน่าข้างซ้ายจะส่งกระแสประสาทรับความรู้สึกไปยัง sensory nerve ของสมองด้านขวา บริเวณส่วนที่ตัดกันหรือไขว้กันของ optic nerve เรียกว่า optic chiasma

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 (cranial nerve III หรือ occulomotor nerve) เป็นเส้นประสาทสมองที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของกล้ามเนื้อที่เบ้าตา และเปลือกตา ทำให้ลูกตาเกลือกไปมาได้ โดยผ่านกล้ามเนื้อ occular muscle เส้นประสาทคู่นี้จะเป็นเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อรอบตา ทำให้ลูกตาเคลื่อนไหวได้ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอน นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้อรอบม่านตา (Iris) คือ sphincter pupillaris muscle

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 4 (cranial nerve IV หรือ trochlear nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการทำหน้าที่เกี่ยวกับ การควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อตา (dorsal obligue muscle)

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 (cranial nerve V หรือ trigeminal nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีทั้งประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการอยู่รวมกัน (mixed nerve) เส้นประสาทรับความรู้สึกจะไปที่ตา และหน้า เส้นประสาทสั่งการจะไปที่กล้ามเนื้อรอบปากเกี่ยวกับการเคี้ยว เส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 จะมีแขนง 3 แขนงคือ opthamic nerve เป็นแขนงประสาทที่เกี่ยวกับอวัยวะรับความรู้สึกรอบเบ้าตา กระตุ้นให้เกิดการหลั่งน้ำตา และรับความรู้สึกจาก nasal muscle ที่เป็นกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการดมกลิ่น ทำให้ผิวหนังบริเวณจมูกสามารถเคลื่อนไหวได้ ส่วน maxillary nerve เป็นแขนงประสาทที่รับความรู้สึกจากรากฟัน โดยเฉพาะส่วนฟันกรามด้านบน และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของหนังตาบนและหนังตาล่าง (upper and lower eyelid) สำหรับ mandibular nerve จะรับความรู้สึกจากรากฟันในส่วน mandibular ส่วนฟันล่าง

เส้นประสาทคู่ที่ 6 (cranial nerve VI หรือ abducents nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการทำหน้าที่สั่งการไปยังกล้ามเนื้อตา เช่น retractor rectus muscle และ lateral rectus muscle เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลูกตาและการกลอกตาไปมา

เส้นประสาทคู่ที่ 7 (cranial nerve VII หรือ facial nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีทั้งประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ (mixed nerve) ที่ไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อและผิวหนังส่วนหน้า ทำ

ให้เกิดการหลั่งน้ำลาย และมีการเคลื่อนไหวของ mandibular ประสาทสั่งการไปที่กล้ามเนื้อหน้าและต่อมน้ำลาย เส้นประสาทรับความรู้สึกไปที่หู และลิ้น

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (cranial nerve VIII หรือ vestibulo cocheal nerve) เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกที่มีใยประสาทไปที่ vestibular organ ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับการได้ยินเสียงที่ cochlea และการรักษาสมดุลของร่างกายตรงส่วน semi circular canals

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (cranial nerve IXหรือ glossopharyngeal nerve) เป็นทั้งประสาทรับความรู้สึกและประสาทสั่งการ โดยเส้นประสาทรับความรู้สึกจะเกี่ยวกับการรับรู้เรื่องกลิ่น ส่วนประสาทสั่งการเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อในการกลืนที่โคนลิ้น และกล้ามเนื้อของหลอดคอ (pharynx) มีผลให้ hyoid muscle ทำงาน

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (cranial nerve X หรือ vagus nerve) เป็นเส้นประสาทที่มีทั้งประสาทสั่งการและประสาทรับความรู้สึก ปลายประสาทเกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในต่างๆ (เส้นประสาทสมองคู่อื่นๆจะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับส่วนหัวและคอ)

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 11 (cranial nerve XI หรือ spinal accessory nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของ hyoid bone และ hyoid muscle รวมทั้งกล้ามเนื้อที่ไหล่และคอ เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 -11 จะเป็นเส้นประสาทที่ออกจาก occipitotympanic fissue ด้านหลังของ occipital lobe

เส้นประสาทสมองคู่ที่ 12 (cranial nerve XII หรือ hypoglossal nerve) เป็นเส้นประสาทสั่งการออกมาจาก hypoglossal canal ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลิ้น และกล้ามเนื้อที่ควบคุมลิ้น

เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve)

เส้นประสาทไขสันหลังออกจากไขสันหลังตรงข้อระหว่างกระดูกสันหลัง(intervertebral foramen) เส้นประสาทไขสันหลังมีอยู่เป็นคู่เช่นเดียวกับเส้นประสาทสมอง ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีจำนวนเส้นประสาทไขสันหลังไม่เท่ากัน เส้นประสาทไขสันหลังมีทั้งเส้นประสาทที่เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกและเส้นประสาทสั่งการ แยกไปเลี้ยงตามส่วนต่างๆของร่างกาย เช่น เส้นประสาทไขสันหลังส่วนคอ (cervical spinal nerve),ส่วนอก (thoracic spinal nerve) , ส่วนเอว (lumbar spinal nerve), ส่วนสะโพก (sacral spinal nerve) และส่วนหาง(quqdq equina หรือ coccygeal spinal nerve) เป็นต้น

ส่วน cervical spinal nerve คู่ที่ 1 จะออกจาก interverbral foramens ด้านหน้า cervical vertebra ข้อที่ 1 และ cervical spinal nerve คู่ที่ 2 จะออกจาก intervertebral foramen หน้า

cervecal vertebra ข้อที่ 2 ลักษณะของเส้นประสาทไขสันหลังก่อนที่จะออกจาก intervertebral foramens นั้นส่วนของ dorsal root ซึ่งเป็นประสาทรับความรู้สึกจะรวมกับ ventral root ที่เป็นประสาทสั่งการก่อน จึงเรียกว่าเส้นประสาทไขสันหลังเป็น mixed nerve เมื่อเส้นประสาทไขสันหลังออกจากรู intervertebral foramens จึงแยกออกเป็น 2 แขนงคือ dorsal ramus และ ventral ramus โดยส่วน dorsal ramus ควบคุมกล้ามเนื้อและผิวหนังด้านหลัง และ ventral ramus จะควบคุมกล้ามเนื้อและผิวหน้าที่อยู่ด้านล่างของ transverse processes ของกระดูกสันหลัง โครงสร้างกล้ามเนื้อส่วนขาหลังและขาหน้า เส้นประสาทไขสันหลังบางส่วนจะมีขนาดใหญ่ เกิดจากการรวมตัวกันของเส้นประสาทไขสันหลังหลายๆแขนงรวมกัน นอกจากนี้ยังอาจมีการรวมกันแบบเป็นร่างแหของปมประสาทเช่น brachial plexus ที่ส่วนขาหน้าซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่าง cervical spinal nerve และ thoracic spinal nerve บางคู่ brachial plexus จะเป็นประสาทแขนงพิเศษที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและผิวหน้าส่วนขาหน้า ที่ส่วนท้ายของกระดูกสันหลังจะมีการรวมกันเป็นแขนงประสาทพิเศษที่ไปเลี้ยงขาหลังเรียกว่า lumbosacral plexus เกิดจากการรวมกันของบางส่วนของเส้นประสาทไขสันหลังส่วน lumbar และ sacral

ระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system, ANS)

ระบบประสาทอัตโนมัติเป็นระบบประสาทที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ (involuntary nervous system) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในของร่างกาย ได้แก่การทำงานของหัวใจ เส้นเลือด มดลูก กระเพาะปัสสาวะและลำไส้หรืออาจเรียกว่าประสาทส่วนปลายที่ควบคุมกล้ามเนื้อเรียบและหัวใจ ระบบประสาทอัตโนมัติจะทำงานได้ต้องประกอบด้วยเซลล์ประสาทสั่งการจำนวน 2 ตัว เพื่อนำคำสั่งจากศูนย์กลางไปยังอวัยวะเป้าหมายหรือหน่วยปฏิบัติการ เซลล์ประสาทตัวที่ 1 จะต้องอยู่ในสมองหรือไขสันหลัง ส่วนเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งจะอยู่นอกสมองและไขสันหลัง โดยจะอยู่ในปมประสาท(ganglia) ใกล้ๆกับกระดูกสันหลัง ระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งเป็น 2 ประเภทตามตำแหน่งของเส้นประสาทที่มาควบคุม คือระบบ sympathetic nervous system มีเซลล์ประสาทนำคำสั่งตัวที่ 1 เรียกว่า preganglionic neuron (เอ๊กซอนสั้น) ซึ่งอยู่ในไขสันหลังส่วน lateral gray horn ของส่วนอกและเอวเรียกว่า thoraco-lumbra portion ส่วนระบบ parasympathetic nervous system เป็นระบบที่มีเซลล์ประสาทนำคำสั่งตัวที่ 1 (pregangiolnic neuron เอ๊กซอนยาว) อยู่ในสมองและไขสันหลังส่วนสะโพกเรียกว่า craniosacral portion ทั้งสองระบบจะทำงานตรงข้ามกัน โดยทั้งสองระบบจะมีเส้นประสาทวิ่งไปยังอวัยวะภายในทุกแห่งเช่นเดียวกัน ระบบ sympathetic nerve สร้างและหลั่งสารเคมีพวก noradrenalin ไปกระตุ้นให้มีการเต้นของหัวใจ แต่ระบบ parasympathetic nerve จะสร้างและหลั่งสารเคมีพวก

acetylcholineไปลดอัตราการเต้นของหัวใจ โดยทั่วไปเส้นประสาทสั่งการตัวแรกของระบบ sympathetic ที่อยู่ในไขสันหลังจะมีใยประสาท(axon) ออกมาที่ปมประสาทที่ส่วนอกและเอว โดยที่ปมประสาทตัวที่ 1 (preganglionic nerve ending) จะปล่อยสารเคมีพวก acetylcholine ออกมา ส่วนปมประสาทตัวที่สอง(postganglionic nerve ending) จะหลั่งสารเคมีพวก norarenalin หรือ norepinephrin อาจเรียกเซลล์ประสาทพวกนี้ว่า adrenergic neuron ส่วนระบบ parasympathetic nervous system ทั้งpreganglionic nerve ending และ postganglionic nerve ending จะหลั่งสารเคมีพวก acetylcholine ออกมา มีผลไปยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบ ทำให้ร่างกายไม่ทำงานมากเกินไป เซลล์ประสาทพวกนี้เรียกว่า cholinergic neuron

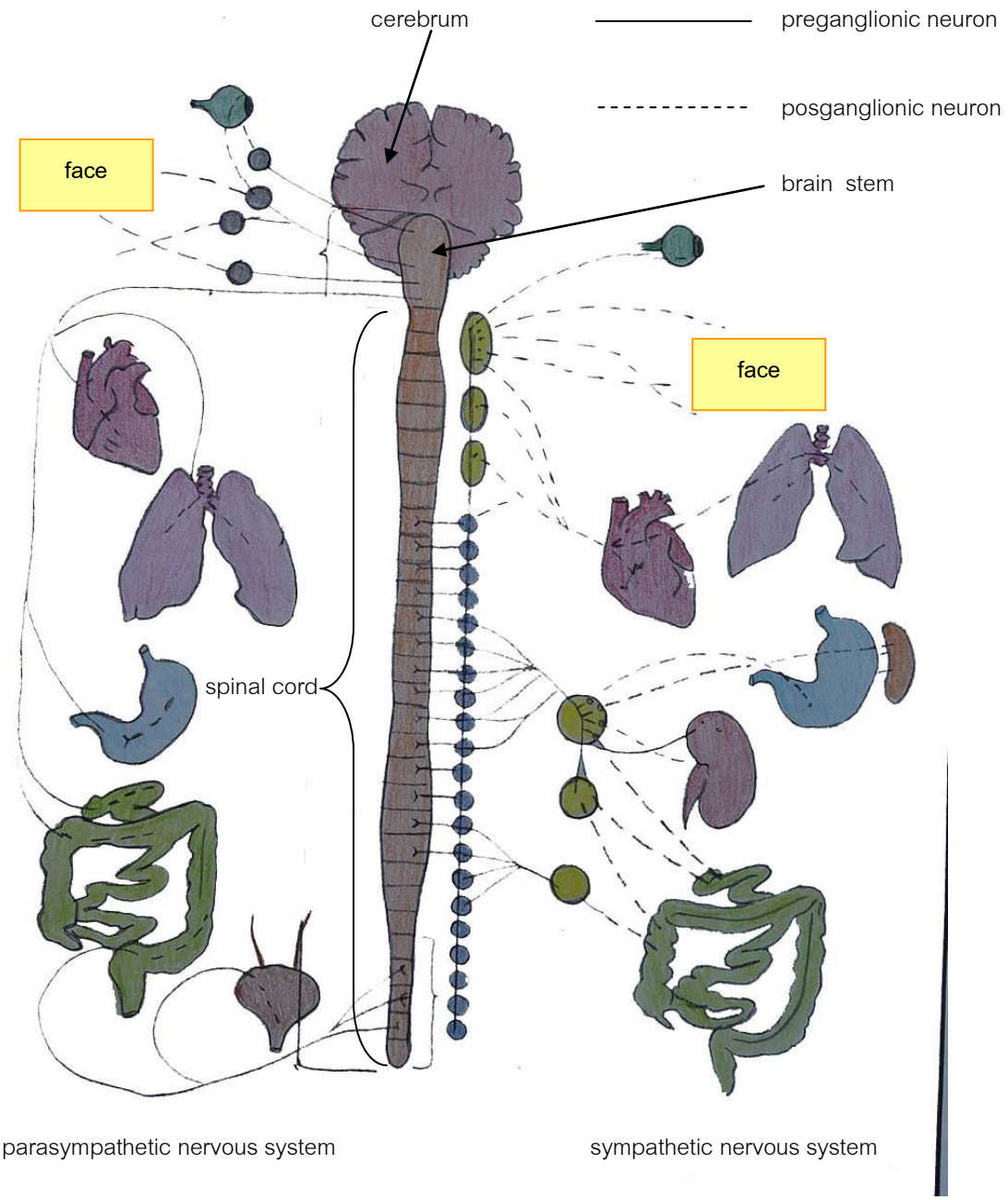
ระบบประสาทอัตโนมัติทำงานโดยมีศูนย์ควบคุมการทำงานอยู่ที่สมองส่วน medulla oblongata สมองส่วน hypothalamus และไขสันหลัง การทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติส่วนใหญ่จะทำงานเพื่อรักษาความสมดุลภายในของร่างกาย การตอบสนองต่อสิ่งเร้าของร่างกายในทุกกรณีจึงจัดเป็นรีเฟล็กซ์ (reflex action) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยาตอบสนองของอวัยวะต่อสิ่งเร้าอย่างทันทีทันใด โดยเป็นการตอบสนองที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ การตอบสนองต่อสิ่งเร้าดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ จะต้องเกี่ยวข้องกับเซลล์ประสาทอย่างน้อย 2 เซลล์ขึ้นไป(เซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทสั่งการ) โดยมีไขสันหลังเป็นตัวสั่งการ หรือตัวสั่งการอาจเป็นได้ทั้งระดับไขสันหลังและสมองก็ได้ reflex action ที่เป็นวงจรง่ายๆมักมีการสั่งการระดับไขสันหลังเท่านั้นเรียกว่า reflex arc ซึ่งแบ่งออกเป็น reflex arc ของระบบประสาทนอกอำนาจจิตใจ และระบบประสาทใต้อำนาจจิตใจ

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบการทำงานของระบบ sympathetic และ parasympathetic

การทำงานของอวัยวะ	ระบบ sympathetic	ระบบ parasympathetic
รูม่านตา	กว้างออก	แคบลง

หัวใจ	หดตัวเร็วเพิ่มอัตราการเต้น	หดตัวช้าลดอัตราการเต้น
กล้ามเนื้อที่หลอดลม	กว้างออก	แคบลง
ต่อมเหงื่อ	กระตุ้นการหลั่ง	ไม่มีการควบคุม
ต่อมน้ำตา	ยับยั้งการหลั่ง	กระตุ้นการหลั่ง
ต่อมในกระเพาะและลำไส้	ยับยั้งการหลั่ง	กระตุ้นการหลั่ง
ต่อมหมวกไตส่วนใน	หลั่งฮอร์โมน epinephrin	ไม่มีการควบคุม
ต่อมหมวกไตส่วนนอก	หลั่งฮอร์โมน glucocorticoid	ไม่มีการควบคุม
เส้นเลือดของผิวหนัง	หดตัว	ไม่มีการควบคุม
เส้นเลือดที่อวัยวะภายในยกเว้นหัวใจและปอด	หดตัว	ไม่มีการควบคุม
ตับ	กระตุ้นการสลายไกลโคเจนและลดการหลั่งน้ำดี	กระตุ้นการสังเคราะห์ไกลโคเจน
ถุงน้ำดี	คลายตัว	หดตัว
กล้ามเนื้อท่อทางเดินอาหาร	ลดการบีบตัว	เพิ่มการบีบตัว
กล้ามเนื้อกระเพาะปัสสาวะ	คลายตัว	หดตัว
ไต	เส้นเลือดในไตหดตัวปัสสาวะลดลง	ไม่มีการควบคุม
ตับอ่อน	ตับอ่อนหลั่งเอ็นไซม์	ไม่มีการควบคุม
มดลูก	ยับยั้งการหดตัวถ้าสัตว์ตั้งท้อง	มีผลน้อย

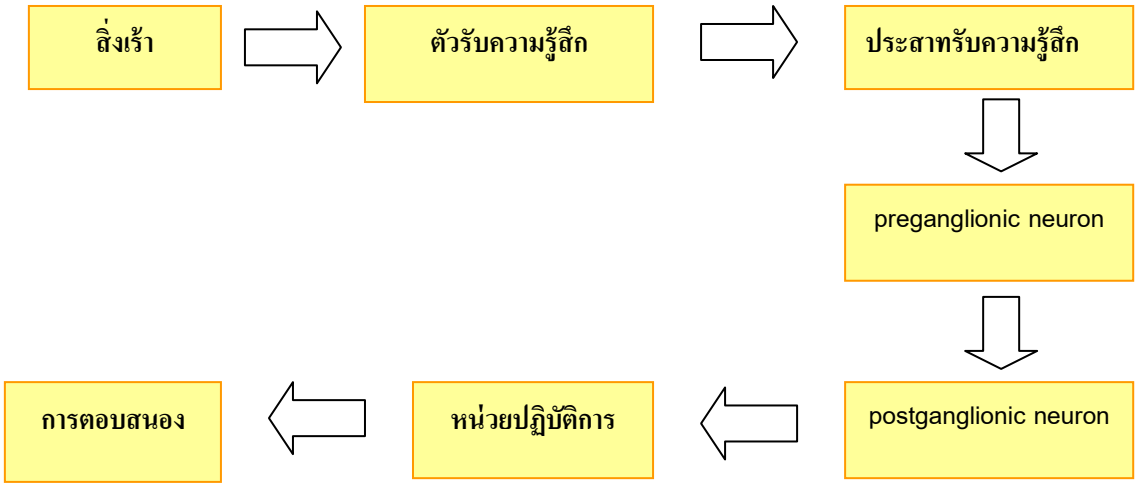
ที่มา : ดัดแปลงจาก Farndson .,1974



ภาพที่ 3.6 ระบบประสาทอัตโนมัติ

ดัดแปลงจาก : Carola และ คณะ ,1992

reflex arc ของระบบประสาทใต้อำนาจจิตใจประกอบด้วยหน่วยทำงานต่างๆ ดังนี้คือ



ภาพที่ 3.7 แผนภูมิแสดง reflex

reflex arc ที่เกิดกับกล้ามเนื้อลายหรือระบบประสาทภายใต้อำนาจจิตใจได้แก่ strech reflex หรือ knee reflex, flexor reflex และ cross extensor reflex ส่วน reflex arc ที่เกี่ยวกับระบบประสาทที่อยู่นอกอำนาจจิตใจได้แก่ visceral reflex เช่น การสั่งการในการหลั่งน้ำย่อยอาหารในกระเพาะ และการหลั่งน้ำลายหรืออาการน้ำลายไหลเมื่อมองเห็นอาหาร เป็นต้น

reflex arc ที่เกี่ยวข้องกับสมองจะพบ reflex center ในระบบประสาทส่วนกลางเช่นสมองส่วนหน้า สมองส่วนหลัง ไฮโปธาลามัส และ medulla oblongata แต่ละส่วนของสมองจะควบคุม reflex action ในส่วนต่างๆของอวัยวะในร่างกายที่แตกต่างกันไป สมองส่วนหน้าจะมี reflex center ของการได้ยินเสียงดัง การตื่นเต้นตกใจและกลไกการขยายหรือหรี่ม่านตา สมองส่วนหลังจะมี reflex center ของการเคลื่อนไหวของร่างกาย ส่วนไฮโปธาลามัสจะมี reflex center ที่เกี่ยวข้องการการควบคุมอุณหภูมิและความสมดุลของน้ำในร่างกาย และส่วนmedulla oblongata จะมี reflex center ของการเต้นของหัวใจ การไอ การจาม การกลืน การหายใจ และการอาเจียรเป็นต้น

สามารถแบ่ง reflex action ที่เกิดขึ้นในสัตว์เลี้ยงออกเป็น 2 ประเภทคือ

1.reflex ที่มีมาแต่กำเนิดเรียกว่า inborn reflex เช่นการหาอาหาร การเคี้ยวเอื้อง การส่งเสียงร้องและการขับถ่ายเป็นต้น ซึ่งจัดเป็น reflex ที่ไม่ต้องเรียนรู้

2.condition reflex เป็น reflex ที่เกิดขึ้นได้หลังคลอด ส่วนใหญ่จะเป็นรีเฟล็กซ์ที่เกิดขึ้นจากการฝึกหรือจากการเรียนรู้เช่น รีเฟล็กซ์ของการหลั่งน้ำนมในโค (milk ejection reflex)

บทที่ 4
ระบบโครงร่าง
The skeleton system

ในสัตว์เลี้ยงระบบโครงร่างเป็นระบบที่มีส่วนทำให้เกิดเป็นรูปร่าง มีส่วนประกอบได้แก่ กระดูก (bone) กระดูกอ่อน (cartilage) และข้อต่อต่างๆ (joints)โดยมีส่วนของกล้ามเนื้อลาย และเอ็น เป็นส่วนเชื่อมต่อหรือยึดโยงกระดูก กระดูกอ่อน และข้อต่อเข้าด้วยกัน ทำให้ร่างกายสามารถเคลื่อนไหวได้ สำหรับวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับกระดูก เรียกว่า osteology ส่วนวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับกระดูกอ่อนเรียกว่า chondrology และวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับข้อต่อต่างๆ เรียกว่า artropology

กระดูก (bone)

กระดูกเป็นส่วนประกอบของร่างกายที่มีความแข็งมากกว่าส่วนอื่นๆ ทำหน้าที่เป็นส่วนสำคัญของโครงร่างในร่างกาย และเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อ กระดูกที่มารวมกันเป็นโครงร่างจะเกิดการเคลื่อนไหวเมื่อมีการหดตัวของกล้ามเนื้อ กระดูกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษที่มีส่วนของ intercellular substance หรือสารที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์เป็นส่วนของแข็งที่เกิดจากการเกาะตัวกันของธาตุแคลเซียม ส่วนประกอบส่วนใหญ่ของเนื้อกระดูกคือธาตุแคลเซียม ที่อยู่ในรูปของแคลเซียมฟอสเฟตร้อยละ 85 และ แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 10 ส่วนที่เหลือเป็นสารอนินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแมกนีเซียมไฮดร็อกไซด์ ฟลูออไรด์และ ซัลเฟท เป็นต้น

กระดูกมีหน้าที่สำคัญ คือ

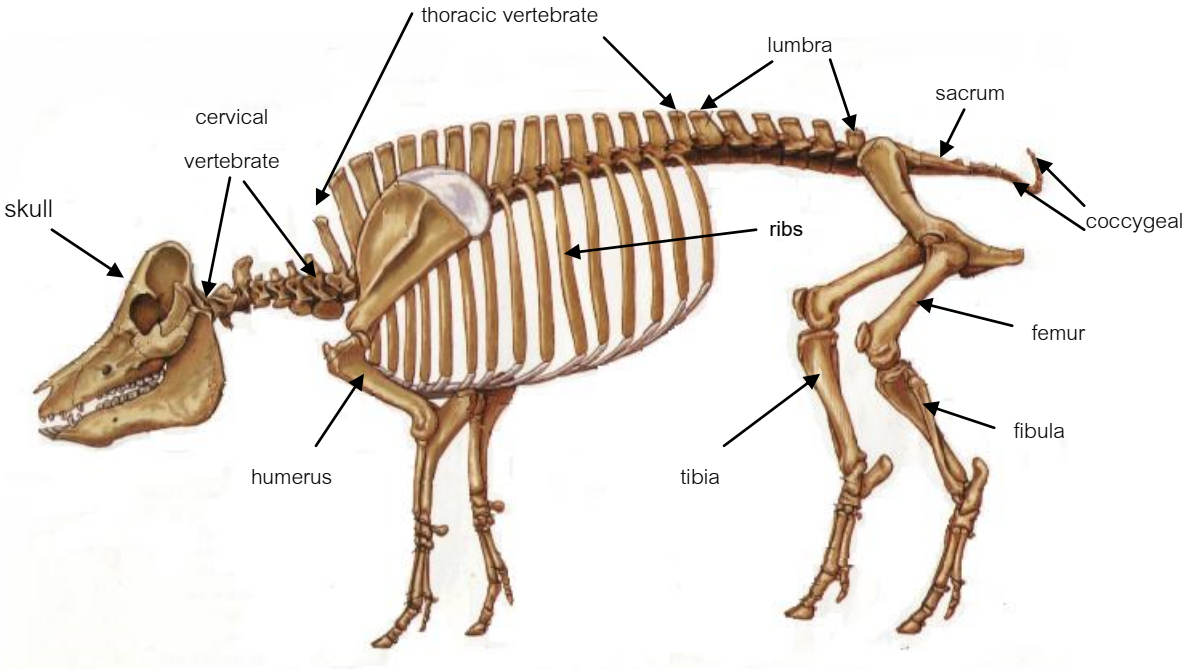
1.เป็นแหล่งสะสมแร่ธาตุชนิดต่างๆในร่างกายเช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส และแมกนีเซียม โดยเฉพาะแคลเซียมที่เนื้อกระดูกสะสมไว้ สามารถจะถูกดึงออกมาใช้ประโยชน์ในขบวนการทางชีวเคมีต่างๆที่เกิดขึ้นในร่างกายได้ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับความต้องการของร่างกายในขณะนั้น

2.ห่อหุ้มและป้องกันอันตรายให้แก่อวัยวะภายในต่างๆ เช่น ส่วนของกระดูกซี่โครงจะเป็นส่วนที่ป้องกันอวัยวะภายในช่องปอดและช่องหัวใจ

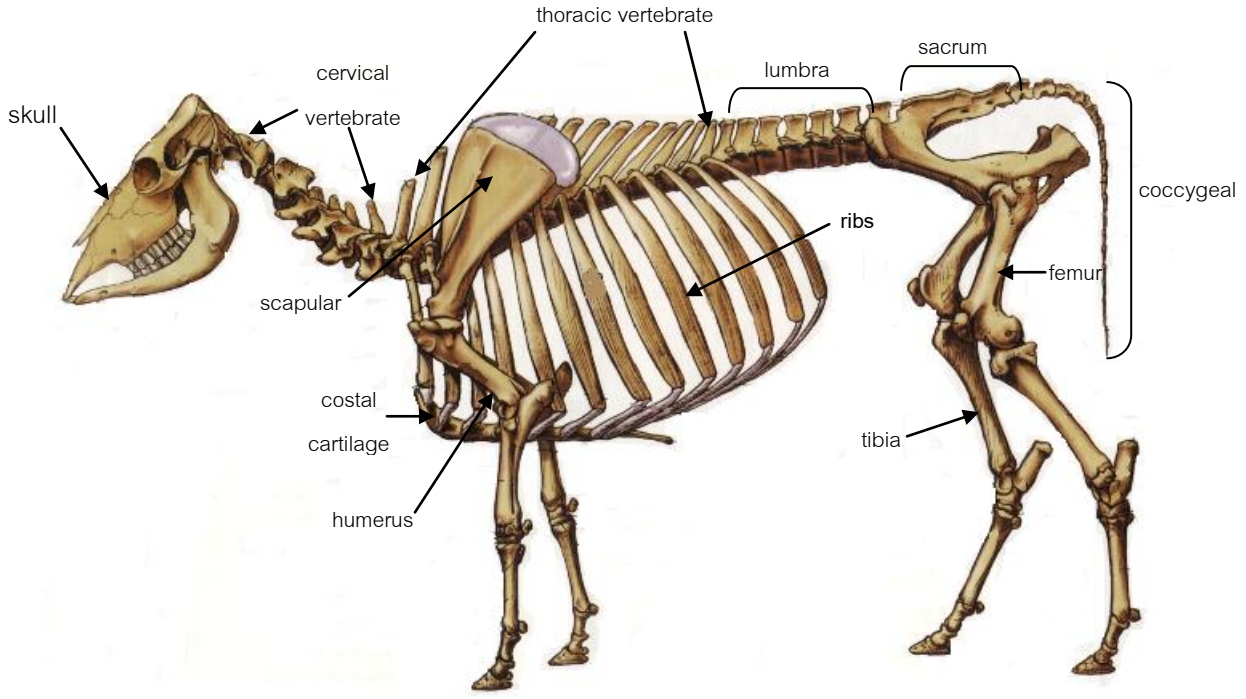
3.เป็นโครงร่างของร่างกาย ทำให้เห็นเป็นรูปร่างภายนอกของสัตว์

4.เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อลายหรือเป็นส่วนกล้ามเนื้อโครงร่าง จึงทำให้ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหวได้ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวและคลายตัว

5.ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือดแดง โดยส่วนของไขกระดูกสีแดง แต่ในขณะที่สัตว์ยังเป็นตัวอ่อนอยู่ในมดลูก แหล่งสร้างเม็ดเลือดแดงได้แก่ ตับ ม้ามและต่อมน้ำเหลืองเป็นต้น



ภาพที่ 4.1 กระดูกโครงร่างของสุกร



ภาพที่ 4.2 กระดูกโครงร่างของโค

การแบ่งประเภทของกระดูก

ในร่างกายของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งประเภทของกระดูกได้ในหลายลักษณะเช่นแบ่งตามลักษณะการเจริญเติบโต แบ่งตามลักษณะความแน่นของกระดูก หรือแบ่งกระดูกออกตามรูปร่างลักษณะภายนอกที่ปรากฏให้เห็น

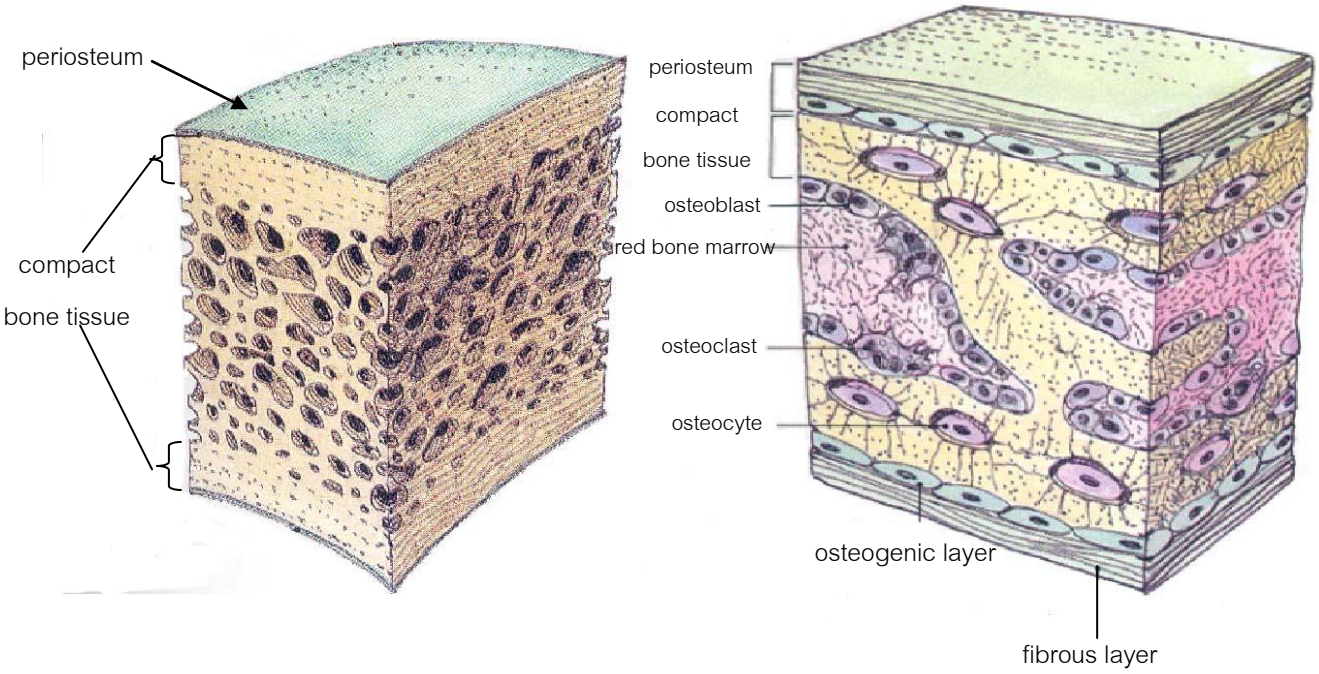
1.การแบ่งประเภทของกระดูกออกตามลักษณะการเจริญเติบโตสามารถแบ่งกระดูกออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

ก.กระดูกที่มีลักษณะการเจริญเติบโตจากเนื้อเยื่อแผ่นบางๆ (membranous bone) กระดูกประเภทนี้มีลักษณะแบน เช่นกระดูกซี่โครง (ribs) และกระดูกที่กะโหลกศีรษะ (skull)

ข..กระดูกที่มีลักษณะการเจริญเติบโตมาจากกระดูกอ่อน ที่มีลักษณะเป็นแท่ง (cartelagenous bone) โดยเฉพาะส่วนกระดูกยาวที่พบตามขาทั้งสี่ข้าง เช่น กระดูก radius และ tibia หรือ femor และ humerus เป็นต้น

2.การแบ่งกระดูกออกตามลักษณะความแน่นของเนื้อกระดูก สามารถแบ่งกระดูกออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก.กระดูกชนิดเนื้อแน่น (compact หรือ dense bone) เป็นกระดูกที่พบบริเวณส่วนที่เป็นตัวกระดูกในกระดูกยาว (shaft) และบริเวณขอบชั้นนอกของกระดูกแบนและกระดูกสั้นเป็นต้น



ภาพที่ 4.3 กระดูกที่มีเนื้อแน่น และกระดูกที่มีเนื้อกระดูกพรุนคล้ายฟองน้ำ

ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992

ข.กระดูกที่มีเนื้อกระดูกพรุนคล้ายฟองน้ำ มีรูพรุนและโปร่ง (spongy หรือ cancellous bone) พบตามบริเวณส่วนปลายบนและปลายล่างของกระดูกยาวและตรงกลางของกระดูกแบน เนื้อกระดูกประกอบด้วยแผ่นกระดูกชิ้นเล็กๆ(trabeculae หรือ spicule) เรียงตัวกันเป็นร่างแหทำให้เกิดเป็นช่องว่างบรรจุไขกระดูก

3.การแบ่งกระดูกตามลักษณะรูปร่างลักษณะภายนอกสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก.กระดูกยาว (long bone) เป็นกระดูกที่มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยตัวกระดูก (shaft หรือ diaphysis)และมีส่วนปลายกระดูกทั้งสองข้าง (epiphysis) ในสัตว์เลี้ยงที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่จะมีการเจริญของกระดูกขยายขนาดออกไปทางด้านกว้างและด้านยาว โดยเฉพาะการเจริญตรงส่วน epiphyseal cartilage ระหว่างส่วน epiphysis และ diaphysis ของกระดูกยาวแต่ละแท่งจะมีส่วนของ metaphysis ปรากฏให้เห็น โดยในกระดูกจะมีส่วนไขกระดูกอยู่ภายในโครงสร้างกระดูกยาวมีหน้าที่สำคัญ คือ ค้ำจุนโครงร่างของร่างกาย (supporting) เกี่ยวกับการเคลื่อนไหว (movement) และเป็นแหล่งยึดเกาะของกล้ามเนื้อลาย (prehension) เช่นกระดูกที่ยื่นมาจากส่วนแกนกลางของร่างกายทั้งส่วนกระดูกขาหน้า (fore limb) และกระดูกขาหลัง (hind limb) ที่กระดูกยาวจะพบเนื้อกระดูกได้ทั้งส่วนกระดูกที่มีเนื้อแน่นและส่วนเนื้อกระดูกคล้ายฟองน้ำ นอกจากนี้จะพบส่วนของโพรงกระดูก (medullary cavity) ส่วน articular surface และส่วนช่องทางที่เส้นเลือดและเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยง (nutrient canal)

ข.กระดูกสั้น (short bone) เป็นกระดูกที่มีรูปร่างคล้ายสี่เหลี่ยมลูกเต๋า หรือเป็นกระดูกที่มีด้านเท่าๆ กันเกือบทุกด้าน ภายในเนื้อกระดูกจะไม่มีไขกระดูกปรากฏให้เห็น เนื้อกระดูกส่วนใหญ่เป็นกระดูกที่มีความแน่น โดยเฉพาะตามแนวขอบกระดูก โดยทั่วไปกระดูกสั้นทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรองรับการกระแทกต่างๆ จึงมักพบกระดูกสั้นตามข้อเท้าของสัตว์ทั้งส่วนข้อเท้าขาหน้า (carpus หรือ knee) และข้อเท้าขาหลัง (tarsus หรือ hock)

ค.กระดูกแบน (flat bone) เป็นกระดูกที่มีลักษณะแบนประกอบด้วยแผ่นกระดูกที่มีเนื้อแน่น 2 แผ่นมาประกบกันอยู่จนเกือบชิดกัน และมีเนื้อกระดูกคล้ายฟองน้ำแทรกอยู่ระหว่างกลาง หน้าที่ของกระดูกแบนเกี่ยวข้องกับการป้องกันอันตรายของอวัยวะภายในที่สำคัญต่างๆ เช่น กระดูกกะโหลกศีรษะเป็นกระดูกแบนที่ป้องกันอันตรายให้แก่สมอง และกระดูกซี่โครงมีหน้าที่ป้องกันอันตรายให้แก่อวัยวะภายในช่องอก เป็นต้น

ง.กระดูกที่มีลักษณะคล้ายเมล็ดงา (sesamoid bone) เป็นกระดูกที่พบตามข้อต่อต่างๆ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการลดแรงเสียดสีของข้อต่อกระดูก หรือเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงองศาของการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อบางส่วนที่เกาะติดกับกระดูก เช่นกระดูกสะบ้าหัวเข่า (patella หรือ knee cap) ซึ่งเป็นกระดูกรูปร่างคล้ายเมล็ดงาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดที่พบได้ในร่างกาย

จ.กระดูกที่มีโพรงอากาศ (sinus หรือ air space) อยู่ภายใน (pneumatic bones) เช่น กระดูก frontal bone และ maxillary bone ที่ประกอบอยู่บนกะโหลกศีรษะ

ฉ.กระดูกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular bone) เป็นกระดูกที่ไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งได้ เนื่องจากมีรูปร่างไม่แน่นอน บางครั้งอาจเป็นกระดูกที่ไม่ได้มีอยู่เป็นคู่ และมักเป็นกระดูกที่มีตำแหน่งตรงแกนกลางของร่างกายหรือลำตัว เช่นกระดูกสันหลัง และกระดูกบางชิ้นของกะโหลกศีรษะที่เป็นกระดูกชิ้นเดี่ยวๆ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันอันตรายให้กับอวัยวะภายในและเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่าง

กระดูกโครงร่างของสัตว์เลี้ยง

กระดูกโครงร่างในร่างกายของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทคือกระดูกโครงร่างส่วนแกน (axial skeleton) กระดูกโครงร่างส่วนระยางค์ (appendicular skeleton) และกระดูกโครงร่างที่เจริญอยู่ในเนื้อเยื่อของอวัยวะบางแห่ง (visceral หรือ splanchnic skeleton) เป็นต้น

1.กระดูกโครงร่างส่วนแกน หมายถึงกระดูกที่อยู่ตามแนวกลางลำตัวของร่างกาย โดยเริ่มจากส่วนกระดูกกะโหลกศีรษะ กระดูกสันหลัง และกระดูกซี่โครง เป็นต้น กระดูกโครงร่างส่วนแกนเป็นกระดูกที่เชื่อมต่อเพื่อทำหน้าที่ค้ำจุนให้เกิดเป็นโครงร่าง รวมทั้งป้องกันอวัยวะภายในที่สำคัญ กระดูกโครงร่างของสัตว์เลี้ยงแสดงในภาพที่

1.1กระดูกกะโหลกศีรษะ (skull) เป็นกลุ่มของกระดูกที่เป็นกระดูกแบนและกระดูกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ กระดูกที่หุ้มสมอง (cranial bone) และกระดูกที่ประกอบเป็นส่วนของหน้า (facial bone)

ก.กระดูกที่หุ้มสมองประกอบด้วยกระดูกแบนขนาดใหญ่ 7-8 ชิ้นทั้งกระดูกที่เป็นกระดูกเดี่ยวๆ และกระดูกที่มีเป็นคู่มาเชื่อมต่อกัน ทำหน้าที่ห่อหุ้มและป้องกันอันตรายแก่สมอง ประกอบด้วย occipital bone, parietal bone, interparietal bone และ temporal bone เป็นกลุ่มกระดูกที่อยู่ด้านบน ส่วน temporal bone และ sphenoid bone เป็นกระดูกที่อยู่ด้านข้างและด้านล่าง และ ethmoid bone เป็นกระดูกทางด้านหน้าที่เป็นตำแหน่งของ olfactory nerve ด้านล่างเป็นที่เป็นทางผ่านของไขสันหลัง ประเภทของกระดูกเดี่ยวและกระดูกคู่มีดังนี้

กระดูกเดี่ยว	กระดูกคู่
occipital bone	interparietal bone
sphenoid bone	parietal bone
ethmoid bone	frontal bone (กระดูกหน้าผาก)
	temporal bone (กระดูกข้างขมับ)

ข. กระดูกที่เป็นส่วนประกอบของหน้า (facial bone) เป็นกระดูกที่เกิดจากการที่กระดูกแบนหลายๆชิ้นมาซ้อนตัวกัน ทั้งที่เป็นกระดูกแบนแบบเดี่ยวๆและกระดูกแบนแบบคู่

กระดูกเดี่ยว	กระดูกคู่
vomer bone	maxillary bone
mandible bone	incisor (premaxilla)
hyoid bone	palatine bone
	pterygoid bone
	nasal bone
	lacrimal bone
	zygomatic bone (molar)
	dorsal turbinates (conchae)
	ventral turbinates (conchae)

1.2 กระดูกสันหลัง (vertebrate) เป็นกระดูกที่มีรูปร่างไม่แน่นอนเรียงตัวกันเป็นสายหรือเป็นแนวแกนกลางของหลัง มีตำแหน่งอยู่ตรงกลางตัว ต่อจากกะโหลกศีรษะกระดูกสันหลังจะเรียงตัวกันเป็นทางสายไปจนจรดส่วนหาง แนวของกระดูกสันหลังสามารถแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical vertibrate), กระดูกสันหลังส่วนอก (thoracic vertebrate), กระดูกสันหลังส่วนเอว (lumbar vertebrate), กระดูกสันหลังส่วนสะโพกหรือส่วนเชิงกราน (sacral vertebrate) และ กระดูกสันหลังส่วนหาง (coccygeal vertebrate) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจำนวนกระดูกสันหลังในแต่ละส่วนของร่างกายจะแตกต่างกันไปดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนกระดูกสันหลังที่ตำแหน่งต่างๆของร่างกายสัตว์เลี้ยง

ชนิดของสัตว์	กระดูกสันหลัง
โค	C 7, T 13, L 6, S 5 , Cy 18-20
ม้า	C 7, T 18, L 6, S 5, Cy 15-20
แกะ	C 7, T 13, L 6-10, S 4, Cy 16-18
แพะ	C 7, T 13, L 7, S 7, Cy 12
สุกร	C 7, T 14-15,L 6-7, S 4, Cy 20-23
ไก่	C14,T 7, LS 14, Cy 6

กระดูกสันหลังในส่วนสะโพก (เชิงกราน) มักจะหลอมรวมกันเป็นชิ้นเดียวตลอดในสัตว์ทุกชนิด

(C=กระดูกสันหลังส่วนคอ, T=ส่วนอก, L=ส่วนเอว, S=ส่วนสะโพก และ Cy=ส่วนหาง)

ก.กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical vertebrate) หรือ กระดูกคอ(neck bone) ในสัตว์เลี้ยงในฟาร์มจะมีกระดูก 7 อัน ยกเว้นในไก่มีอยู่ 14 อัน ลักษณะของกระดูกสันหลังส่วนคอจะแตกต่างจากกระดูกสันหลังส่วนอื่นๆ เนื่องจากส่วน articular process เจริญดีมาก แต่ส่วนยื่น (process) อื่นเช่น spinous process และ transverse process เจริญเติบโตน้อยมาก การที่ส่วน articular process เจริญเติบโตดี จึงทำให้กระดูกคอเป็นกระดูกที่เคลื่อนไหวได้ดีกว่ากระดูกส่วนอื่นๆ กระดูกคออันแรกที่ติดกับกะโหลกศีรษะเรียกว่า atlas ส่วนชิ้นที่สองเรียกว่า axis กระดูกทั้งสองชิ้นนี้ จะแตกต่างจากกระดูกคอส่วนอื่น เนื่องจากมีขนาดยาวกว่าและมีรูปร่างเป็นแท่งมีเหลี่ยม โดยส่วน process ทั้งสามจะไม่ยื่นยาวออกไปมากนัก แต่จะมีลักษณะเป็นแท่ง กระดูกคอชิ้นที่ 3-7 จะมีขนาดสั้นกว่ากระดูกคอชิ้นที่ 1 และ 2

ข.กระดูกสันหลังส่วนอก จะมีส่วนตัวกระดูก (bodies) ที่สั้นกว่ากระดูกส่วนอื่น และมีส่วนปลายของกระดูกซี่โครงมาเชื่อมต่อ ส่วน spinous process จะมีการเจริญเติบโตดีกว่าส่วนอื่น โดยเฉพาะส่วนของ spinous process ของกระดูกสันหลังที่บริเวณไหล่ จะมีความยาวมากทำให้เกิดส่วนของโหนก (wither) ที่เป็นส่วนแสดงความสูงของสัตว์ ความยาวของ spinous process ของกระดูกสันหลังส่วนอกจะมีขนาดสั้นลงไปเรื่อยๆ จำนวนกระดูกสันหลังส่วนอกจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์

ค.กระดูกสันหลังส่วนเอว มีส่วนของ spinous process สั้น แต่มีความสูงกว่าส่วนท้ายของกระดูกสันหลังส่วนอกตอนท้ายเล็กน้อย ส่วน spinous process จะมีการเอียงไปทางข้างหน้าของลำตัว ส่วนของ transverse process จะมีขนาดใหญ่และแบน

ง.กระดูกสันหลังส่วนสะโพก (ส่วนเชิงกราน) โดยทั่วไปจะมีจำนวนกระดูกและรูปร่างที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ แต่จะมีการต่อเชื่อมกันของกระดูกแต่ละชิ้นและต่อกันเป็นชิ้นใหญ่เรียกว่ากระดูกสะโพก (sacrum) ด้านหน้าของกระดูกจะต่อกับกระดูก lumbar ด้านท้ายติดต่อกับกระดูกหางชิ้นที่ 1 และมีส่วนติดกับปีกของกระดูก ileum

จ. กระดูกสันหลังส่วนหาง หรือเรียกว่ากระดูกหาง รูปร่างของกระดูกจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ขนาดของกระดูกจะเล็กลงไปเรื่อยๆจนถึงปลายหาง

1.3 กระดูกซี่โครงและกระดูกอก กระดูกซี่โครงมีตำแหน่งอยู่ระหว่างกระดูกสันหลังส่วนอกและกระดูกอก (sternum) เป็นกระดูกชนิดแบนที่มีอยู่เป็นคู่ตามจำนวนของกระดูกสันหลังส่วนอกในสัตว์เลี้ยงบางชนิด อาจมีกระดูกซี่โครงชิ้นพิเศษอยู่ทางด้านหน้าหรือด้านท้ายของกระดูกซี่โครงปกติ โดยทั่วไปกระดูกซี่โครงจะเชื่อมต่อกับกระดูกสันหลังส่วนอก ปลายอีกข้างหนึ่งของกระดูกซี่โครงจะต่อกับกระดูกอก (sternum) โดยมีกระดูกอ่อน (costal cartilage) เป็นตัวเชื่อม สำหรับสัตว์เลี้ยงที่มีกระดูกซี่โครงซี่พิเศษทางส่วนท้ายของกระดูกซี่โครงปกติ เช่น สุกร สุนัข และ แมว กระดูกซี่โครงซี่พิเศษนี้จะติดต่อกับกระดูกสันหลังส่วนอกเท่านั้น ไม่มีส่วนเชื่อมต่อกับกระดูกอก

เลย เรียกกระดูกซี่โครงชิ้นพิเศษนี้ว่า flase ribs หรือ asternal ribs และส่วนปลายของกระดูกซี่โครงชนิดพิเศษนี้เรียกว่า floating ribs โดยรอยต่อระหว่างกระดูกซี่โครงแต่ละซี่ เรียกว่า intercostal space ซึ่งจะมีจำนวนนับน้อยกว่าจำนวนกระดูกซี่โครงปกติอยู่ 1 คู่ ส่วนของกระดูกอกเป็นกระดูกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของกระดูก (sternbrae)ประมาณ 3-6 ข้อประกอบขึ้นเป็นตัวกระดูก เรียกว่า beds ส่วนปลายกระดูกที่ต่อกับ costal cartilage เรียกว่า xiphoid process จำนวนกระดูกที่ต่อกับกระดูกอกจะเชื่อมติดกันเมื่ออายุของสัตว์มากขึ้น ในโคมีกระดูกที่มาเชื่อมต่อกันเป็นกระดูกอก 7 ข้อ (sternbraes) ในม้าและในสุนัขมี 8 ข้อ ในสุกรมี 6 ข้อ กระดูกอกเป็นส่วนที่ยึดเกkะของ costal cartilage และกล้ามเนื้ออก การเชื่อมต่อกันระหว่างกระดูกอกและกระดูกซี่โครงโดยผ่าน costal cartilage ทำให้เกิดเป็นช่องอก

2.กระดูกโครงร่างส่วนระยางค์ หรือส่วนที่ยื่นมาจากกระดูกโครงร่างส่วนแกน เป็นกระดูกที่ประกอบด้วยกระดูกระยางค์ส่วนหน้า (fore limb หรือpectoral limb) และกระดูกระยางค์ส่วนหลัง (hind limb หรือ pelvic limb) ซึ่งเป็นกระดูกที่พัฒนามาเพื่อใช้ประโยชน์ในการเคลื่อนไหว การทรงตัวและการรับน้ำหนักของร่างกาย

ก.กระดูกระยางค์ส่วนหน้า สำหรับสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมที่เป็นสัตว์ในฟาร์ม (โค กระบือ แพะ แกะ สุกร และม้า) จะมีส่วนประกอบของกระดูกระยางค์ส่วนหน้าไม่ครบทุกชิ้นเหมือนกับในสัตว์ปีก หรือในสัตว์เลื้อยคลาน โดยเฉพาะกระดูกระยางค์ที่เป็นแกนต่อกับกระดูกสันหลังส่วนอก ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีกระดูกเหลืออยู่เพียงชิ้นเดียวคือกระดูกสะบัก (scapula) ในสัตว์ปีกมีกระดูกอยู่ครบทั้ง 3 ชิ้นคือ กระดูก scapular,coracoid และclavicle กระดูกที่ต่อกับ scapular คือ humerus,radius และ ulna เป็นกระดูกยาวที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของร่างกายและเกิดเป็นส่วนกระดูกขาหน้า

กระดูกสะบัก(scapular) เป็นกระดูกที่มีรูปร่างค่อนข้างแบนคล้ายรูปใบพาย หรือคล้ายรูปสามเหลี่ยม ส่วนปลายของกระดูกสะบักจะเชื่อมต่อกับส่วนปลายของกระดูก humerus หรือ arm bone โดยมีข้อต่อชนิด synovial joint มาต่อเชื่อม แต่ข้อต่อมีการเคลื่อนไหวได้น้อยมากสำหรับในสัตว์เลี้ยง ผิวด้านข้างของกระดูกสะบักจะเห็นเป็นสันกระดูกเป็นทางยาว แบ่งผิวด้านข้างออกเป็น 2 ส่วนคือ ผิวด้านหน้าของสัน (supraspinous forsa) และด้านท้ายของสัน (infraspinous forsa) กระดูกสะบักจะเป็นกระดูกที่มีมัดกล้ามเนื้อมายึดติดหลายมัด มีผลให้ส่วนขาหน้าติดกับส่วนลำตัวได้

กระดูกต้นแขน หรือ ต้นขาหน้า (humerus หรือ arm bone) เป็นกระดูกยาวที่มีความแตกต่างกันในรายละเอียดเพียงเล็กน้อยในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิด ปลายของกระดูกที่ต่อกับกระดูกสะบัก ทำให้เกิดเป็นข้อต่อหัวไหล่ (shoulder joint) ส่วนปลายล่างต่อกับกระดูกยาวของปลายขาหน้า (radius) ทำให้เกิดเป็นข้อต่อข้อศอก (elbow joint)

กระดูกปลายขาหน้า (fore arm) ประกอบด้วยกระดูกยาว 2 ชิ้นคือ radius และ ulna ในสัตว์ทุกชนิดกระดูก radius เป็นกระดูกยาวของส่วนกระดูกปลายขาหน้าที่มีขนาดใหญ่กว่ากระดูก ulna แต่ในสัตว์ปีกจะมีขนาดเล็กกว่า กระดูก radius มีตำแหน่งอยู่ด้านในของส่วนปลายขาหน้าและอยู่ระหว่างกระดูกต้นขาหน้า (humerus) และกระดูกข้อขาหน้า (carpus) กระดูก ulna ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีรูปร่างแตกต่างกันไป ในสัตว์ทุกชนิดจะพบส่วนของ olecranous process ซึ่งเป็นปลายแหลมของข้อศอกได้ ในม้ากระดูก ulna จะเชื่อมต่อกับ radius แต่ในโค แพะ แกะ และสุกร กระดูก ulna จะแยกตัวออกจากกระดูก radius ทำให้กระดูกส่วนนี้ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งแตกต่างจากสุนัขและแมว

กระดูกข้อขาหน้า (carpus) ในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดเกิดจากกระดูกหลายๆชิ้นมาเรียงตัวต่อกันเป็น 2 แถว ได้แก่กระดูกยาวเช่น radial, intermediate และ ulna carpal bones และกระดูกสั้น 4ชิ้น แต่ในสัตว์บางชนิดอาจมีส่วนยื่นไปทางด้านหลังหรือด้านข้างของกระดูกข้อขาหน้าเพิ่มเติมอีก กระดูกฝ่าเท้า (metacarpal bones หรือ cannon bone)เป็นกระดูกที่เชื่อมต่อระหว่างกระดูกข้อขาหน้าและกระดูกนิ้วเท้า ประกอบด้วยกระดูกสั้นๆต่อกันหลายชิ้น มีจำนวนและขนาดแตกต่างกันไปตามชนิดสัตว์กระดูกฝ่าเท้าในโคและแกะเกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่าง3rd และ 4th metacarpal bone โดยมีร่อง ventrical groove เกิดขึ้นด้านหน้ากระดูก cannon bone ในสุกรกระดูก metacarpal bone จะพัฒนาไปทำให้เหลือกระดูกอยู่ 4 ชิ้น และชิ้นที่ 1 จะหดตัวเป็นติ่งและกระดูกที่ใช้รับน้ำหนักตัวคือกระดูกชิ้นที่ 3 และ4

กระดูกนิ้ว (digits หรือ toes fingers) มีจำนวนแตกต่างกันไประหว่าง 1-5 นิ้วขึ้นกับจำนวนกระดูก metacarpal bones สำหรับในโค แพะ แกะ มีกระดูกนิ้ว 2 นิ้ว แต่ในสุกรมีครบทั้ง 5 นิ้ว ในม้า ล่อ ลามีนิ้วเพียง 4 นิ้วประกอบด้วยกระดูกสั้นหลายๆชิ้นมาประกอบกัน

ข.กระดูกระยางค์ส่วนหลัง (hind limb หรือ pelvic limb) ประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้นที่เชื่อมต่อกันที่ส่วน acetabulum(socket) ของ hip bone คือกระดูก ischium,iliumและ pubisการเชื่อมตัวกันของกระดูกทั้งสามชิ้น ทำให้เกิดเป็นกระดูกที่มีรูปร่างไม่แน่นอน เรียกว่า hip bone หรือ os coxae ส่วนของ os coxae แต่ละข้างจะเชื่อมติดกันทางด้านล่าง ทำให้เกิดเป็นข้อต่อแบบ symphysis ซึ่งทำให้มีการเชื่อมต่อของ os coxae แต่ละข้างเกิดเป็นกระดูกชิ้นเดียวเรียกว่า ossa coxarum หรือ pelvis กระดูก ilium เป็นกระดูกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของ os coxae มีรูปร่างคล้ายสามเหลี่ยมไม่แน่นอน ด้านบนแผ่เป็นปีกแบนกว้างเรียกว่า wing of the ilium อยู่ระหว่างส่วน tuber sacral tuber coxae หรือ hock bone กระดูก ischium จะเป็นกระดูกที่มีเนื้อกระดูกส่วนท้ายสุดยื่นนูนออกมามีขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจนเรียกว่า tuber ischii หรือ pin bone ส่วนกระดูก ischium เป็นกระดูกที่ยื่นไปทางด้านหลังและด้านข้างของ acetabulum และเป็นส่วนพื้นของกระดูก pelvis เป็นส่วนใหญ่

กระดูก pelvis เป็นกระดูกระยางค์หลังที่มีขนาดใหญ่ที่สุด ด้านหน้าของพื้นกระดูก pelvis เชื่อมต่อกับกระดูก pubis อีกข้างหนึ่งของ os coxae ทำให้เกิดเป็นข้อต่อแบบ symphysis ขึ้นมา กระดูก pubis , ischium และบางส่วนของ ilium จะเชื่อมต่อกันทำให้เกิดเป็นรู (foramen) ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของร่างกาย เรียกว่า obturater foramen ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของ sciatic nerve แต่ละข้างของ os coxae จะมาเชื่อมต่อกันตรงกลางทางด้านล่างตรงกระดูก pubis ทำให้เกิดเป็น pubic symphysis (symphysis pelvis) ข้อต่อส่วนนี้มีความสำคัญกับสัตว์เพศเมียในขณะที่เกิดการคลอด ข้อต่อนี้มีความสามารถในการยืดตัวออกได้เล็กน้อย ทำให้ช่องเชิงกราน (pelvic canal) ขยายกว้างออกไปได้โดยอิทธิพลของฮอร์โมน relaxin โดยทั่วไปด้านบนของช่องเชิงกรานจะมีกระดูก sacrum มาเชื่อมต่อกันกับส่วนปีกของกระดูก ilium ทั้ง 2 ข้าง

กระดูกต้นขาหลัง (femur) เป็นกระดูกยาวที่อยู่ระหว่างกระดูกข้อต่อสะโพก (hip jiont) และข้อต่อหัวเข่า (stifle joint) ลักษณะส่วนหัวของกระดูกต้นขาหลังจะค่อนข้างกลมและเชื่อมต่อกับส่วนของ acetabulum ของ hip bone เกิดเป็นข้อต่อสะโพก (hip joint) ตัวกระดูกต้นขาหลังมีเนื้อกระดูกขรุขระที่นูนเด่นออกมาเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อขนาดใหญ่ รวมทั้งกล้ามเนื้อสะโพกหลายมัด ด้านปลายของกระดูกต้นขาที่เชื่อมต่อกับกระดูก tibia นอกจากนี้จะมีส่วนที่ไปต่อกับกระดูกสะบ้าหัวเข่า (patella) ต่อจากปลายกระดูกต้นขาหน้ามีกระดูกรูปเมล็ดงา (sesamoid bone)เรียกว่ากระดูกสะบ้าหัวเข่า (patella)

กระดูกแข้ง (tibia) และกระดูกน่อง (fibula) เป็นกระดูกยาวในส่วนของขาหลัง เทียบได้กับส่วน radius และ ulna ของขาหน้า กระดูก tibia จะมีขนาดใหญ่กว่ามาก โดยกระดูก fibula จะเกาะอยู่กับ tibia ทางด้านข้าง ด้านปลายบนของกระดูก fibula จะเชื่อมต่อกับกระดูก femor ทำให้เกิดเป็นข้อต่อ stifle joint ปลายล่างของกระดูก tibia จะเชื่อมต่อกับกระดูกข้อเท้าหลัง (tarsus หรือ hock) โดยมีข้อต่อเรียกว่า hock joint

กระดูกข้อเท้าหลัง (tarsus หรือ hock) ประกอบด้วยประกอบด้วยกระดูกสั้นเรียงกันเป็น 2 แถวคือ talus หรือ tibial tarsal bone และ calcaneum หรือ fibula tarsal bone โดยส่วนของ calcaneum เป็นส่วนข้อเท้าหลังที่ทำหน้าที่ให้กล้ามเนื้อมายึดเกาะทำให้เกิดเป็นข้อเท้าขึ้นมา ในม้าจะมีกระดูกสั้นเรียงตัวกันเป็น 3 แถว

กระดูกฝ่าเท้าหลัง (metatarsus) เป็นกระดูกที่อยู่ระหว่างกระดูกข้อเท้าและกระดูกนิ้วเท้าในสัตว์เลี้ยงส่วนใหญ่เป็นกระดูกชนิดยาว รูปร่างคล้ายกับกระดูกฝ่าเท้าหน้า มีจำนวนกระดูกแตกต่างกันตามชนิดของสัตว์

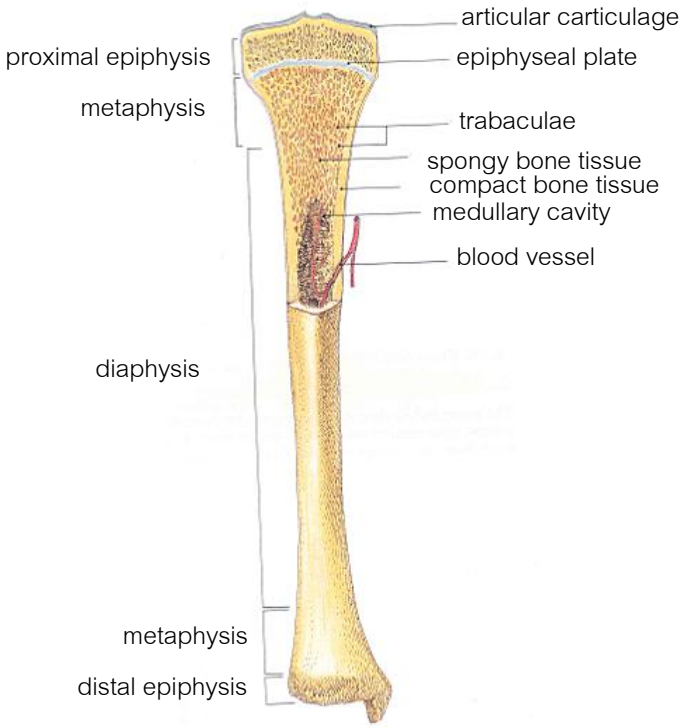
กระดูกนิ้วเท้า (digits) กระดูกนิ้วเท้าหลังจะมีจำนวนเท่ากับกระดูกนิ้วเท้าหน้า ในสุกรมีนิ้วเท้าขาหลัง 4 นิ้ว คือนิ้วที่ 2,3,4 และ 5 โดยนิ้วที่ 3และ 4 เป็นนิ้วที่มีขนาดใหญ่ และทำหน้าที่ใน

การรับน้ำหนักของร่างกายส่วนท้าย แต่โคและแกะมีนิ้วเท้าขาหลังเพียง 2 นิ้ว คือนิ้วที่ 3 และ 4 เท่านั้น

3.กระดูกที่พบในเนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม พบได้ในสัตว์เลี้ยงบางชนิดเท่านั้น เช่นในสุกร พบกระดูกที่เนื้อเยื่ออ่อนนุ่มของกระดูก os rostri ในสุนัขพบได้ในส่วนองคชาตเรียกว่า os penis และในสัตว์ปีกพบได้ใน sclera ของลูกตา เรียกว่า scleral ring เป็นต้น

กายวิภาคและจุลกายวิภาคของกระดูก

กระดูกยาวประกอบด้วยตัวกระดูก (shaft หรือ diaphysis) และส่วนปลายกระดูกทั้งสองข้างเรียกว่า epiphysis ส่วน epiphysis เป็นส่วนของกระดูกที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของกระดูกยาว มีเนื้อกระดูกคล้ายฟองน้ำ (spongy bone หรือ cancellus bone)ปรากฏอยู่ ในสัตว์ที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ บริเวณระหว่างตัวกระดูกและปลายกระดูกทั้งสองข้างจะมีส่วน metaphysis ซึ่งมีแนวกระดูกอ่อนเรียกว่า epiphyseal plate หรือ epiphyseal cartilage เป็นบริเวณที่กระดูกมีการเจริญเติบโตทางด้านยาว ในสัตว์ที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะไม่ปรากฏส่วนนี้ให้เห็น epiphysis ทั้งสองข้างของกระดูกยาวจะถูกห่อหุ้มด้วยกระดูกอ่อน (articular cartilage หรือ hyaline cartilage) ซึ่งเป็นส่วนปลายของกระดูกที่จะเกิดเป็นข้อต่อ ส่วนตัวกระดูกจะถูกหุ้มด้วยเยื่อบางๆเรียกว่า periosteum บริเวณนี้จะมีเซลล์กระดูก osteoblast ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเนื้อกระดูกเพื่อซ่อมแซมส่วนของกระดูกที่เกิดการแตกหัก ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วจะไม่ปรากฏส่วน perisoteum ในสัตว์ที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่ ส่วน periosteum จะทำให้เนื้อกระดูกมีการเจริญทางด้านกว้างของตัวกระดูก



ภาพที่ 4.4 ส่วนประกอบของกระดูกยาว

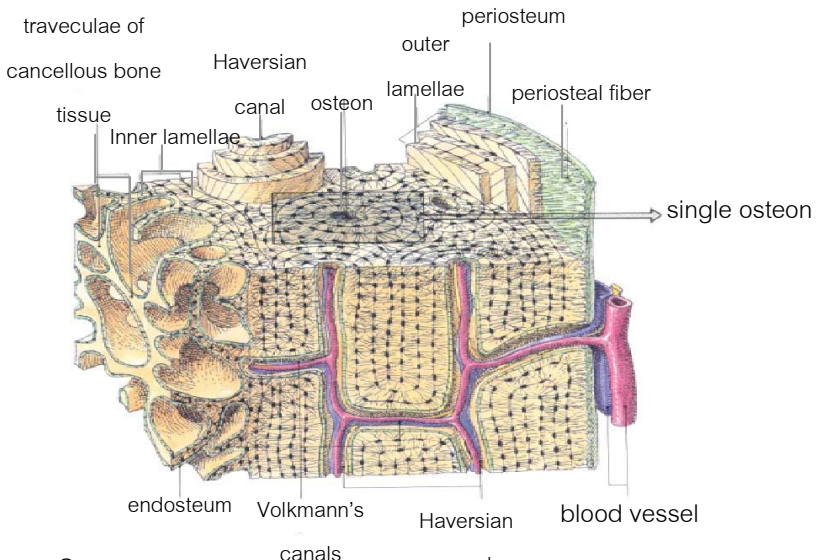
ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992

กระดูกยาวเมื่อนำมาผ่าออกตามแนวความยาว จะพบว่าตรงกลางตัวกระดูกจะมีโพรงเรียกว่าโพรงกระดูก (medullary cavity หรือ marrow cavity) ซึ่งบุด้วยเยื่อบุผิวรอบช่องของโพรงกระดูกเรียกว่า endosteum โดยทั่วไปเนื้อกระดูกที่ล้อมรอบโพรงกระดูกเป็นเนื้อกระดูกชนิดเนื้อแน่น(compact bone) ถัดออกจากเนื้อกระดูกออกไปเป็นส่วนเยื่อหุ้มกระดูกเรียกว่า periosteum ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วส่วน periosteum ของกระดูกจะหายไป บริเวณ epiphysis จะเป็นกระดูกที่มีรูพรุนและโปร่ง (compact bone) บริเวณนี้จะมีช่องทางติดต่อกับโพรงกระดูกที่มีไขกระดูกสีแดงบรรจุอยู่ในช่องเล็กๆเรียกว่า marrow space เยื่อบางๆที่หุ้มโพรงกระดูกเรียกว่า endosteum มีหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างเม็ดเลือดพวก RBC, WBC, leucocyte, erythrocyte และ platelet ส่วนไขกระดูกสีแดงพบได้ในกระดูกของสัตว์ที่ยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่เท่านั้น

เมื่อนำชิ้นกระดูกขาซึ่งเป็นกระดูกยาวมาเลื่อยออกเป็นชิ้นเล็กๆบางๆ และนำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ตรงส่วนของกระดูกเนื้อแน่น จะเห็นได้ว่าเนื้อกระดูกจะมีรู(ท่อ)เล็กๆกระจายอยู่ทั่วไป เรียกว่า haversian canal ซึ่งเป็นช่องทางผ่านของเส้นเลือด เส้นน้ำเหลืองฝอยและเส้นประสาทที่มาหล่อเลี้ยงกระดูก แต่ละ haversian canal ซึ่งเป็นท่อทางผ่านของเส้นเลือด เส้นน้ำเหลืองและเส้นประสาทจะมีวง (lamella) ล้อมรอบอยู่ บนแนววงจะมีแอ่ง (lacuna) แทรกอยู่เป็นระยะ ซึ่งมีเซลล์กระดูก (osteocyte) ฝังตัวอยู่ในแอ่ง การเรียงกันเป็นวงของ lamella เกิดจาก

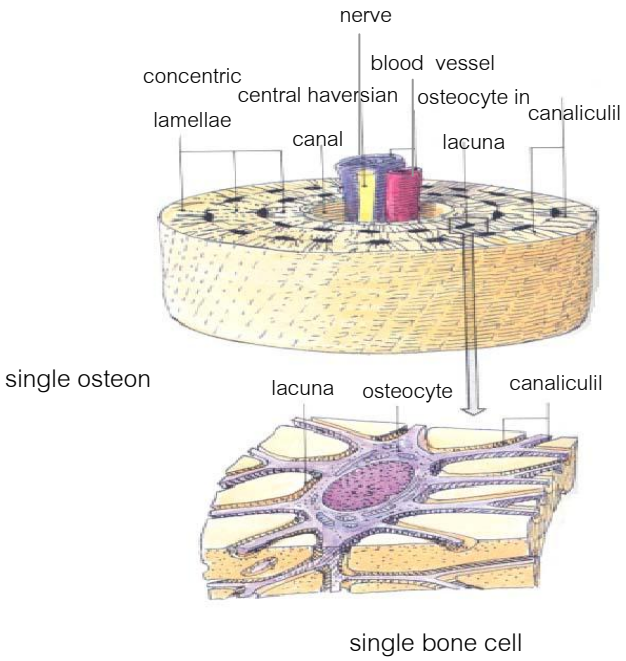
การจัดเรียงอย่างเป็นระเบียบของ collagen fiber ที่อยู่ภายใน matrix กลุ่ม fiber เหล่านี้จะมีการเรียงตัวขนานกันและซ้อนกันเป็นชั้นๆ และแต่ละชั้นของ fiber ที่เรียงตัวกันจะวางเรียงซ้อนกันในลักษณะบิดเป็นเกลียวแบบมีทิศทางตรงกันข้าม ทำให้เกิดเป็นวง (lamella) ขึ้น โดยทั่วไปวงที่ล้อมท่อ haversian canal จะเรียงซ้อนกันหลายชั้น การจัดเรียงตัวกันของเนื้อกระดูกเป็นวงๆเรียงซ้อนกันเรียกว่า haversian system หรือ osteon โดยใน 1 harversian system จะประกอบด้วยวง (lamella) เรียงซ้อนกันหลายๆชั้นรอบ harversian canal บนแนวของวง (lamella) จะมีแอ่ง (lacuna) แทรกตัวอยู่เป็นระยะๆ ภายในแอ่งจะมีเซลล์กระดูก (osteocyte) ฝังตัวอยู่แต่ละแอ่ง (lacuna) จะมีท่อเล็กๆเรียกว่า canaliculi ยื่นกระจายออกมาเป็นรัศมีเชื่อมต่อระหว่างแอ่งในแต่ละวงเข้าด้วยกัน นอกจากนี้ lacuna ที่อยู่บน lamella วงในสุดของ harversian system ยังมีการเชื่อมต่อกับ harversian canal ด้วย ทำให้มีการเชื่อมต่อกันภายใน harversian system แต่ละอันแต่ละ harversian system จะติดต่อกันโดยผ่านแขนงของ harversian canal ที่ทอดตัวเชื่อมต่อระหว่าง harversian canal ที่อยู่ใกล้กัน โดยไม่ติดต่อผ่านทาง canaliculi

เส้นเลือดฝอยที่มาหล่อเลี้ยงเนื้อกระดูกและผ่านเข้ามาภายใน harversian canal จะทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหาร ออกซิเจน และรับของเสียจากเซลล์ที่อยู่ภายใน lacuna โดยผ่านทาง canaliculi ที่มีแขนงของเซลล์กระดูก osteocyte อยู่ แต่ละ harversian canal มีช่องทางติดต่อกับภายนอกและภายในโพรงกระดูก (marrow cavity) โดยผ่านทางท่อแนวขวางหรือแนวเฉียงๆ ซึ่งแทงทะลุเข้าไปในเนื้อกระดูกไปติดต่อกับ harversian canal โดยตรงเรียกช่องทางผ่านนี้ว่า volkmann's canal ท่อ volkmann's canal จะไม่มี concentril lamellar ล้อมรอบอยู่ แต่ละ harversian system มีเส้นแบ่งขอบเขตของ harversian canal เรียกว่า cementing substance เป็น mineralized matrix ที่มี collagen fiber อยู่เล็กน้อยล้อมรอบอยู่



ภาพที่ 4.5 จุลกายวิภาคของกระดูกยาว

ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992



ภาพที่ 4.6 **ส่วนประกอบของ** single osteon **และ** single bone cell **ในกระดูกยาว**

ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992

กระดูกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษที่สำคัญของร่างกายสัตว์มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนคือ เซลล์กระดูกมี 3 ชนิดคือ osteoblast, osteocyte และ osteoclast นอกจากเซลล์กระดูกแล้วจะมีสารประกอบที่อยู่ระหว่างกระดูก (bone matrix หรือ extracellular matrix)ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มากมาย นอกจากนี้ยังมีส่วนของของเหลว เช่นน้ำเลือดและน้ำเหลืองไปหล่อเลี้ยงตลอดเวลา กระดูกเป็นอวัยวะที่มีกิจกรรมทั้งการสังเคราะห์และการทำลายเพื่อดึงแคลเซียมไปในประโยชน์ในกิจกรรมต่างๆในร่างกาย

1.osteoblast เป็นเซลล์กระดูกที่ทำหน้าที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ของ bone matrix และการสะสมของสารอนินทรีย์ของเนื้อกระดูก bone matrix ที่ถูก osteoblast สังเคราะห์ขึ้นมาใหม่และยังไม่มีการสะสมของแคลเซียม (calcification) เรียกว่า osteoid

2.ostecyte เป็นเซลล์กระดูกที่โตเต็มที่จะพบอยู่ในแอ่งหรือช่องเล็กๆเรียกว่า lacuna เซลล์กระดูกประเภทนี้จะไม่มีการแบ่งตัวอีก แต่จะทำหน้าที่รักษา matrix ของกระดูกและเกี่ยวข้องกับการสลายเนื้อกระดูก (osteolysis) และปลดปล่อยแคลเซียมออกไปสู่กระแสเลือด

3.osteoclast (bone eating cell) ทำหน้าที่ย่อยสลายส่วนของกระดูกเพื่อตบแต่งรูปร่างของกระดูก โดยจะหลั่งเอ็นไซม์หลายชนิด ทำให้มีการย่อย collagen และมีการละลายของผลึกแคลเซียมออกจากกระดูก

bone matrix หรือ extracellular matrix ประกอบด้วย organic matrix และ inorganic matrix เป็นส่วนที่เซลล์กระดูกสร้างขึ้นมาส่วนของ organic matrix ประกอบด้วย ground

substance ที่สำคัญได้แก่ chondroitin sulfate , hyaluronic acid และ collagen fiber ส่วน inorganic matrix ประกอบด้วยแร่ธาตุและสารอินทรีย์ต่างๆ แร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ แคลเซี่ยม ฟอสฟอรัส เป็นส่วนใหญ่โดยรวมตัวกันอยู่ในรูปของผลึกบางๆ เรียกว่า hydrxyapatite crystral ผลึกเหล้านี้จะเกาะอยู่บนเส้นใยและแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ อัตราส่วนระหว่าง organic matrix และ inorganic matrix ในกระดูกจะเปลี่ยนแปลงตามอายุของสัตว์ เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้น inorganic matrix จะมีสัดส่วนมากขึ้น

กระดูกอ่อน (cartilage)

กระดูกอ่อนเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษชนิดหนึ่ง มีความแข็งแรงแต่บิดงอได้ ประกอบด้วยเซลล์กระดูกอ่อน (chondrocyte) และ extracellular matrix ที่ประกอบด้วยเส้นใย (fiber)พวกคลอลาเจน และอีลาสติน และ สารที่ทำให้กระดูกอ่อนมีคุณสมบัติเหนียวและยืดหยุ่นได้ (gel like substance) เนื้อกระดูกอ่อนจะไม่มีเส้นเลือดผ่านเข้ามาหล่อเลี้ยงโดยตรง เช่นเดียวกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดอื่นๆ แต่จะได้รับเลือดจากการแพร่ของเลือดจากเส้นเลือดที่อยู่บริเวณใกล้เคียงผ่านเข้ามาทาง extracellular matrix ของกระดูกอ่อน นอกจากนี้ยังไม่พบส่วนของเส้นน้ำเหลืองและเส้นประสาทที่กระดูกอ่อนด้วย

เซลล์กระดูกอ่อน (chondrocyte หรือ cartilage cell) ทำหน้าที่สร้างส่วนประกอบของ matrix เช่น collagen, proteoglycans และ hyaluronic acid เป็นต้น การทำงานของเซลล์กระดูกอ่อนถูกควบคุมโดยฮอร์โมนหลายชนิดเช่น GH, thyroxine และ testosterone เป็นต้น กระดูกอ่อนสามารถแบ่งตามชนิดของเส้นใยและลักษณะของ extracellular matrix ที่เป็นส่วนประกอบได้ 3 ประเภทคือ hyaline cartilage, elastic cartilage และ fibrocartilage เป็นต้น hyaline cartilage เป็นกระดูกอ่อนชนิดที่พบได้มากที่สุดในร่างกายทำหน้าที่เกี่ยวกับการลดการเสียดสี มีลักษณะเรียบและลื่น มีเส้นใยที่มีคลอลาเจนชนิดละเอียดปนอยู่ กระดูกอ่อนชนิดนี้พบได้ที่กระดูกซี่โครงส่วน costal cartilage ที่ยึดกระดูกซี่โครงกับกระดูกอก กระดูกอ่อนรูปวงแหวนของท่อทางเดินหายใจ (tracheal ring)และกระดูกตรงปลายกระดูกยาวทั้งสองข้าง (articular cartilage) รวมทั้งส่วน epiphyseal plate ของกระดูกที่กำลังเจริญเติบโต (growing bone) elastic cartilage เป็นกระดูกอ่อนที่มีความเหนียวหรือยืดหยุ่นดี เนื่องจากมี elastic fiber เป็นส่วนประกอบอยู่ในเนื้อกระดูกมาก (matrix) ส่วนelastic cartilage จะพบได้ที่ส่วนใบหู (pinna) epiglottis ท่อในช่องหู (auditory tubes)และที่กระดูกอ่อนบางชนิดของกล่องเสียง ส่วน fibrocartilage หรือ fibrous cartilage เป็นกระดูกอ่อนที่มีเส้นใยคลอลาเจนมากมีเซลล์กระดูกอ่อนน้อย เป็นกระดูกอ่อนที่รับแรงกดได้มากและยืดหยุ่นได้น้อยพบได้ในส่วนของร่างกายที่ต้องรับแรงกดมากและพบอยู่ร่วมกับ

firous tissue เช่น บริเวณ intervertebral disc symphysis pubis memiscus ตามข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ (synovial joint) เป็นต้น

ข้อต่อ (joints)

ข้อต่อเป็นส่วนโครงร่างของร่างกายที่เกิดขึ้นตรงบริเวณที่มีกระดูกมาต่อกัน หรือมีกระดูกมาต่อกับกระดูกอ่อน (articular cartilage) บริเวณนี้จะมีผังผืดที่เป็นเนื้อเยื่อสีขาว(ligament) มีความเหนียวกว่าเอ็น (tendon) เป็นส่วนมายึดให้เชื่อมต่อกัน บางข้อต่ออาจมีส่วนของกระดูกอ่อนชิ้นเล็กๆมาช่วยยึดกระดูกไว้ หรืออาจมีปลอก (capsule)มาห่อหุ้มไว้เรียกว่า joint capsule ภายในข้อต่ออาจมีของเหลวที่ผลิตจากเซลล์เยื่อบุผิวของผนังภายในปลอกนั้น เพื่อทำหน้าที่ในการหล่อลื่นให้ข้อต่อเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น โดยทั่วไปข้อต่อจะทำหน้าที่ประสานกับเอ็นที่ยึดกับกระดูกทำให้เกิดเป็นรูปร่างของสัตว์ นอกจากนี้ทำหน้าที่ในการรับน้ำหนักร่างกายและเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของร่างกาย สามารถแบ่งข้อต่อออกตามตามสามารถในการเคลื่อนไหวเป็น 3 กลุ่มคือ

1.synarthrose joint หมายถึงข้อต่อชนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เลย ข้อต่อประเภทนี้มักเป็นข้อต่อที่ไม่มีช่องว่าง (joint cavity) และต่อเชื่อมกระดูกทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกันด้วย fibrous connective tissue หรือ กระดูกอ่อน ได้แก่ ข้อต่อsutureo, syndesmous, synchodroses, symphysis และ pomphoses เป็นต้น

2.amphiarthrose joint หมายถึงข้อต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย เป็นข้อต่อที่ยึดกระดูกไว้ด้วยกระดูกอ่อนเป็นส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ articular surface, articular cartilage, joint capsule และ joint cavity ข้อต่อชนิดนี้จะมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันไปขึ้นกับรูปร่างของข้อต่อ หรือขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนไหวของข้อต่อได้แก่ glinding joint (arthrodia) enarthrose (ball and socket joint) เป็นต้น

3.diarthrose joint หมายถึงข้อต่อที่มีการเคลื่อนไหวได้ดี เป็นข้อต่อที่พบมากในร่างกายส่วนต่างๆของสัตว์เลี้ยง ข้อต่อชนิดนี้มีโครงสร้างที่ประกอบด้วย articular cartilage, joint capsule ที่เป็น dense fibrous connective tissue, ในส่วน articular capsule บุด้วย synovial membrane โดยส่วนของ synovial membrane จะทำหน้าที่สร้างของเหลวที่หล่อเลี้ยง articular cartilage และหล่อลื่นข้อต่อ (synvial fluid) เช่น synovial joint

การเคลื่อนไหวของข้อต่อ

ข้อต่อในร่างกายที่มีการเคลื่อนไหวอย่างอิสระ ลักษณะการเคลื่อนไหวมีได้หลายแบบเช่น การเคลื่อนไหวไปข้างหน้า ข้างหลัง (glinding) การงอข้อต่อ (flexion) การยืดข้อต่อ (extension) การหมุนรอบตัว (rotation) การกางข้อต่อ (adduction) การหุบข้อต่อ (abduction) การยืดตัวอย่างเต็มที่ของข้อต่อ (hyperextension) และการเคลื่อนที่ได้รอบทิศทาง (circumduction)

ข้อต่อในร่างกายสามารถแบ่งออกตามลักษณะการยึดต่อกันของหน้ากระดูกได้แบ่งเป็น 3 ประเภทคือ

1.fibrous joint เป็นข้อต่อที่หน้าต่อของกระดูกยึดติดกันด้วย fibrous connective tissue ไม่มีช่องว่างภายในข้อกระดูก และสามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อยหรือแทบจะเคลื่อนไหวไม่ได้เลยมี 3 แบบได้แก่

ก.suture เป็นข้อต่อที่พบที่รอยต่อของกะโหลกศีรษะ ในขณะที่สัตว์อายุน้อย suture บางแห่งอาจมีการเคลื่อนไหวได้บ้าง แต่เมื่อสัตว์มีอายุมากขึ้นจะมีกระดูกเข้ามาแทนที่ กลายเป็นข้อต่อที่ติดกันสนิทไม่สามารถเคลื่อนไหวได้เลย ได้แก่ข้อต่อระหว่าง occipital bone และ parietal bone ส่วนของ suture เป็นข้อต่อแบบ synarthroses

ข.syndesmosis เป็นที่อยู่ระหว่างปลายกระดูกที่อยู่ห่างกันพอสมควร และยึดติดกันด้วย fibrous tissue เช่นข้อต่อระหว่างตัวกระดูก radius ulna เป็นข้อต่อแบบ amphiarthrose

ค.gomphosis เป็นข้อต่อที่พบที่รากฟัน ยึดติดกับ bony socket ของกระดูก maxilla และ mandible ด้วย periodential ligament จัดเป็นข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้

2.cartilagenous joint เป็นข้อต่อที่หน้าต่อของกระดูกยึดติดกันด้วยกระดูกอ่อน (cartilage) ไม่มีช่องว่างในข้อต่อ เคลื่อนไหวได้เล็กน้อยหรือไม่ได้มี 2 แบบ

ก.synchondrosis เป็นข้อต่อที่ยึดกระดูกยาว 2 ชิ้นไว้ด้วยกันโดย hyaline cartilage จัดเป็นข้อต่อที่พบชั่วคราว เมื่อสัตว์เจริญเติบโตเต็มที่จะมีเซลล์กระดูกมาแทนที่ หรือเปลี่ยนเป็นกระดูก จะพบข้อต่อนี้บริเวณ epiphyseal plate ที่เป็นข้อต่อระหว่าง epiphysis และ diaphysis หรือที่ costal cartilage ของกระดูกซี่โครงที่ 1 ต่อกับกระดูกอก (sternum) ข้อต่อนี้จะไม่ถูกเปลี่ยนเป็นกระดูกเมื่อสัตว์โตเต็มที่

ข.symphysis เป็นข้อต่อที่หน้าต่อกระดูกเชื่อมต่อกันด้วย fibrocartilage เคลื่อนไหวได้เล็กน้อยมักพบตามแนวกลางลำตัว

3.synovial joint เป็นข้อต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้สะดวกที่สุดมีลักษณะเฉพาะคือ

ก.มีarticular cartilage ที่เป็นชั้นบางๆ ของ hyaline cartilageคลุมอยู่ที่ส่วนปลายของกระดูกที่มาต่อกันเป็นข้อต่อ

ข.มีfibrous capsule เป็น dense connective tissue ยึดต่อระหว่างขอบของหน้าต่อกระดูกและถูกเสริมให้แข็งแรงทางด้านนอกด้วย ligament ที่มีชื่อเรียกต่างๆกัน

ค.มี joint cavity ซึ่งเป็นช่องว่างภายใน fibrous capsule อาจเรียกว่า synovial cavity

ง.มี synovial membrane บุอยู่ด้านในของ fibrous capsule ทำหน้าที่สร้าง synovial fluid เป็นของเหลวที่ช่วยหล่อลื่นข้อต่อและนำสารต่างๆมาเลี้ยงกระดูกอ่อน (cartilage)

synovial joint ของร่างกายบางแห่งอาจถูกเสริมให้มีความแข็งแรงมากขึ้น โดยมี fibrocartilage จากส่วน articular capsule แผ่ขยายเข้าไปใน joint cavity กลายเป็น articular cartilage

บทที่ 5
ระบบกล้ามเนื้อ
Muscular system

ระบบกล้ามเนื้อมีความสำคัญในการศึกษาด้านกายวิภาคศาสตร์สัตว์ เนื่องจากร้อยละ 50 ของน้ำหนักตัวสัตว์ หรือมากกว่า ประกอบไปด้วยส่วนของกล้ามเนื้อชนิดต่างๆได้แก่กล้ามเนื้อลาย (striated muscle หรือ striped muscle หรือ skeleton muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle หรือ visceral muscle) และ กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) กล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นกล้ามเนื้อที่มีปริมาณมากที่สุดในร่างกาย โดยจะเป็นส่วนประกอบของโครงร่าง กล้ามเนื้อทุกชนิดในร่างกายจะมีคุณสมบัติโดยทั่วไปหลายๆอย่างที่เหมือนกัน มีบางชนิดเท่านั้นที่มีคุณสมบัติพิเศษออกไป คุณสมบัติโดยทั่วไปของกล้ามเนื้อได้แก่ การไวต่อการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (irritability หรือ excitability) การหดตัว (contractility) การคลายตัวหรือยืดตัว (extensibility) และการมีความสามารถในการนำไฟฟ้า (conductibility และ electrogenesis) เพื่อส่งกระแสประสาท หรือกระแสความรู้สึกเช่นเดียวกับเซลล์ประสาท กล้ามเนื้อทุกชนิดในร่างกายมีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับการหดตัว (contraction) และการคลายตัว (relaxation) เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวของอวัยวะหรือการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆของร่างกายไปในทิศทางต่างๆ การหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อลายที่เป็นส่วนประกอบของขาหน้าและขาหลัง จะทำให้ร่างกายมีการเคลื่อนไหวในทิศทางต่างๆ ส่วนการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบของระบบทางเดินอาหาร จะมีผลให้อาหารที่กินเข้าไปเคลื่อนตัวไปตามส่วนต่างๆของระบบทางเดินอาหารได้ หรือการหดตัวและการคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจมีส่วนช่วยในการนำอาหารและออกซิเจนไปตามส่วนของร่างกายผ่านทางระบบการไหลเวียนของเลือดได้

ประเภทของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อในร่างกายของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆกัน โดยใช้หลักเกณฑ์ในการแบ่งประเภทของกล้ามเนื้อ เช่น การแบ่งตามตำแหน่งบนร่างกาย การแบ่งตามรูปร่างที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ หรือการแบ่งตามการทำงานของร่างกาย ดังนี้

1.การแบ่งตามตำแหน่งบนร่างกาย เช่นกล้ามเนื้อออก กล้ามเนื้อขาหน้า และกล้ามเนื้อท้อง

2.การแบ่งตามรูปร่างที่เห็นเมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์ สามารถแบ่งกล้ามเนื้อออกเป็นกล้ามเนื้อลาย กล้ามเนื้อเรียบ และกล้ามเนื้อหัวใจ เป็นต้น

3.การแบ่งตามการควบคุมการทำงานของร่างกาย สามารถแบ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย เช่นกล้ามเนื้อโครงสร้างหรือกล้ามเนื้อลายที่เป็นกล้ามเนื้อที่ยึดเกาะกระดูกโครงร่างของร่างกายสัตว์ กล้ามเนื้อเรียบที่เกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของอวัยวะภายใน และกล้ามเนื้อหัวใจที่ควบคุมการเต้นของหัวใจ โดยกล้ามเนื้อเรียบและกล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ เป็นต้น

กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle)

กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ (involuntary muscle) มักเป็นส่วนประกอบที่บุอยู่ที่ผนังของอวัยวะภายในของร่างกาย เช่นผนังท่อทางเดินอาหาร ผนังท่อในระบบขับถ่าย ตามผนังของระบบสืบพันธุ์ และเป็นส่วนประกอบของผนังเส้นเลือดและต่อมต่างๆ กล้ามเนื้อเรียบจะถูกกระตุ้นหรือถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ เมื่อเปรียบเทียบกับกล้ามเนื้อลายและกล้ามเนื้อหัวใจแล้ว กล้ามเนื้อเรียบจะเป็นกลุ่มของกล้ามเนื้อที่มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงน้อย เซลล์ของกล้ามเนื้อเรียบจัดเป็นเซลล์กล้ามเนื้อที่มีรูปแบบง่ายๆไม่ซับซ้อนเท่ากับในกล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อหัวใจ มีรูปร่างยาวมีปลายทั้งสองข้างเรียวแหลมขณะที่ตรงกลางเซลล์จะป่องออกเป็นบริเวณที่มีนิวเคลียส จึงดูคล้ายรูปกระสวย (spindle) เซลล์จะเรียงตัวติดกันแบบไม่เป็นระเบียบ จึงทำให้ไม่เห็นว่าเป็นลาย ความยาวของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบจะต่างกันๆไปขึ้นกับอวัยวะที่เป็นส่วนประกอบ เซลล์กล้ามเนื้อเรียบเป็นเซลล์ชนิดเดี่ยวๆ มีนิวเคลียสรูปไข่เพียง 1 อัน อยู่ตรงกลางเซลล์ ไซโตพลาสซึมของเซลล์เรียกว่า ซาร์โคพลาสซึม (sarcoplasm) แต่ละเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ (muscle fiber) มีเยื่อหุ้มเซลล์เรียกว่าซาร์โคเล็มม่า (sarcolemma) กล้ามเนื้อเรียบจะหดตัวได้ช้ากว่ากล้ามเนื้อลาย เนื่องจากมีการเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบของโปรตีนในเซลล์กล้ามเนื้อ และมีซาร์โคพลาสมิกเร็คติกคูลั่ม(sarcoplasmic reticulum) ที่เจริญเติบโตไม่ดีเท่ากับกล้ามเนื้อลาย จึงทำให้ Ca^{++} ที่จำเป็นต่อการหดตัวของกล้ามเนื้อต้องซึมผ่านซาร์โคเล็มม่าเข้ามาจากภายนอก แล้วจึงกระจายเข้าไปในซาร์โคพลาสซึม การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบเกิดขึ้นจากการกระตุ้นของระบบประสาทอัตโนมัติทั้งชนิด sympathetic และ parasympathetic nerve โดยมีผลในทางตรงข้ามกัน กล้ามเนื้อเรียบสามารถตอบสนองต่อสารเคมีเช่น atropine sulfate และรวมทั้งสารเคมีที่ผลิตจากเซลล์ประสาท เช่น acetylcholine และ epinephrine

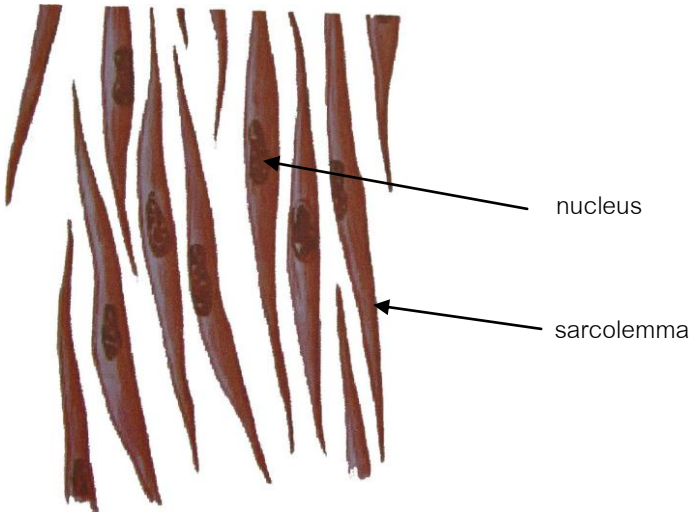
กล้ามเนื้อเรียบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1.กล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะภายใน (visceral smooth muscle) เป็นกล้ามเนื้อเรียบที่พบมากที่สุดในร่างกายของสัตว์เลี้ยง พบตามผนังท่อทางเดินอาหาร ผนังท่อทางเดินปัสสาวะและผนังท่อของระบบสืบพันธุ์ กล้ามเนื้อชนิดนี้จะมีการเรียงตัวกันแบบพิเศษ เนื่องจากส่วนหนึ่งของซาร์

โคเล็มม่าของแต่ละเซลล์กล้ามเนื้อจะเชื่อมต่อกันโดยส่วนที่เรียกว่า nexus หรือ tight junction ส่วนของ nexus เป็นส่วนที่มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ จึงมีความสำคัญในการทำให้คลื่นไฟฟ้าจากเซลล์หนึ่งแผ่กระจายไปกระตุ้นเซลล์อื่นได้ ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์กล้ามเนื้อดังกล่าวมีผลให้มีเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยงได้น้อยมาก ซึ่งต่างจากเซลล์กล้ามเนื้อลาย

2. กล้ามเนื้อเรียบแบบ multiunit smooth muscle กล้ามเนื้อเรียบชนิดนี้มีประมาณ 1 % ของกล้ามเนื้อเรียบทั้งหมดในร่างกาย เป็นกล้ามเนื้อเรียบชนิดที่ไม่มี nexus แต่มีเส้นประสาทมาหล่อเลี้ยงทุกเซลล์เช่นเดียวกับเซลล์กล้ามเนื้อลาย จึงมีลักษณะการหดตัวแบบเดียวกับกล้ามเนื้อลาย แต่ยังคงเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ กล้ามเนื้อเรียบชนิดนี้พบได้ที่ม่านตา และที่ชั้นนอกผิวหนัง

กล้ามเนื้อเรียบเป็นกล้ามเนื้อที่มีคุณสมบัติเฉพาะ ได้แก่การมีคุณสมบัติในการปรับตัวตามแรงยืด (plasticity หรือ receptive relaxation) คุณสมบัตินี้ของกล้ามเนื้อเรียบจะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงดันหรือเมื่อกล้ามเนื้อเรียบได้รับสิ่งใดมากดหรือผ่าน เช่นกระเพาะอาหารที่มีอาหารเข้าไปอยู่จนเต็ม หรือมดลูกที่มีตัวอ่อนอยู่ในขณะที่มีการตั้งท้อง กล้ามเนื้อเรียบจะคลายตัวทำให้มีขนาดเพิ่มขึ้นหรือเพิ่มขนาดได้ คุณสมบัติหดตัวได้เอง (automaticity) เป็นคุณสมบัติพิเศษอีกอย่างหนึ่งของกล้ามเนื้อเรียบ เนื่องจากมีกลุ่มเซลล์พิเศษเรียกว่า pace maker ที่ผลิตกระแสไฟฟ้ามากระตุ้นให้กล้ามเนื้อเรียบหดตัวได้

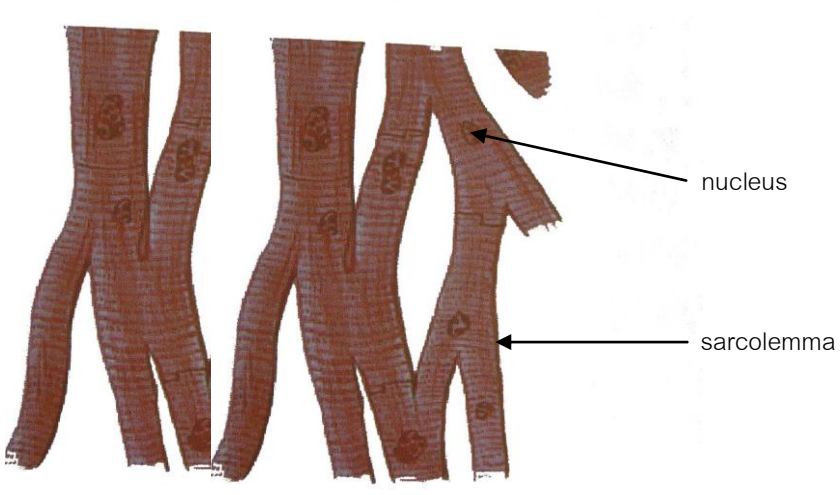


ภาพที่ 5.1 กล้ามเนื้อเรียบ

กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle)

กล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อที่พัฒนามาจากชั้น mesoderm ของกลุ่มเซลล์ที่จะเจริญเป็นหัวใจ(primitive heart tube) จัดเป็นกล้ามเนื้อลายชนิดหนึ่ง เนื่องจากเซลล์เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีลายเช่นเดียวกับที่พบในกล้ามเนื้อลาย แต่กล้ามเนื้อหัวใจมีลักษณะหลายอย่างที่แตกต่างไปจากกล้ามเนื้อลายและมีลักษณะบางอย่างเหมือนกล้ามเนื้อเรียบ เซลล์แต่ละเซลล์ของกล้ามเนื้อหัวใจจะไม่แยกออกเป็นเซลล์เดี่ยวๆ แต่จะมีส่วนเชื่อมต่อกันคล้ายตาข่าย ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของกล้ามเนื้อหัวใจ เรียกว่า syncytial arrengment มีเซลล์กล้ามเนื้อขนาดเล็กกว่ากล้ามเนื้อลาย แต่มีส่วนของ
ไมโตคอนเดรียมากกว่า กล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อที่ไม่อยู่ในอำนาจจิตใจ ทำงานภายใต้การควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติ กล้ามเนื้อหัวใจมีการทำงานอย่างไม่มีหยุดพัก มีทั้งการหดตัวและการคลายตัวสลับกันไป การหดตัวเรียกว่า systole การคลายตัวเรียกว่า diastole กล้ามเนื้อหัวใจเรียกว่า myocardium เป็นกล้ามเนื้อส่วนใหญ่ของหัวใจ กล้ามเนื้อหัวใจมีเส้นเลือดและเส้นน้ำเหลืองมาหล่อเลี้ยงมากมาย โดยเฉพาะระบบเลือดที่มาหล่อเลี้ยงหัวใจโดยตรงเรียกว่า coronary circulation เป็นระบบเส้นเลือดที่มีเลือดแดงที่บริสุทธิ์มากกว่าเส้นเลือดแดงในส่วนอื่นของร่างกาย สามาถตรวจสอบความสามารถของหัวใจได้จากการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ(heart rate) มีหน่วยเป็น ครั้ง/นาที

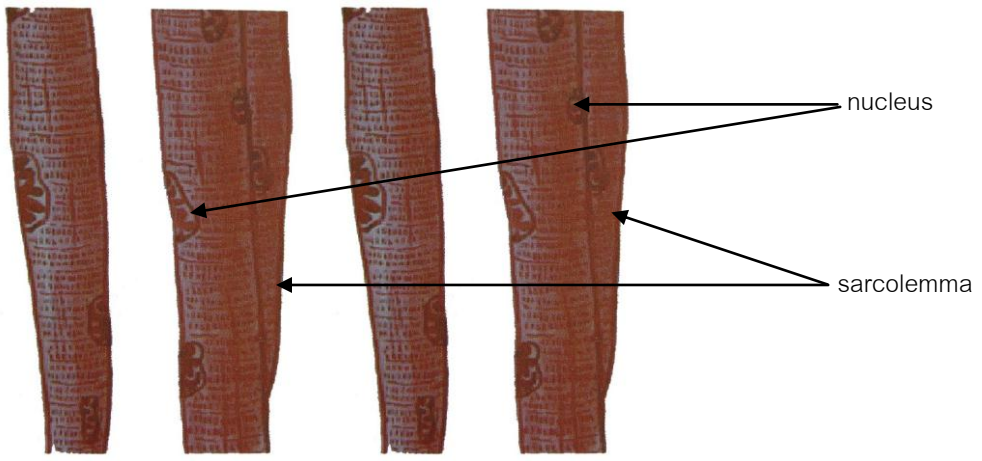
กล้ามเนื้อหัวใจเป็นกล้ามเนื้อที่มีคุณสมบัติเฉพาะได้แก่ การมีคุณสมบัติหดตัวได้เองอย่างอัตโนมัติ (automaticity) เช่นเดียวกับกล้ามเนื้อเรียบ การตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นจะมีลักษณะคล้ายกล้ามเนื้อลาย(refractory periods)



ภาพที่ 5.2 กล้ามเนื้อหัวใจ

กล้ามเนื้อลาย (striated muscle)

กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่มีมากที่สุดในร่างกายจะยึดติดกับกระดูกโดยมีเอ็น(tendon) เป็นส่วนยึดเกาะ อาจเรียกกล้ามเนื้อลายอีกอย่างหนึ่งว่ากล้ามเนื้อโครงร่าง (skeleton muscle) เนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อลายจะดึงกระดูกที่ยึดเกาะอยู่ให้เคลื่อนที่ไปด้วย จึงทำให้ร่างกายเกิดการเคลื่อนไหวด้วย กล้ามเนื้อลายที่ยึดเกาะกระดูกจะมีที่ยึดเกาะอยู่ 2 แห่ง คือจุดเกาะต้น(origin) และจุดเกาะปลาย (insertion) จุดเกาะต้นหมายถึงส่วนปลายมัดกล้ามเนื้อที่อยู่ใกล้กับแนวกลางตัวของร่างกายอาจเรียกว่าส่วนต้น (proximal) ของกล้ามเนื้อจุดเกาะต้นเป็นจุดที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเมื่อกล้ามเนื้อมัดนั้นมีการหดตัว โดยทั่วไปปลายของกล้ามเนื้อนี้อาจเป็นแผ่นกว้างหรือเกาะมาจากกระดูกหลายชิ้นหรือหลายตำแหน่งบนกระดูก ส่วนจุดเกาะปลายจะหมายถึงปลายมัดกล้ามเนื้อที่อยู่ไกลจากแนวกลางตัวของร่างกาย มักจะเป็นส่วนปลาย (distal) ของมัดกล้ามเนื้อ จุดเกาะปลายมักเป็นส่วนของเอ็น (tendon) หรือพังผืดที่หุ้มมัดกล้ามเนื้อ (aponeurosis) ซึ่งเป็นจุดที่เคลื่อนไหวได้ กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary muscle) จึงถูกควบคุมโดยรีเฟล็กซ์ของระบบประสาทส่วนกลางที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ เซลล์ของกล้ามเนื้อลายแต่ละเซลล์จะมีรูปร่างค่อนข้างยาว มีนิวเคลียสหลายอันอยู่ขอบเซลล์ แต่ละเซลล์กล้ามเนื้อจะถูกห่อหุ้มด้วยเยื่อหุ้มเซลล์เรียกว่าซาร์โคเล็มม่า เซลล์กล้ามเนื้อลายทุกเซลล์จะมีเส้นประสาทมาควบคุมจึงสามารถหดตัวได้ เส้นประสาทที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลายเรียกว่า somatic motor nerve เป็นเส้นประสาทสั่งการที่ออกจากไขสันหลังจะส่งเอ๊กซอนออกจากส่วน ventral gray horn เซลล์กล้ามเนื้อลายอาจมีการเรียงตัวเป็นแผ่นแบนๆเช่น กล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อท้อง หรือมีการเรียงตัวเป็นรูปกระสวย (spindle) และรูปขนนก (feather like) เป็นต้น



ภาพที่ 5.3 กล้ามเนื้อลาย

ในสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งชนิดของกล้ามเนื้อลายออกตามส่วนของร่างกายดังนี้

1.กล้ามเนื้อขาหน้า (muscle of the front limb) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ยึดขาหน้าทั้งสองข้างให้ติดกับลำตัว กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของข้อศอก กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของข้อเท้าหน้า และกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของนิ้วเท้าขาหน้าเป็นต้น

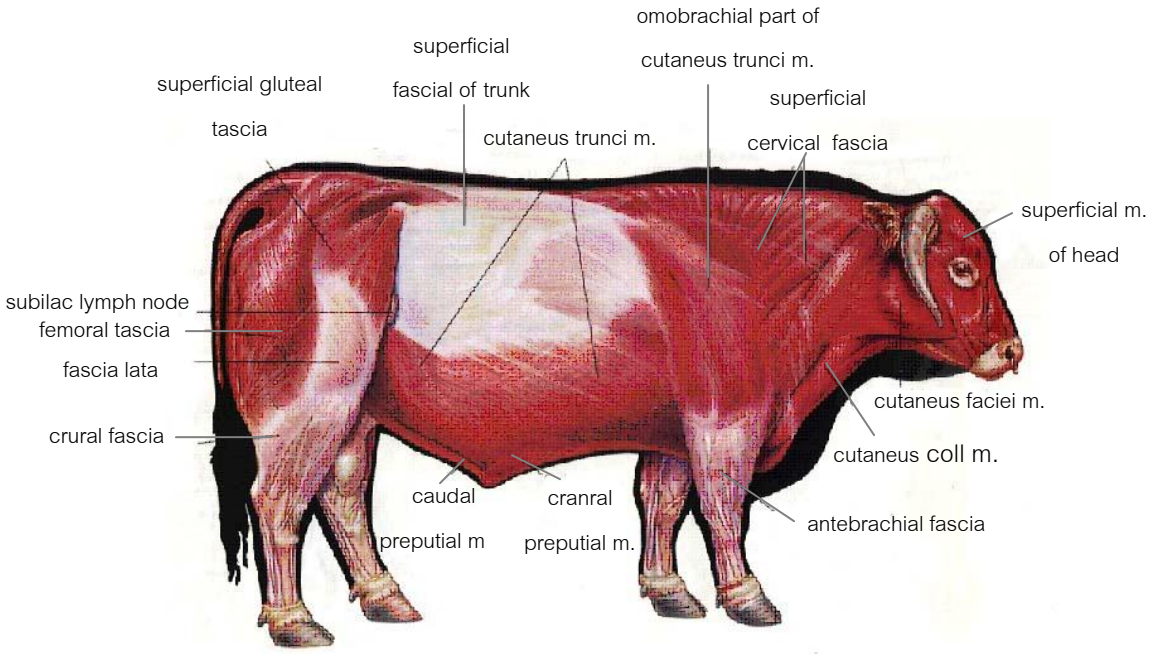
ก.กล้ามเนื้อที่ช่วยยึดขาหน้าทั้งสองข้างให้ติดกับลำตัว ได้แก่ trapezius muscle เป็นกล้ามเนื้อที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนรูปร่างคล้ายรูปสามเหลี่ยม มีจุดเกาะต้นที่แนวลำตัวจากศีรษะไปถึงเอว จุดเกาะปลายของกล้ามเนื้ออยู่ที่กระดูกสะบัก(scapular) ช่วยทำให้กระดูกสะบักยึดติดกับลำตัวและเคลื่อนไหวไปข้างหน้า ข้างหลังได้ rhomboidius muscle เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้ trapezius muscle มีขนาดกล้ามเนื้อที่ใหญ่กว่า มีจุดเกาะต้นที่แนวลำตัว(dorsal midline) จุดเกาะปลายอยู่ที่กระดูกสะบักด้านใน serratus ventralis muscle เป็นกล้ามเนื้อที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในส่วนกล้ามเนื้อขาหน้า ทำหน้าที่ยึดขาหน้าให้ติดกับลำตัว กล้ามเนื้อมีรูปร่างคล้ายพัด มีจุดเกาะต้นที่ transverse process ของกระดูกสันหลังส่วนคอ ตามส่วนโค้งของกระดูกซี่โครง ที่กระดูกหน้าอก และcostral cartilage คู่ที่ 10 จุดเกาะปลายอยู่ที่ด้านในของกระดูกสะบัก omotransversarius muscle เป็นกล้ามเนื้อที่พบในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดยกเว้นในม้า จุดเกาะต้นของกล้ามเนื้อเริ่มจาก transverse process ของกระดูกสันหลังส่วนคอและจุดเกาะปลายอยู่ที่ยอดของกระดูกสะบัก มีหน้าที่ในการดึงส่วนล่างของกระดูกสะบัก

ข.กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ โดยการงอและยืดหัวไหล่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ยึดหัวไหล่ กล้ามเนื้อที่งอหัวไหล่ กล้ามเนื้อที่หุบหัวไหล่และกล้ามเนื้อที่กางหัวไหล่

กล้ามเนื้อที่ยึดหัวไหล่ได้แก่ brachiocephalicus muscle มีจุดเกาะต้นที่กะโหลกศีรษะส่วน occipital bone และ transverse process ของกระดูกสันหลังส่วนคอ จุดเกาะปลายเกาะกับด้านข้างของส่วนบนของกระดูก humerus ทำหน้าที่ในการยกไหล่และดึงไหล่ไปข้างหน้า supraspinatus muscle มีจุดเกาะต้นที่ claviculus tendon และจุดเกาะปลายอยู่ที่กระดูก humerus

กล้ามเนื้อที่งอหัวไหล่ประกอบด้วย teres major muscle เป็นกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการงอของข้อต่อหัวไหล่ มีจุดเกาะต้นอยู่ที่ส่วนบนของขอบกระดูกสะบัก และจุดเกาะปลายอยู่ที่ teres major tuberosity ทางด้านในของตัวกระดูกโคนขาหน้า(humerus) latissimus dorsiเป็นกล้ามเนื้อที่มีลักษณะเป็นแผ่นกว้างรูปสามเหลี่ยม ทำหน้าที่ในการงอหัวไหล่ช่วยดึงช่วยดึงขาหน้ากลับไปข้างหน้า มีจุดเกาะต้นที่ spinous processes ของกระดูกสันหลังส่วนอกและเอว มีจุดเกาะปลายร่วมกับ teres major muscle , intrespinatus muscle และ teres minor muscle เป็นกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการกาง(abduct) การงอและการหมุนหัวไหล่ออกไปข้างนอก

กล้ามเนื้อที่หุบหัวไหล่ (abduction of the shoulder) ประกอบด้วย pectoral muscle ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อส่วนหน้าอกมี 2 มัด คือ superficial และ deep pectoral muscle ส่วน coracobrachialis muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ยึดข้อต่อหัวไหลให้อยู่กับที่ subscapularis muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ช่วยให้ข้อต่อหัวไหล่อยู่กับที่และช่วยหุบข้อต่อหัวไหล่ กล้ามเนื้อที่กางหัวไหล่ ได้แก่ deltoidus muscle ทำหน้าที่กางหัวไหล่และงอข้อต่อหัวไหล่



ภาพที่ 5.4 แสดงกล้ามเนื้อโครงร่างในโค

ที่มา : MaCraken และ คณะ , 1999

ค.กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของข้อศอก กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการงอข้อศอกจะเป็นเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหน้าข้อศอก แต่กล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหลังของข้อศอกจะเกี่ยวข้องกับการยืดข้อศอก โดยกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหลังข้อศอกจะมีความแข็งแรงกว่า เนื่องจากเป็นส่วนที่ทำให้ขาทั้ง 4 อยู่ในท่าที่ยืดตัวหรือสัตว์อยู่ในท่ายืนตลอดเวลา และรับน้ำหนักร่างกายไว้ กล้ามเนื้อที่สำคัญในการงอข้อศอกได้แก่ bicep brachei muscle และ prenator teres muscle ส่วนกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการยืดข้อศอกได้แก่ tricep brachei muscle และ anconem muscle

ง.กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขาหน้า กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการงอข้อเท้าจะเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหน้าของข้อเท้าได้แก่ flexor carpi radialis และ flexor carpi ulnaris เกี่ยวข้องกับการงอข้อเท้าขาหน้าและการยืดข้อศอก ส่วนกล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการยืดข้อเท้าจะอยู่ด้านหลังข้อเท้าได้แก่ extensor carpi ulnaris (ulnaris lateralis) เป็นกล้ามเนื้อยืดข้อเท้าขาหน้าที่อยู่ด้านข้างของขาหน้า และการงอของ carpus

จ.กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของนิ้วเท้า ได้แก่กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืดและการงอของนิ้วเท้า กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืดนิ้วเท้าประกอบด้วย common digital extensor tendon ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ยืดนิ้วเท้าทั้งหมดของขาหน้า รวมทั้ง fetlock joint และยืดส่วน capus และงอข้อศอก นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้อ lateral digital extensor ,median digital extensor และ extensor carpi obligue เป็นต้น

ฉ.กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการงอนิ้วเท้าขาหน้า ได้แก่ deep digital flexor ,superficial digital flexor และ suspensory ligament เป็นกล้ามเนื้อที่ยึด proximal sessamoid bone และ fetlock joint รวมถึงแผ่ขยายไปทางด้านบนของนิ้วแต่ละนิ้วเพื่อยึดกับ common digital extensor tendon

2. กล้ามเนื้อขาหลัง (muscle of the hind limb) ในสัตว์เลี้ยงประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของข้อสะโพก กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของหัวเข่า กล้ามเนื้อที่ทำให้ hock joint เคลื่อนที่และกล้ามเนื้อที่ทำให้นิ้วเท้าเคลื่อนที่

ก.กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของข้อสะโพก ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ยืดข้อสะโพก กล้ามเนื้อที่งอสะโพก กล้ามเนื้อที่กางข้อสะโพก และกล้ามเนื้อที่หุบข้อสะโพก กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของข้อสะโพก (extensor of the hip) ได้แก่ middle gulteus muscle และ humstring muscle ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อ 3 มัดคือ biceps femoris muscle, semitendinous และ semimembranous muscle

กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการงอสะโพกเป็นกล้ามเนื้อที่เกาะอยู่ทางด้านหลังของกระดูก femor ได้แก่ Iliopseas muscle และ sartorius โดย Iliopseas muscle เป็นกล้ามเนื้อ 2 มัดประกอบด้วย Iliacus major และ psaas major ส่วน sarterius muscle เป็นแผ่นกล้ามเนื้อบางๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงอข้อสะโพก

กล้ามเนื้อที่กางข้อสะโพก เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านหน้าของกระดูกสะโพกเหนือข้อต่อสะโพกได้แก่ deep gluten muscle, superficial gluten และ tensor fascial lateral muscle สำหรับ tensor fascia นอกจากจะทำหน้าที่ช่วยกางข้อสะโพกแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการงอข้อต่อสะโพก และ การยืดหัวเข่าด้วย (stifle joint)ด้วย

กล้ามเนื้อที่หุบข้อสะโพก เป็นกล้ามเนื้อที่เกาะอยู่ด้านในของโคนขาหลังทำหน้าที่หุบให้ข้อสะโพกเข้าหาแนวกลางลำตัว ประกอบด้วย gracilis muscle ที่เกาะอยู่ด้านในของโคนขา petineus muscle เป็นกล้ามเนื้อรูปกระสวยที่มีขนาดเล็กที่สุด ถูกปกคลุมด้วย gracilis muscle เกี่ยวข้องกับการหุบและงอข้อสะโพก adduct muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ใหญ่ที่สุดทางด้านในของโคนขา ช่วยในการหุบข้อสะโพก quadriceps femoris เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้โคนขากางออกและ

หมุนออกไปด้านนอกได้ สำหรับกล้ามเนื้อที่ทำให้โคนขาหมุนออกข้างนอกได้แก่ obturater extensor muscle ,obturater interna ,cranial และ caudal gemell

ข.กล้ามเนื้อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของหัวเข่า ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ยืดและงอหัวเข่า โดยกล้ามเนื้อที่งอหัวเข่าได้แก่ quadricep femeris เป็นกล้ามเนื้อที่ทำให้ยืดหัวเข่าได้มากมีกล้ามเนื้อใหญ่ๆประกอบอยู่ 4 มัดคือ rectus femeris, vastus femeris,vatus intermedian และ vastus lateralis ส่วน rectus femeris เป็นมัดกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กมีรูปร่างยาวที่สุด จุดเกาะต้นอยู่ที่กระดูก ilium ต่อกับ acetabulum ส่วนกล้ามเนื้อ 3 มัดที่เหลือ มีจุดเกาะต้นบริเวณกระดูกโคนขาหลัง(femur) และมีจุดเกาะปลายที่กระดูกสะบ้า(knee cap หรือ patella)

กล้ามเนื้อที่งอหัวเข่า (flexor of the stifle) กล้ามเนื้อที่สำคัญคือ hamstring muscle, gastrocnemius muscle ,superficial digital flexor และ popliteus muscle, hamstring muscle เป็นกล้ามเนื้อที่งอหัวเข่าและช่วยยืดสะโพก (hip) นอกจากนี้กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืดส้นเท้า(hock) โดยเฉพาะกล้ามเนื้อที่มีจุดเกาะต้นจากด้านท้ายของปลายล่างของกระดูกโคนขาหลัง (femur) อาจเกี่ยวข้องกับการงอหัวเข่าด้วย popliteus muscle เป็นกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กมีตำแหน่งอยู่ด้านหลังของหัวเข่า มีหน้าที่สำคัญในการงอหัวเข่า และเกี่ยวกับการหมุนกระดูกขาส่วน tibia และ fibular ในด้านในด้วย

ค.กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของส้นเท้า (hock) ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ยืดและงอส้นเท้า (hock) ได้แก่ tibialis anterior และ peroneus muscle สำหรับ peroneus longus muscleเป็นกล้ามเนื้อที่พบในโค แกะ และสุกร peroneus tertius พบเฉพาะในม้า นอกจากนี้กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืดนิ้วเท้าจะเกี่ยวข้องกับการงอส้นเท้าด้วย ส่วนกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการยืดส้นเท้า(hock) ได้แก่ gastrocnemius และ superficial digital flexor มีจุดเกาะต้นที่ปลายล่างของกระดูกโคนขาหลัง(femur) และจุดเกาะปลายที่ tuber calcis นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้อ deep digital flexor ด้วย

ง.กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของนิ้วเท้าขาหลัง ทำหน้าที่เหมือนกับกล้ามเนื้อนิ้วเท้าขาหน้า กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการยืดนิ้วเท้าได้แก่ long digital extensor เป็นกล้ามเนื้อที่มีจุดเกาะต้นที่ปลายล่างของกระดูกโคนขาหลัง และมีจุดเกาะปลายอยู่ที่ extensor process ของข้อนิ้วเท้าอันปลายสุด lateral digital extensor muscle เกี่ยวข้องในการเคลื่อนไหวของนิ้วเท้าด้วย กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการงอนิ้วเท้าได้แก่ superficial flexor และ deep flexor เป็นกล้ามเนื้อที่มีอยู่ทั้งขาหน้าและขาหลัง

3. กล้ามเนื้อในส่วนลำตัว คอ และหัว (muscles of the truck neck and head)

กลุ่มกล้ามเนื้อที่ยึดส่วนลำตัว คอ และหัวของสัตว์ มักเป็นกล้ามเนื้อที่วางตัวอยู่บน transverse process ของกระดูกสันหลัง และอยู่แต่ละข้างของ spinal processes ของกระดูกสัน

หลัง ในสัตว์เลี้ยงกล้ามเนื้อสันหลังที่ใหญ่ที่สุดคือกล้ามเนื้อสันนอก (longisimus dorsi) กล้ามเนื้อนี้ประกอบด้วยมัดกล้ามเนื้อเล็กๆที่ยึดเกะจาก transverse process ไปยัง spinal process หรือยึดระหว่างspinal process ไปยัง spinal process ของกระดูกสันหลังที่อยู่ติดกัน กล้ามเนื้อกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ในการยืดและงอกระดูกสันหลังแต่ละข้อ (spinal column) ไปด้านข้าง นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการบิดของลำตัวได้ กล้ามเนื้อส่วนสันหลังอาจเรียกชื่อแยกตามตำแหน่งของร่างกายที่เกาะอยู่เช่น longissimus lumborum (ยึดบริเวณกระดูก lumbra) longissimus cervical(ยึดบริเวณกระดูกสันหลังที่ส่วนคอ) กล้ามเนื้อที่ช่วยยกคอหรือส่วนหัวของสัตว์จะเป็นกล้ามเนื้อที่มีการพัฒนามาก หรือเป็นกล้ามเนื้อที่ทีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของหัวและเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของหัว กล้ามเนื้อที่ใหญ่ที่สุดของหัวมีจุดเกาะต้นจากกระดูกสันหลังส่วนตะโหนก (wither) และลอดเข้าไปเกาะที่ occipital bone ของกระดูกศีรษะ กล้ามเนื้อที่ไม่ได้มีจุดเกาะที่กระดูกสันหลังและอยู่ด้านบนคือ splenius muscle ส่วนที่อยู่ด้านล่างคือ complexus muscle ทั้งสองเป็นกล้ามเนื้อเล็กๆที่ยึดกระดูกสันหลังแต่ละอันให้ติดกัน นอกจากนี้มี ligamentum nuchae ซึ่งเป็นพวก eleastic band 2 ข้าง ช่วยในการยกคอและหัว

กล้ามเนื้อที่ใช้ในการงอคอและหัว ในสัตว์เลี้ยงจะมีการงอหัวและคอเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกร่วมกับการงอตัวของกล้ามเนื้อที่อยู่ด้านล่างของคอเช่น sterno-cephalicus ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ใช้ในการงอคอและหัวในม้า จะยึดระหว่างกระดูกหน้าอก(sternum) และกระดูกขากรรไกรล่าง ในโคจะมีกล้ามเนื้อ mastoid process ที่มาช่วยยึดเกาะคอกับกะโหลกศีรษะด้วย นอกจากนี้ยังมีกล้ามเนื้อ sternothyro-hyoideus, longissimus dorsi และ ventral straight muscle ช่วยในการงอส่วนหัวด้วย

4. กล้ามเนื้อท้อง (abdominal muscle)

กล้ามเนื้อท้องเป็นกล้ามเนื้อชนิดแบน ทำหน้าที่เป็นผนังท้องเกี่ยวข้องกับการช่วยค้ำจุนอวัยวะย่อยอาหารและอวัยวะสืบพันธุ์ โดยเฉพาะในขณะที่สัตว์เพศเมียมีการตั้งท้อง นอกจากนี้ยังมีหน้าที่เกี่ยวกับการขับถ่ายอุจาระ (defacation) และการขับปัสสาวะ (urination)รวมทั้งขณะเกิดการคลอด เกี่ยวกับการขยอกอาหาร การอาเจียร และการจาม เป็นต้น กล้ามเนื้อท้องจะเรียงตัวเป็นแผ่นซ้อนๆกัน เส้นใยของกล้ามเนื้อแต่ละชั้นจะเรียงตัวกันแบบไขว้กันและสานกันไปมา บางชั้นจะเรียงตัวกันคล้ายรูปพัด กล้ามเนื้อท้องแต่ละมัดในแต่ละข้าง จะมีจุดเกาะปลายที่เส้นแนวกลางตัวด้านล่าง โดยแผ่นเหนียวสีขาวเรียกว่า linea alba หรือ white line กล้ามเนื้อท้องที่สำคัญได้แก่ external abdominal oblique, internal abdominal oblique ,transverse abdominal oblique และ rectus abdominalis โดย external abdominal oblique เป็นชั้นที่อยู่ด้านบนสุดมีเส้นใยกล้ามเนื้อที่วิ่งเฉียงลงด้านล่างและข้างหลัง มีจุดเกาะต้นจากซี่โครงซี่ที่ 2 และ 3นับจากซี่โครงซี่สุดท้าย และ lumbro-dorsal fasciaบริเวณเหนือส่วนหลังและสะโพก กล้ามเนื้อ external

abdominal oblique แต่ละข้างจะมีปลายของกล้ามเนื้อที่แผ่ออก(aponeurosis) ไปยึดต่อกันที่ linea alba ทางด้านท้ายของลำตัวปลายของกล้ามเนื้อนี้จะแผ่ออกเรียกว่า inguinal ligament ในสัตว์เพศผู้ inguinal ligament จะประกอบเป็นผนังด้านนอกของ inguinal ring ที่เป็นช่องทางผ่านของสายรั้งลูกอัณฑะ (spermatid cord)

internal abdominal oblique เป็นกล้ามเนื้อที่อยู่ใต้ชั้น external abdominal oblique เส้นใยกล้ามเนื้อจะทอดตัวผ่านเฉียงๆไปทางด้านล่างของลำตัวและข้างหน้า จุดเกาะปลายของกล้ามเนื้อนี้จะแผ่ออกและเชื่อมต่อกับกล้ามเนื้ออีกด้านหนึ่งที่ linea alba โดยทั่วไปกล้ามเนื้อจะมีจุดเกาะต้นที่ใต้เยื่อหุ้มกล้ามเนื้อส่วน lumbo-dorsal fasia และ inguinal ligament โดยทั่วไปในสัตว์เลี้ยงกล้ามเนื้อนี้จะประกอบเป็นผนังด้านในของ internal canal l ของ internal inguinal ring เส้นใยกล้ามเนื้อทางส่วนท้ายบางส่วนจะประกอบเป็นผนังด้านในของ inguinal canal และ Internal inguinal ring เส้นใยกล้ามเนื้อด้านท้ายส่วนใหญ่ของ internal abdominal oblique จะทอดยาวผ่านส่วน inguinal canal ร่วมไปกับ spermatid cord ไปยึดติดกับเนื้อเยื่อที่หุ้มอัณฑะส่วน tunica vaginalis communis กล้ามเนื้อที่แยกตัวออกมานี้เรียกว่า external cremaster muscle ทำหน้าที่ในการดึงลูกอัณฑะมาที่ internal canal ในสัตว์บางชนิดเช่นช้างลูกอัณฑะจะถูกดึงให้เข้าไปในช่องท้องยกเว้นในฤดูกาลผสมพันธุ์

transverse abdominal oblique muscle เป็นกล้ามเนื้อท้องที่ลึกที่สุด เส้นใยกล้ามเนื้อจะวิ่งตรงดิ่งขวางลงมาทางด้านล่างลำตัวและเชื่อมต่อกับ linea alba

rectus abdominius เป็นกล้ามเนื้อแบนมีจุดเกาะต้นที่ปลายกระดูกซี่โครงและกระดูกอก เส้นใยกล้ามเนื้อจะวิ่งตรงไปทางด้านท้ายลำตัวเป็นแนวขนานกับส่วนหลัง จุดเกาะปลายอยู่ที่ pubis โดยใช้เอ็น(tendon) เรียกว่า prepubis tendon

กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจ ประกอบด้วยกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจเข้า และหายใจออก การหายใจเข้าจะเป็นการเพิ่มขนาดของทรวงอกทำให้มีอากาศเข้าสู่ปอดมาก ส่วนการหายใจออกเป็นการลดขนาดของทรวงอกเพื่อขับอากาศออกจากร่างกาย กล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจเข้า ได้แก่ กล้ามเนื้อกระบังลม (diaphram) และ external intercostal muscle โดยกระบังลมเป็นกล้ามเนื้อชนิดแบนที่มีรูปร่างคล้ายโดม วางตัวกั้นระหว่างช่องอกและช่องท้อง ส่วนนูนหรือส่วนที่เป็นรูปโดมจะยื่นเข้าไปในช่องอก การหดตัวของกล้ามเนื้อกระบังลม มีผลให้ขนาดของทรวงอกเพิ่มขึ้น และอากาศจากภายนอกร่างกายจะถูกดูดเข้าในปอด เนื่องจากความดันของอากาศในช่องอกต่ำกว่าภายนอก external intercostal muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ยึดระหว่างด้านหลังของกระดูกซี่โครงแต่ละอัน เส้นใยกล้ามเนื้อจะทอดตัวลงด้านล่างเช่นเดียวกับ external abdominal oblique กล้ามเนื้อนี้เมื่อหดตัวจะช่วยดึงให้ซี่โครงแต่ละซี่ขยายออก ทำให้เกิดการขยายขนาดของทรวงอก

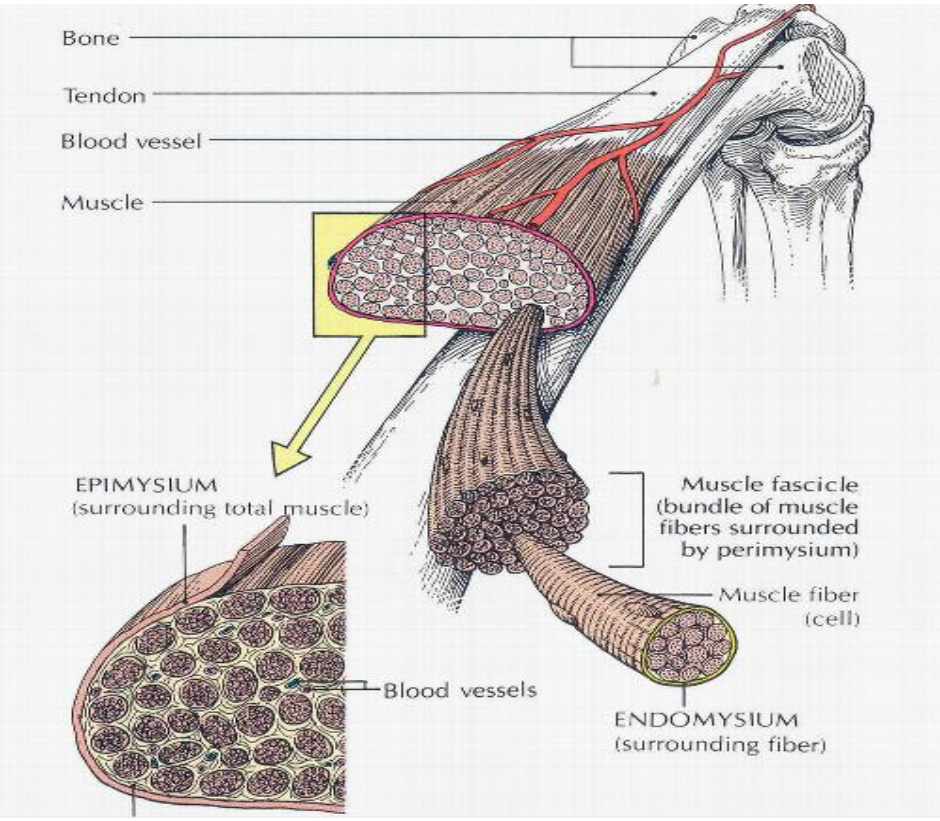
กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจออก ประกอบด้วยกล้ามเนื้อท้อง , internal intercostal muscle, retractor costal muscle และ transverse thoracic muscle ในการหายใจออกการหดตัวของกล้ามเนื้อท้อง จะดันให้อวัยวะภายในช่องท้องดันกระบังลมเข้าไปในช่องอก ซึ่งจะช่วยลดขนาดของช่องอกได้ ส่วน internal intercostal muscle ซึ่งวางตัวอยู่ด้านชั้น external intercostal muscle เมื่อเกิดการหดตัวจะดึงกระดูกซี่โครงให้หมุนไปทางด้านหลังลดขนาดของช่องอกลง กล้ามเนื้อนี้จะมีเส้นใยกล้ามเนื้อที่วิ่งลงด้านล่างและไปข้างหน้า สวนทางกับ external intercostal muscle ส่วน retractor costal muscle เป็นกล้ามเนื้อที่มีรูปหลายเหลี่ยมขนาดเล็กวางตัวด้านหลังกระดูกซี่โครงซี่สุดท้าย เมื่อหดตัวจะดึงกระดูกซี่โครงซี่สุดท้ายเข้ามา transverse thoracic muscle เป็นกล้ามเนื้อชนิดแบนที่เส้นใยกล้ามเนื้อวิ่งขวางกับพื้นด้านในของช่องอก วางตัวอยู่บนกระดูกอกและ costal cartilage เมื่อหดตัวจะดึงซี่โครงและ costal cartilage เข้าไปข้างในและด้านหลัง

กายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย (anatomy of striated muscle)

กล้ามเนื้อลายหรือกล้ามเนื้อโครงร่างเป็นส่วนของกล้ามเนื้อที่ยึดหรือเกาะติดกับกระดูก แต่ละมัดกล้ามเนื้อมีรูปร่างต่างกันไป กล้ามเนื้อลายแต่ละมัดจะประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle fiber) ซึ่งเป็นหน่วยย่อยที่สุดของกล้ามเนื้อ เซลล์กล้ามเนื้อจะเรียงตัวขนานกันเป็นมัดกล้ามเนื้อขนาดใหญ่เรียกว่าเบลเล่ (belley) แต่ละมัดใหญ่จะถูกล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันสีขาวเหนียวเรียกว่าเอพิไมเซียม (epimysium หรือ deep fascia) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด dense connective tissue ชั้นเอพิไมเซียมจะเป็นชั้นที่มีเส้นเลือดและเส้นประสาทขนาดใหญ่ที่แทงทะลุผ่านเอพิไมเซียมเข้าไปเลี้ยงมัดกล้ามเนื้อย่อยๆ ภายในกล้ามเนื้อมัดใหญ่มี่ล้อมรอบด้วยเอพิไมเซียมจะมีกล้ามเนื้อมัดย่อยๆขนาดต่างๆหลายๆมัดรวมกัน แต่ละมัดกล้ามเนื้อเล็กนี้เรียกว่าบันเดิล (bundle หรือ fasciculi) โดยมีส่วนของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มาห่อหุ้มเรียกว่าเพอริไมเซียม (perimysium) กล้ามเนื้อมัดเล็กที่ห่อหุ้มด้วยเพอริไมเซียมนี้ยังประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ หรือเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle fiber) หลายๆเซลล์มาเรียงต่อขนานกัน แต่ละเซลล์กล้ามเนื้อจะมีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันมาห่อหุ้มเรียกว่า เอ็นโดไมเซียม (endomysium) เอ็นโดไมเซียมเป็นชั้นบางๆของ reticular fiber ที่ล้อมรอบหรือห่อหุ้มเซลล์กล้ามเนื้อไว้ ภายในเอ็นโดไมเซียมจะมีเส้นเลือดฝอยและเส้นประสาทขนาดเล็กแทรกตัวอยู่ โดยแทรกตัวตามผิวด้านนอก (outer surface) ของเซลล์กล้ามเนื้อ ชั้นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันทั้งสามคือเอ็นโดไมเซียม เพอริไมเซียมและเอพิไมเซียมจะติดต่อถึงกันหมด โดยจะมีส่วนที่มารวมกันเกิดเป็นส่วนของเอ็น (tendon)ที่ยึดกล้ามเนื้อกับกระดูก การเชื่อมต่อกันของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันของมัดกล้ามเนื้อนี้ มีผลให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้พร้อมๆกัน

เนื่องจากส่วนที่ห่อหุ้มกล้ามเนื้อนี้จะอยู่อย่างหลวมๆ กล้ามเนื้อลายในแต่ละส่วนของร่างกายจะมีความเหนียวหรือนุ่มแตกต่างกันไป ขึ้นกับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันและเนื้อเยื่อไขมันที่เป็นส่วนประกอบ เช่นกล้ามเนื้อขาจะเหนียวกว่ากล้ามเนื้อสันหลัง เป็นต้น

เมื่อพิจารณาถึงการเรียงตัวของแต่ละเซลล์กล้ามเนื้อลายจะเห็นว่ามีลักษณะการเรียงตัวของเซลล์กล้ามเนื้อที่แตกต่างกันไป เช่นส่วนกล้ามเนื้อท้องหรือกล้ามเนื้อกระบังลม เซลล์กล้ามเนื้อจะเรียงตัวกันเป็นแผ่นบางๆ กล้ามเนื้อท้องจึงเป็นกล้ามเนื้อรูปร่างแบน ส่วนกล้ามเนื้อน่องเซลล์กล้ามเนื้อจะเรียงตัวเป็นรูปกระสวย กล้ามเนื้อบางชนิดมีการเรียงตัวเป็นรูปแฉก (penni form)หรือรูปขนนก (feather form) การเรียงตัวของเซลล์กล้ามเนื้อดังกล่าวนี้สามารถนำมาใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการเรียกชื่อกล้ามเนื้อในส่วนต่างๆของร่างกายสัตว์ได้เช่นกัน



ภาพที่ 5.5 กายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย

ที่มา : Carola และคณะ, 1992

จุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย (microanatomy of muscle)

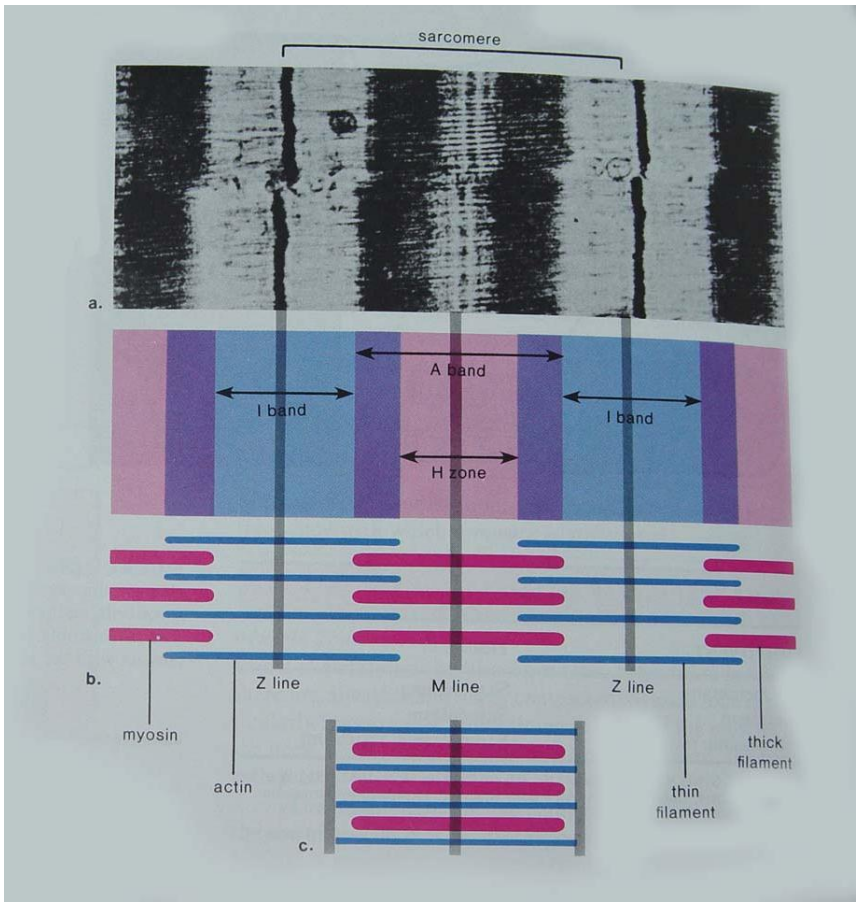
กล้ามเนื้อลายเป็นกล้ามเนื้อที่ประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อ หรือเซลล์กล้ามเนื้อลายที่มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกแต่ปลายทั้งสองข้างแหลม เซลล์มีความยาวประมาณ 1-40 มม.แต่ละเซลล์มีหลายนิวเคลียส และมีนิวเคลียสรูปไข่อยู่รอบๆใต้เยื่อหุ้มเซลล์ซาร์โคเล็มม่า (sarcolemma) หรือส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ในเซลล์ทั่วๆไป โดยทั่วไปการเรียกชื่อส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์กล้ามเนื้อ มักนิยมใช้ศัพท์ที่มีความหมายเกี่ยวกับกล้ามเนื้อ (เนื่องจากมีลักษณะและโครงสร้างเซลล์ที่พิเศษจากเซลล์อื่นๆในร่างกาย) ซึ่งเป็นคำศัพท์ที่มีรากศัพท์ที่มาจากภาษากรีกเช่นคำว่า sarco = fresh, mys หรือ myo = muscle เช่น plasma membrane เรียกว่า sarcolemma,cytoplasm เรียกว่า sarcoplasm, mitochondria เรียกว่า sarcosome, endolasmic reticulum เรียกว่า sarcoplasmic reticulum, microfilament เรียกว่า myofilament และ microfibril เรียกว่า myofibril เป็นต้น

เซลล์กล้ามเนื้อลายจะเรียงตัวต่อกันเป็นเส้นยาวโดยไม่มีผนังกั้น จึงทำให้เห็นเป็นเซลล์เดียวกันตลอด ซาร์โคเล็มม่าของเซลล์กล้ามเนื้อจะอยู่ติดกับส่วนของเอ็นโดไมเซียม ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นในสุดบริเวณซาร์โคเล็มม่าของเซลล์กล้ามเนื้อแต่ละเซลล์จะมีปลายของประสาทสั่งการปรากฏอยู่ (motor nerve fiber) เรียกว่า button terminal โดยบริเวณที่มีปลายประสาทมาสัมผัสนี้เรียกว่า motor end plate ซึ่งมีส่วนของ synaptic cleft ทำหน้าที่ในการนำกระแสประสาทโดยใช้สารเคมีเป็นสื่อนำเช่น acetylcholine ภายในซาร์โคเล็มม่าของแต่ละเซลล์กล้ามเนื้อจะประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆมากมายเรียกว่าเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril หรือ muscle fiber) แต่ละเซลล์กล้ามเนื้อจะเรียงตัวขนานกันอย่างเป็นระเบียบ เมื่อนำชิ้นกล้ามเนื้อลายมาย้อมสีแล้วส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์โดยใช้กำลังขยายสูง จะเห็นว่ามีลายตามขวางของแต่ละเส้นใยกล้ามเนื้อ (myofibril) ลายที่เกิดขึ้นเห็นเป็นแถบทึบแสงและแถบจางแสงสลับกันไปมา ซึ่งเกิดจากการเรียงตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อคือ myosin และ actin filament ที่อยู่ในเส้นใยกล้ามเนื้อ ปกติไมโอฟิลาเม็นท์ (myofilament) เป็นโปรตีนในกล้ามเนื้อชนิดหนึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือชนิดบาง (thin filament) เรียกว่า actin ส่วนไมโอฟิลาเม็นท์ชนิดหนา (thick filament) คือ myosin ทั้ง actin และ myosinจะเรียงตัวซ้อนเหลื่อมกันไป บริเวณใดที่มีโปรตีนทั้งสองชนิดซ้อนกันอยู่จะเห็นเป็นสีเข้มเรียกว่า dark band หรือ A- band (anisotropic band) ส่วนบริเวณที่มีเฉพาะโปรตีนactinอย่างเดียวซ้อนกันอยู่จะเห็นเป็นสีจางหรือสีขาวเรียกว่า light band หรือ I-band (isotropic band) ส่วนช่องที่อยู่ระหว่างปลายของ actin เรียกว่าH- band เห็นเป็นแถบสีจางอยู่กลาง A -band ระหว่างกึ่งกลางของ I- band จะมีเส้นติดสีทึบคั่นอยู่เรียกว่า Z-line และระยะระหว่าง Z-line ทั้งสองเส้นเรียกว่า sarcomere ซึ่งเป็นโครงสร้างและหน่วยทำหน้าที่ของmyofibril ขณะที่กล้ามเนื้อหดตัว

ปลายของ actin ที่อยู่ข้างเดียวกันจะหดตัวเข้าหากัน ทำให้ H-zone หายไปและ I-band แคบลง แต่ A-band ยังคงเดิมและระยะระหว่าง Z-line หรือ sarcomereจะแคบหรือหดเข้าหากัน (sarcomere หดสั้นลง)

โปรตีนmyosin ประกอบด้วยหน่วยเล็กๆหลายชนิดได้แก่ lighten meromyosin (LMM) และ heavy meromyosin (HMM) ส่วนของ HMM เป็นส่วนที่ยื่นโผล่ออกมาจากไมโอซินเมื่อส่องกล้องดูจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็คตรอน ส่วนHMN จะยื่นไปเกี่ยวติดอยู่กับ actin ทำให้เกิดเป็น actomyosin การเกี่ยวกันของ myosin และ actin เรียกว่า cross bridge ส่วนนี้มีเอนไซม์ที่สำคัญ คือ ATPase ส่วนของ actomyosin เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากการเกาะกันของmyosin และ actin โดยมีเอ็นไซม์ ATPase และ Ca^{++} เป็นตัวเร่งปฏิกริยา สำหรับ LMN เป็นโปรตีนที่ไม่มีคุณสมบัติทางชีวเคมี

ส่วนโปรตีน actin เป็นโปรตีนในกล้ามเนื้อที่ประกอบด้วย globular actin monomers (G-actin)เรียงกันเป็นวงรอบแท่ง filamentous protein ที่เรียกว่า โปรตีน tromyosin และมีโปรตีนขนาดเล็กๆเรียกว่าโปรตีน troponin แทรกตัวอยู่ระหว่างเกลียวของ G-actin



ภาพที่ 5.6 จุลกายวิภาคของกล้ามเนื้อลาย

ที่มา : Mader, 1988

การหดตัวของกล้ามเนื้อลาย

ทฤษฎีที่ใช้อธิบายการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียกว่า sliding filament theory จัดเป็นทฤษฎีที่ได้จากการสังเกตการหดตัวของกล้ามเนื้อ(เซลล์กล้ามเนื้อ) พบว่า ส่วนของ I-band จะมีความยาวคงที่ แต่ I-band และ H-band มีความยาวที่ลดลง โดยที่ความยาวของ thick และ thin filament ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าต้องมีการ sliding ของ thin filament แทรกลึกลงไปใน A-band ซึ่งจะเป็นการเพิ่มการซ้อนหรือการ overlap ของ thick และ thin filament ซึ่งมีผลให้ sarcomere มีขนากเล็กลงและกล้ามเนื้อเกิดการหดตัว กลไกในการหดตัวที่สำคัญคือ

เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก (resting stage) ATP จะจับกับ ATPase site ที่อยู่บน myosin (head site) ทำให้ ATP ไม่มีอิสระที่จะแตกตัวเพื่อให้พลังงานได้ เนื่องจากขบวนการแตกตัวเพื่อให้พลังงานนี้ต้องการตัวเร่ง (co-factor) คือ myosin-actin interaction การที่ myosin กับ actin จับตัวกันไม่ได้ เกิดจากการที่ myosin binding site บนโมเลกุลของ actin มี troponin และ tropomyosin ขวางอยู่

การเกิดกลไกการหดตัวของกล้ามเนื้อ เมื่อมีกระแสประสาทมาที่ปลายประสาทตรง motor end plate กระแสประสาทจะทำให้เกิดระยะ depolarization ของ sarcolemma มีผลให้มีการปลดปล่อย Ca^{++} ที่อยู่ใน sarcoplasmic reticulum ออกมาที่ sarcoplasm Ca^{++} อิสระที่ออกมาจะจับตัวกับ troponin ทำให้ troponin เกิดการเปลี่ยนแปลงและผลักให้troponin เกิดการเคลื่อนที่ myosin จึงจับกับ binding site ของ actin (G-actin) ได้ ATP จึงสามารถแตกตัวให้พลังงานได้ พลังงานนี้จะทำให้เกิดการหักงอของส่วน HMM ของ myosin ที่เป็น cross bridge กับactin ทำให้ actin filament เคลื่อนฝังตัวลงไปใน A-band และ Z-line ของแต่ละ sarcomere ถูกดึงเข้าหากัน กล้ามเนื้อจึงเกิดการหดตัว แต่ละครั้งของการหดตัว จะเกิดขึ้นโดย cross bridge เป็นร้อยๆอันทำงานพร้อมๆกัน หลังจากที่เกิดการหักงอของ cross bridge ระหว่าง actin และ myosin แล้ว ATP ที่ยังคงมีอยู่ภายใน sarcoplasm จะทำให้ cross bridge ถูกทำลาย โดย head ของmyosin จะถูกยกออกจาก actin เพื่อเตรียมพร้อมที่จะจับกับ actin โมเลกุลใหม่ที่เคลื่อนเข้ามาหา และเกิดวงรอบ (cycle)ใหม่ของการหดตัวของกล้ามเนื้อ การหดตัวของกล้ามเนื้อจะเกิดขึ้นซ้ำๆกันตราบใดที่ยังมี Ca^{++} และ ATPภายใน sarcoplasm เมื่อการหดตัวสิ้นสุดลง Ca++ จะถูกดึงกลับเข้าไปใน sarcoplasmic reticulum โดยวิธี active transport เมื่อไม่มี Ca++ ส่วนของ troponin-tropomyosin complex ก็จะกลับมายัง myosin binding site ของ G-actin อย่างเดิมทำให้ myosin จับกับ actin ไม่ได้ กล้ามเนื้อก็จะกลับเข้าสู่ระยะพักเช่นเดิม

กรณีที่ขาด ATP ภายในกล้ามเนื้อ (sarcoplasm) cross bridge ระหว่าง actin และ myosin จะคงตัวไม่สามารถแยกออกจากกันได้ ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเกร็งตัวหรือกล้ามเนื้ออยู่

ในสภาพหดตัวตลอดเวลาไม่สามารถคลายตัวได้ เช่นการเกิด rigor mortis ของกล้ามเนื้อในสัตว์มี
ตายแล้ว

บทที่ 6
ระบบหายใจ
Respiratory system

ระบบหายใจจะเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ ระหว่างออกซิเจนจากอากาศที่หายใจเข้าไปในปอดกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของเสียจากการเมตาโบลิซึมของเซลล์ ซึ่งละลายอยู่ในน้ำเลือดที่ถุงลมปอด สาเหตุที่ต้องมีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้นในร่างกายเนื่องจากก๊าซออกซิเจนมีความสำคัญในขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเซลล์หากมีการสะสมมากๆจะทำให้เซลล์ตายได้ ร่างกายจึงจำเป็นต้องกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ออกโดยการหายใจออก หรือบางส่วนถูกกำจัดออกทางไต มีส่วนน้อยที่อาจถูกเซลล์นำไปสังเคราะห์เป็นสารอินทรีย์อื่นๆต่อไปได้ การขาดออกซิเจนเพียงไม่กี่นาทีอาจทำให้เซลล์ตายได้ โดยเฉพาะเซลล์สมองซึ่งเป็นเซลล์ที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดออกซิเจนมาก การหายใจ (respiration) เป็นกิจกรรมของร่างกายของเซลล์ในสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นตลอดเวลาในสภาพปกติไม่ว่าจะเป็นการหายใจเข้าหรือการหายใจออกจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติเช่นเดียวกับการเต้นของหัวใจ ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีค่าอัตราการหายใจที่มีคงที่แตกต่างกันไป ในโคมีอัตราการหายใจเท่ากับ 10-15 ครั้ง/นาทีและในม้ามีอัตราการหายใจ 8-16 ครั้ง/นาที เป็นต้น

หน้าที่ของระบบหายใจ คือ

1.นำก๊าซออกซิเจนเข้าสู่ร่างกาย และขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากขบวนการเมตาโบลิซึมออกจากร่างกาย

2.ควบคุมปริมาณก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการมีชีวิตอยู่ของสัตว์

3.กำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ปะปนมากับอากาศซึ่งสัตว์หายใจเข้าในร่างกาย เนื่องจากมี macrophages cells ที่ผนังของถุงลมปอด และสามารถผลิตแอนติบอดี้ (antibodies) ที่ทำหน้าที่ต่อต้านเชื้อโรคได้

4.เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยน angiotensin I ที่เป็นเอนไซม์ที่อยู่ในรูปที่ยังทำงานไม่ได้เปลี่ยนให้เป็น angiotensin II ที่อยู่ในรูปที่พร้อมที่จะทำงานได้ (active form)

5.เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของกรด-ด่างในเลือด ถ้าเลือดมีสภาพเป็นด่าง (alkalosis) ร่างกายจะมีความสามารถขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีสภาพเป็นกรดการขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจะมีมากขึ้น

6.ทำหน้าที่ร่วมกับกลไกอื่นๆ ในร่างกายเพื่อควบคุมอุณหภูมิของร่างกายในอยู่ในระดับปกติโดยการระบายความร้อนออกมาพร้อมกับไอน้ำที่ออกมากับการหายใจออก

ประเภทของการหายใจ

ในทางสรีรวิทยาสามารถแบ่งการหายใจออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1.breathing หมายถึงการหายใจเพื่อนำอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่ปอด โดยการหายใจเข้า และการนำอากาศที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากปอดโดยการหายใจออก

2.external respiration หมายถึง การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มากับเลือดที่ปอด (ถุงลมปอด) โดยเลือดจะรับก๊าซออกซิเจนและปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา (ระหว่างก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในน้ำเลือด)

3.internal respiration หมายถึง ขบวนการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนจากเลือดกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผลิตขึ้นจากเซลล์(ระหว่างออกซิเจนในน้ำเลือดกับคาร์บอนไดออกไซด์ในเซลล์)

4.cellular respiration หมายถึงการหายใจภายในหรือการหายใจภายในระดับเซลล์ เป็นขบวนการใช้ก๊าซออกซิเจนในไมโตคอนเดรียในการเมตาโบลิซึมของเซลล์ เพื่อให้ได้พลังงานในรูปของ ATP

อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ

ระบบหายใจประกอบด้วยอวัยวะที่สำคัญ 3 ส่วนคือ

1.อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการนำอากาศเข้าและออกจากร่างกาย (air passage) ส่วนใหญ่ของอวัยวะนี้จะมีลักษณะเป็นท่อขนาดต่างๆกัน เรียกว่าท่อทางเดินหายใจ ซึ่งเริ่มต้นจากจมูกเรื่อยไปจนถึงส่วน terminal bronchioles ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของอากาศเข้าสู่ร่างกาย ในระหว่างที่อากาศไหลผ่านท่อทางเดินหายใจอากาศจะถูกทำให้อุ่นขึ้น หรือทำให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกาย นอกจากนี้อากาศยังถูกทำให้ชุ่มชื้นขึ้นโดยของเหลวที่ผลิตจากต่อม (mucous gland) ของชั้นเยื่อเมือกในช่องจมูก และอากาศที่หายใจเข้าไปยังถูกกรองฝุ่นผง รวมทั้งเชื้อโรคขนาดเล็กออก โดยขนจมูกและเยื่อเมือกที่เคลือบท่อทางเดินหายใจ

2.อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนก๊าซ (respiratory portion) หมายถึงส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้น โดยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะซึมออกจากเลือดเข้าสู่ถุงลมปอด และก๊าซออกซิเจนจากอากาศจะซึมผ่านผนังหลอดเลือดเข้าไปในเลือด ส่วนที่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเป็นส่วนของท่อที่ต่อจากส่วน terminal bronchioles ประกอบด้วย respiratory bronchioles, alveolar ducts, alveolar sacs และ alveoli ตามลำดับ ส่วนของ alveoli เป็นถุงลมที่มีรูปร่างเป็นกระเปาะอากาศขนาดเล็กๆ โดยรอบถุงลมจะมีเส้นเลือดฝอยมาประสานเป็นตาข่ายเรียกว่า

pulmonary capillary bed ถุงลมเป็นส่วนที่ยื่นออกมาจากผนังด้านข้างของ respiratory bronchioles มีอยู่มากมายอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม ถุงลมที่รวมกลุ่มกันจะทำให้เกิดเป็นส่วนของเนื้อเยื่อปอดขึ้นมาทำให้เนื้อปอดมีลักษณะยืดหยุ่น

3.อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจเข้าและการหายใจออก (ventrilation portion)เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจเข้า และกล้ามเนื้อที่ช่วยในการหายใจออก ร่วมกับคุณสมบัติของเนื้อเยื่อปอดที่มีความยืดหยุ่นได้ดี (คำอธิบายมีในหัวข้อระบบโครงร่าง)

ท่อทางเดินหายใจ

ท่อทางเดินหายใจมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ รูจมูก,ช่องจมูก, โพรงอากาศ, หลอดคอ, กล่องเสียง, หลอดลม , bronchus, bronchiole, alveolar ducts, alveolar sacs และ alveoli เป็นต้น

1. รูจมูก (nostils) เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่อยู่ด้านนอกของร่างกาย รูปร่างลักษณะของรูจมูกในสัตว์เลี้ยงจะแตกต่างกันไปตามชนิดและลักษณะของการกินอาหาร ส่วนของ muzzle ในโค แกะ และสุกรจะไม่มีขน เรียกว่า planum nasals ในบริเวณนี้จะไม่มีต่อมน้ำมันอยู่เลย แต่จะมีต่อมเหงื่ออยู่มากมาย บริเวณนี้ในโคจะใช้เป็นที่สังเกตสุขภาพได้ ถ้าโคป่วยบริเวณนี้จะแห้งและตกสะเก็ด

2. ช่องจมูก (nasal cavity) เป็นช่องทางผ่านของอากาศที่ผ่านเข้าและออกจากร่างกาย เป็นส่วนที่ต่อมาจากรูจมูก โดยจะแยกออกจากช่องปากด้วยเพดานปากแข็งและเพดานปากอ่อน (hard and soft palates) ช่องจมูกจะแยกออกเป็น 2 ช่องด้านซ้ายและขวา โดยกระดูกอ่อนที่มีลักษณะเป็นแผ่น (turbinate bone) แต่ละข้างของช่องจมูก (nasal septum) จะติดต่อกับหลอดคอ (pharynx) ตรงบริเวณ nasopharynx ในช่องจมูกบุด้วยชั้นเยื่อเมือกที่มีเซลล์เยื่อบุผิวที่มีลักษณะเป็นขน (ciliated columnar epithelial cell) ทำหน้าที่ช่วยทำให้ลมหายใจอุ่นขึ้น เนื่องจากชั้นเยื่อเมือกนี้มีเลือดมาหล่อเลี้ยงมากมาย นอกจากนี้เซลล์เยื่อบุผิวที่อยู่บริเวณส่วนท้ายของช่องจมูกจะมีปลายประสาทรับความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับการได้กลิ่นอยู่ด้วย (olfactory nerve)

3. โพรงอากาศ (sinuses) เป็นส่วนหนึ่งของกะโหลกศีรษะที่เป็นทางเปิดทะลุไปยังช่องจมูกได้ บริเวณโพรงอากาศจะมีเยื่อบุผิวเช่นเดียวกับช่องจมูก อากาศที่ผ่านมาทางช่องจมูกจะต้องผ่านโพรงจมูกก่อนจึงจะเข้าไปที่ปอด ที่กะโหลกศีรษะมีโพรงอากาศอยู่ 4 อัน เกี่ยวข้องกับการช่วยทำให้ลมหายใจอุ่นขึ้น และทำให้เสียงมีความกังวาน โพรงอากาศที่สำคัญได้แก่ frontal sinus, maxillary sinus, sphenoidal sinus และ palatine sinus ในม้าส่วนของ sphenoidal sinus อาจ

รวมกับ palatine sinus เป็น sphenopalatine sinus สำหรับในโค และแกะจะมีโพรงอากาศเพิ่มขึ้นอีกเช่น lacrimal sinusในการตัดเขาโคอาจมีการติดเชื้อทาง frontal sinus ได้

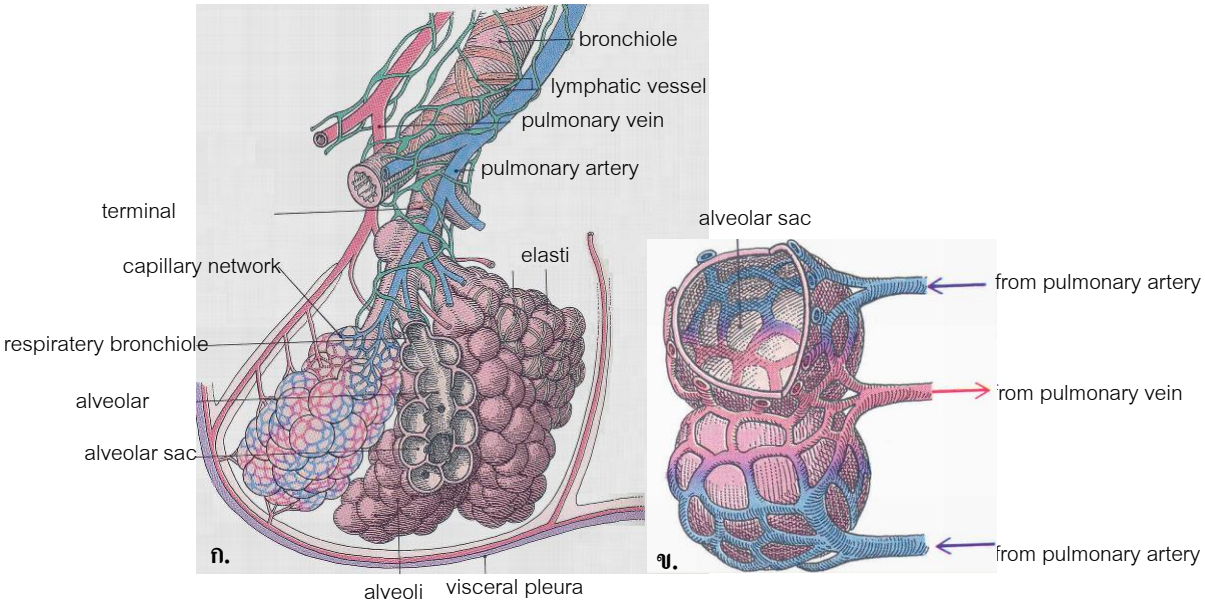
4. หลอดคอ (pharynx) เป็นช่องเปิดร่วมระหว่างช่องปาก (oral cavity) และช่องจมูก (nasal cavity) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนได้แก่ nasopharynx, oropharynx และ laryngopharynx บริเวณนี้จะมีเซลล์เยื่อบุผิวปกคลุมอยู่ นอกจากนี้ยังพบต่อมทอลซิล (tonsil gland) ซึ่งทำหน้าที่เป็นต่อมน้ำเหลืองช่วยในการทำลายเชื้อโรคบริเวณหลอดคอ บริเวณหลอดคอจะมีช่องมาเปิดหลายแห่งได้แก่ ช่องเปิดจากจมูก (posterior choanae) จำนวน 2 ช่อง, ช่องเปิดจากหูชั้นกลาง (eustachian tubes)จำนวน 2 ช่อง ช่องเปิดจากปาก ช่องเปิดจากกล่องเสียง และช่องเปิดจากหลอดอาหารเป็นต้น ส่วนของหลอดคอจะมีกระดูกอ่อน (epiglottis) ทำหน้าที่ในการปิดและเปิดให้อากาศเข้าหลอดลมและให้อาหารเข้าหลอดอาหาร ปกติกระดูกอ่อนนี้จะเปิดตลอดเวลาเพื่อให้อากาศผ่านเข้าไปที่หลอดลมส่วน trachea โดยตรง แต่เมื่อสัตว์กินอาหารและมีการกลืนอาหารกระดูกอ่อนชิ้นนี้จะปิดลงเพื่อให้ก้อนอาหารเข้าไปในหลอดอาหาร

5. กล่องเสียง (larynx) เป็นส่วนของกระดูกอ่อนหลายๆชิ้นมารวมกันเพื่อควบคุมการหายใจเข้าและหายใจออก ป้องกันสิ่งแปลกปลอมไม่ให้เข้าไปในหลอดลมและช่วยควบคุมเสียงร้องที่เกิดขึ้น

6. หลอดลม (trachea) เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่ต่อมาจากกล่องเสียง ประกอบด้วยกระดูกอ่อนที่มีลักษณะเป็นวง (cartilage ring) พวก hyaline cartilage มีสีขาวมาเรียงต่อกัน ด้านบนของวงแหวนจะไม่เชื่อมติดต่อกัน หลอดลมจะมีลักษณะเป็นท่อตรงทอดยาวไปถึงส่วนที่โค้งของหลอดเลือดแดงใหญ่ (arch of aorta) จากนั้นจะแตกแขนงออกเป็น bronchi ด้านซ้ายและด้านขวาซึ่งอยู่ด้านนอกของเนื้อเยื่อปอด ผนังชั้นนอกของกระดูกอ่อนจะเป็น serous membrane ที่มีเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่เหนียวมาก ชั้นกลางของหลอดลมซึ่งเป็นกระดูกอ่อน (hyaline cartilage) จะเป็น
รูปวงแหวน และชั้นในเป็นชั้นเยื่อเมือกที่มีเซลล์ที่มีขน (ciliated columnar epithelium) เรียงตัวกันอยู่ทำหน้าที่ขับสารเมือกออกมาเมื่อเกิดการไอ

7. bronchus และ bronchiole เป็นส่วนของท่อทางเดินหายใจที่ต่อมาจากหลอดลมส่วน (trachea) ที่แตกแขนงออกเป็นแขนงด้ายซ้ายและขวา (left and right bronchi) แต่ละข้างจะเข้าสู่เนื้อเยื่อของปอด แล้วแตกเป็นแขนงย่อยเรียกว่า secondary bronchi ซึ่งจะแตกออกเป็น tertiary bronchi แต่ละ tertiary bronchi จะแตกแขนงออกไปอีกมากมายจนเป็น terminal bronchioles และterminal bronchioles จะแตกแขนงออกเป็น respiratory bronchioles แต่ละ respiratory bronchioles จะมีถุงลมเล็กๆมาเปิดเข้า (อวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการนำอากาศเข้าและออกจากร่างกายเริ่มจากส่วนรูจมูกถึง terminal bronchiole)

8. ถุงลม (alveolar ducts และ alveoli) เป็นถุงลมเล็กๆที่มาเปิดอยู่ตรงปลายของ respiratory bronchioles ถุงลมที่มาเรียงชิดกันอยู่เรียกว่า alveolar ducts และช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการที่มีถุงลมหลายๆถุงมาเปิดเข้าร่วมกัน เรียกว่าalveolar sac ถุงลมแต่ละอันเรียกว่า alveoli



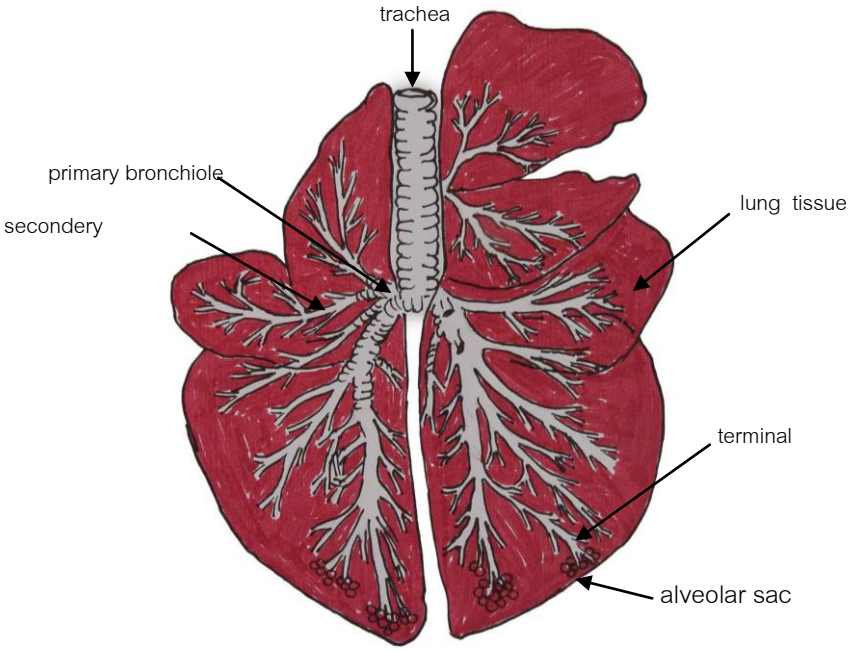
ภาพที่ 6.1 ท่อทางเดินหายใจส่วน bronchiole (ก) และถุงลม (ข)

ดัดแปลงจาก : Carola และ คณะ, 1992

ปอด (lungs)

ปอดเป็นอวัยวะสำคัญในระบบหายใจมี 2 ข้างซ้ายและขวา มีตำแหน่งอยู่ในช่องอก (thoracic cavity) ฐานของปอดแต่ละข้างจะติดกับส่วนหน้าของกระบังลม ปอดแต่ละข้างจะมีเยื่อหุ้ม(pleura) มี 2 ชั้น ชั้นในที่ติดกับเนื้อเยื่อของปอดเรียกว่า mediastinal pleural หรือ visceral pleural ส่วนเยื่อชั้นนอกที่ติดกับกระดูกซี่โครงเรียกว่า parietal pleural ช่องว่างที่เกิดขึ้นระหว่างเยื่อหุ้มปอดทั้งสองชั้นจะถูกเคลือบและหล่อลื่นด้วยของเหลวเรียกว่า pleural fluid ทำหน้าที่ช่วยลดการเสียดสีระหว่างปอดทั้งสองข้างและระหว่างปอดกับโครงสร้างอื่นๆที่อยู่ในช่องอก ระหว่างเนื้อเยื่อปอดทั้งสองข้างมีช่องว่างเรียกว่า mediastinum ภายในช่องว่างนี้มีหัวใจ บางส่วนของหลอดเลือดแดง (descending aorta) เส้นเลือดดำใหญ่ (vena cava) และ หลอดอาหารเป็นต้น

เนื้อเยื่อปอดเป็นส่วนของถุงลมที่มารวมตัวกัน มีลักษณะคล้ายกับฟองน้ำ และมีความยืดหยุ่นมาก เนื้อปอดสามารถแบ่งออกเป็นกลีบๆ (lobes) ในสัตว์แต่ละชนิดจะมีจำนวนกลีบไม่เท่ากันเช่นในโค สุกรและแกะ ในปอดข้างขวาจะมี 4 กลีบ และปอดข้างซ้ายมี 3 กลีบ แต่ในม้าเนื้อปอดจะไม่สามารถแบ่งแยกออกเป็นกลีบๆได้



ภาพที่ 6.2 แสดงปอดของโค

กลไกของการหายใจ (mechanism of breathing)

การหายใจในสภาพปกติจะเป็นแบบอัตโนมัติเช่นเดียวกับการเต้นของหัวใจ การหายใจในสภาพปกติแต่ละครั้ง จะมีปริมาณอากาศที่หายใจเข้าเท่ากับปริมาณอากาศที่หายใจออก ในการหายใจแบบปกติแต่ละครั้งจะประกอบด้วยการหายใจเข้า (inspiration) 1 ครั้ง และการหายใจออก (expiration) 1 ครั้ง เป็นการหายใจแบบปกติที่สามารถวัดเป็นจำนวนครั้ง/นาที เรียกว่าอัตราการหายใจ (respiartion rate) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีค่าอัตราการหายใจที่แตกต่างกันไป เช่นใน

โคมีอัตราการหายใจ 10-50 ครั้ง/นาที ในสุกรมีอัตราการหายใจ 8-18 ครั้ง/นาที ม้ามีอัตราการหายใจ 8-16 ครั้ง/นาที แกะมีอัตราการหายใจ 12-20 ครั้ง/นาที และในไก่มีอัตราการหายใจ 15-30 ครั้ง/นาที อัตราการหายใจของสัตว์จะเปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดเวลา ขึ้นกับความต้องการอากาศหรือความต้องการออกซิเจนของเซลล์ในร่างกายในขณะนั้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความดันของก๊าซออกซิเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในถุงลมปอด(alveoli) ให้อยู่ในระดับคงที่ การหายใจเข้าและการหายใจออกที่ปกติและไม่ปกติจะต้องอาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อลายเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการทำงานของกล้ามเนื้อลายที่ซี่โครงส่วน internal intercostal muscle และส่วน external intercostal muscle นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับกล้ามเนื้อกระบังลมและกล้ามเนื้อท้องด้วย สำหรับกล้ามเนื้อเรียบที่เกี่ยวข้องกับการหายใจส่วนใหญ่จะเป็นกล้ามเนื้อเรียบที่เป็นส่วนประกอบของผนังท่อทางเดินหายใจ และผนังหลอดเลือดที่มาหล่อเลี้ยงปอด

การควบคุมการหายใจ

การหายใจปกติจะถูกควบคุมโดยระบบประสาท ที่ศูนย์หายใจที่สมองส่วนแมดดูล่าร์ (medullar respiratory center) และศูนย์หายใจที่สมองส่วนพอนส์ (pons) นอกจากนี้การควบคุมการหายใจยังสามารถถูกควบคุมได้โดยสารเคมีในเลือด เช่นความเป็นกรด-ด่างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของ H^+,CO_2 และ O_2 ในเลือด ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของศูนย์หายใจที่สมอง

1. การควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

ก.การควบคุมที่ศูนย์หายใจแมดดูล่าร์ (medullar respiratory center) ประกอบด้วยศูนย์หายใจเข้า (inspiratory center) และศูนย์หายใจออก (expiratory center) ทั้งสองศูนย์นี้จะทำงานสลับกันไปแบบยับยั้งกัน เมื่อศูนย์หายใจเข้าทำงานจะยับยั้งไม่ให้ศูนย์หายใจออกทำงาน (ส่วนใหญ่จะไม่ทำงาน) จึงทำให้มีการหายใจเข้าและหายใจออกสลับกันไป ศูนย์หายใจทั้งสองมีเซลล์ประสาท 2 ประเภทคือ dorsal respiratory group (DRG) และ ventral respiratory group (VRG) ส่วน DRG จะเป็นศูนย์หายใจเข้า(inspiratory center) ส่วน VRG จะเป็นศูนย์หายใจออก (expiratory center) ส่วนของศูนย์ (center) เป็นส่วนที่เกิดจากการรวมกลุ่มกันของเซลล์ประสาทหลายๆเซลล์ ศูนย์แต่ละศูนย์จะทำหน้าที่รับกระแสประสาท (nerve impulse) จากตัวรับความรู้สึก (receptor) ซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) เมื่อมีสิ่งกระตุ้นที่ปลายประสาท (dendrite)ของเซลล์ประสาทรับความรู้สึก ก็จะมีการส่งกระแสประสาทผ่านมาทาง afferent nerve ของประสาทรับความรู้สึกเพื่อส่งกระแสประสาทไปที่ศูนย์ ศูนย์เมื่อรับกระแสประสาทจะออกคำสั่งแล้วส่งมาตามประสาทสั่งการ (motor nerve) ผ่าน efferent nerve โดย

ระบบประสาทสั่งการ (motor nerve) มี 2 ตัวได้แก่ first neuron หรือ preganglionic nerveซึ่งจะมีการ synapesis กับประสาทสั่งการตัวที่สอง เรียกว่า secondary neuron หรือ postganglionic nerveซึ่งจะเป็นตัวออกคำสั่งและส่งคำสั่งไปที่อวัยวะเป้าหมาย (target organ) เช่นส่วนของกล้ามเนื้อลายที่ซี่โครง (intercostal muscle) และกล้ามเนื้อกระบังลม (diaphragm) ขบวนการตั้งแต่มีการกระตุ้นจากสิ่งเร้าภายนอกที่ปลายประสาทรับความรู้สึกจนกระทั่งมีการตอบสนองของกล้ามเนื้อโดยการสั่งการจากสมองเรียกว่า reflex arc

สำหรับกลไกในการหายใจเข้าจะเกิดขึ้นเมื่อมีสิ่งกระตุ้นที่ประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) ซึ่งจะส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นศูนย์หายใจเข้า (inspiratory center) ที่ศูนย์หายใจเข้าจะมีคำสั่งส่งมาที่ปอด โดยจะไปกระตุ้นการทำงานของถุงลมปอดให้ถุงลมมีการยืดออก พร้อมทำให้กล้ามเนื้อที่ซี่โครงส่วน internal intercostal muscle ยืดตัว และกล้ามเนื้อที่กระบังลม (ray muscle fiber) เกิดการหย่อนตัวลงมา ดังนั้นเวลาที่เกิดการหายใจเข้ากระบังลมจึงยืดตัวลงมาทางด้านล่างของช่องท้อง ขณะเดียวกันช่องระหว่างกระดูกซี่โครงจะขยายออกไปทางด้านบนจนถึงซี่โครงซี่แรก จะเห็นได้ว่าเวลาหายใจเข้าจะมีความยาวลำตัวมากขึ้น และมีการขยายหน้าอกไปข้างหน้าตามการขยายตัวของกระบังลม

เมื่อกระแสประสาทที่กระตุ้นการหายใจเข้าหยุดลง ศูนย์หายใจออก (expiratory center) จะเริ่มทำงานโดยจะส่งคำสั่งผ่านกระแสประสาท(impulse) ไปที่กล้ามเนื้อ external intercostal muscle ทำให้เกิดการยืดตัว และสั่งให้ส่วนกล้ามเนื้อ internal intercostal muscle ที่บริเวณซี่โครงและกล้ามเนื้อที่กระบังลมเกิดการหดตัว รวมทั้งกล้ามเนื้อเรียบรอบๆถุงลมและท่อทางเดนหายใจเกิดการหดตัวเพื่อขับก๊าซออกจากร่างกายผ่านทางลมหายใจออก

ข.การควบคุมการหายใจที่ศูนย์หายใจที่สมองส่วนพอนส์ (pons respiratory center) ที่สมองส่วนพอนส์มีกลุ่มเซลล์ประสาทที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจ 2 กลุ่มได้แก่ apneustic center และ pneumotaxic center การทำงานของ apneustic center จะเกี่ยวกับการหายใจเข้าโดยจะทำงานผ่านส่วนศูนย์หายใจเข้าที่สมองส่วนแมดดูล่าร์ medullary inrespiratory center พบว่าถ้ามีการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าที่ apneustic center จะเกิดภาวะการหายใจเข้าตลอดเวลา ภาวะนี้เรียกว่า apneusis โดย apneustic center จะมีการส่งกระแสประสาทมากระตุ้นหรือสั่งการให้ medullar inspiratory center ทำงาน ส่วน pneumotaxic center เป็นศูนย์หายใจที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการหายใจเข้า โดยไม่ให้มีการหายใจให้อากาศเข้าที่ปอดมากเกินไป โดย pneumotasic center จะส่งกระแสประสาทไปที่ medullar exspiratory center และ apneustic center ทำให้ ศูนย์หายใจออก (exspiratory center) ทำงานและยับยั้งการทำงานของ apneustic center

2. การควบคุมทางเคมี ในการหายใจนอกจากจะต้องมีการนำก๊าซออกซิเจนเข้าในร่างกายให้เพียงพอต่อความต้องการเมตาโบลิซึมของเซลล์แล้ว ยังต้องขับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกให้ได้ในปริมาณใกล้เคียงกันกับปริมาณที่เซลล์ผลิตออกมาด้วย ดังนั้นในการหายใจจึงมีการเปลี่ยนแปลงต่างๆเกิดขึ้นในเลือดด้วย เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณหรือค่าความดันของก๊าซออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งปริมาณไฮโดรเจนอิออน (H^+) หรือการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในเลือด โดยจะมีตัวรับหรือตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสารดังกล่าว เรียกว่า chemorecepstors หรือ respiratory chemoreceptors ในการหายใจปกติปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดจะมีบทบาทมากที่สุดในการควบคุมการหายใจ ในร่างกายจะมีตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ 2 กลุ่มได้แก่ central chemoreceptors และ peripheral chemoreceptors ส่วนของ central chemoreceptors เป็นตัวรับที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดมาก นอกจากนี้ยังสามารถไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอิอนต่างๆเช่น H^+ และ pH ของเลือด แต่ไม่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความดันของออกซิเจนในเลือด central chemoreceptors นี้จะพบได้ที่สมองส่วนแมดดูล่าร์ สมองส่วนนี้เมื่อถูกกระตุ้นจะส่งกระแสประสาทเป็นสันญาณไปที่ศูนย์ควบคุมการหายใจ มีผลให้เกิดการหายใจที่เร็วขึ้นและแรงขึ้นกว่าเดิม pheripheral chemoreceptors เป็นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เอยู่นอกระบบประสาทส่วนกลาง โดยปกติจะทำหน้าที่รับหรือถูกกระตุ้นเมื่อระดับ O_2, CO_2 และ H^+ ในเลือดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ จะพบ peripherial chemoreceptors อยู่ที่ carotid bolis ตรงทางแยกของ external และ internal carotid arteries จะตอบสนองต่อการขาดออกซิเจนโดยการกระตุ้นให้มีการหายใจเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบตัวรับนี้ที่ส่วน aortic bodies ที่ผนัง aortic arch กลไกที่ร่างกายใช้ในการปรับความเข้มข้นของ CO_2, O_2 และ H^+ ในเลือดโดยผ่านทาง chemoreceptors นับเป็น reflex อย่างหนึ่งเรียกว่า chemorecepter reflex นอกจากการควบคุมการหายใจโดยระบบประสาทผ่านศูนย์หายใจที่แมดดูล่าร์และพอนส์ รวมทั้งการควบคุมผ่านสารเคมีเช่น O_2, CO_2 และ H^+ แล้ว การควบคุมการหายใจโดยกลไกรีเฟล็กซ์ ก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย เพื่อปรับการหายใจให้พอเหมาะกับสภาวะนั้นๆ เช่น baroreceptor reflex, proprioceptor reflex , respiratory reflex และ inflation reflex เป็นต้น

กลไกที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อกำจัดสิ่งแปลกปลอมในส่วนท่อทางเดินหายใจ เช่นการไอ และการจามเป็นต้น

การไอ (couch) เป็นรีเฟล็กซ์ที่ร่างกายใช้ในการป้องกันไม่ให้สิ่งแปลกปลอมหรือก๊าซที่ระคายเคืองเข้าไปใน bronchioles และ alveoli เมื่อมีการกระตุ้นที่ตัวรับความรู้สึกที่บริเวณกล่องเสียง หลอดคอ หูชั้นนอกส่วน cough reflex หรือกระตุ้นที่เยื่อหุ้มปอด ตัวรับที่ถูกกระตุ้นจะส่งสัน

ญาณหรือกระแสประสาทไปที่ศูนย์ cough center หรือ expiratory center ที่อยู่ในสมองส่วนแมดดูล่าร์ (medullar oblongata) ทำให้สมองส่วนแมดดูล่าร์ส่งกระแสประสาทที่เป็นคำสั่งมาที่กล้ามเนื้อหน้าอก กล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อที่กล่องเสียง ทำให้เกิดการไอ โดยส่วน glottis จะปิดตัวเองอย่างแรงและแน่น กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจออกจะหดตัวอย่างแรง ทำให้เกิดความดันในช่องอกและช่องท้องเพิ่มมากขึ้น เมื่อความดันช่องอกสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง glottis จะค่อยๆเปิดออก กระทั่งความดันช่องท้องสูงกว่าช่องอกซึ่งจะดันให้กระบังลมยกสูงขึ้นและดันเอาอากาศออกมาอย่างแรงผ่าน glottis ที่เปิดอยู่ ขณะที่ glottis เปิดส่วนเพดานอ่อน (soft palate) จะยกตัวสูงขึ้นเพื่อปิดส่วน nasopharynx ทำให้อากาศที่พุ่งออกมาทางปากด้วยความเร็วสูงมาก

การจาม (sneezing) เป็นกลไกการป้องกันร่างกายอีกวิธีหนึ่งเพื่อกำจัดสิ่งที่มาทำความระคายเคืองให้แก่ท่อทางเดินหายใจหรือท่อทางเดินอากาศส่วนต้น โดยจะมีตัวรับที่เยื่อบุในช่องจมูกเมื่อได้รับการกระตุ้นตัวรับจะส่งสัญญาณผ่าน olfactory nerve ไปยัง expiratory center อากาศที่ออกมาจะออกมาทั้งจากท่อทางเดินหายใจและท่อทางเดินอาหาร(ออกมาทั้งทางปากและจมูก)

การขนส่งและการแลกเปลี่ยนก๊าซในเลือด

ก.การขนส่งก๊าซออกซิเจนไปสู่เซลล์ในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อให้เซลล์นำออกซิเจนไปใช้ประโยชน์ในขบวนการเมตาโบลิซึมและ การรับเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เซลล์ผลิตได้ขนส่งไปถ่ายเทออกที่ถุงลมปอดจะดำเนินไปได้โดยใช้เลือดเป็นตัวพาไป ออกซิเจนจากอากาศที่เข้าสู่ร่างกายจะแพร่ผ่านผนังของถุงลมที่ปอดเข้าไปในเลือดได้ใน 2 ลักษณะคือ ออกซิเจนจะละลายในเลือดหรือพลาสม่า (dissolved oxygen) และออกซิเจนที่รวมตัวกับฮีโมโกลบินหรือเกาะกับเฮโมโกลบิน (oxyhaemoglobin) ส่วนของ dissolved oxygen ได้แก่ส่วนของออกซิเจนที่ละลายตัวในน้ำเลือดหรือพลาสม่า ซึ่งจะมีเป็นส่วนน้อย เพราะส่วนใหญ่ออกซิเจนที่เข้าสู่ร่างกาย

เพื่อไปสู่เนื้อเยื่อตามส่วนต่างๆจะรวมตัวกับเฮโมโกลบินอย่างหลวมๆ เรียกว่า oxyhaemoglobin โดยการเกิดปฏิกริยาทางเคมีที่สามารถเปลี่ยนแปลงกลับไปมาได้ $Hb + O_2 \rightleftharpoons HbO_2$

ในเลือดแดงหรือเลือดที่ผ่านการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอดแล้วจะมีออกซิเจนสูงเพราะมีการรวมตัวระหว่างออกซิเจนและเฮโมโกลบิน ซึ่งจะเพิ่มค่า oxygen carring capacity ของเลือด ในเลือดแดง 100 ซีซีจะมีก๊าซออกซิเจน 70 ซีซี เนื่องจากเลือด 100 ซีซี มีเฮโมโกลบิน 15 กรัม และ 1 กรัมเฮโมโกลบินสามารถรวมกับออกซิเจนได้ 1.34 ซีซี

ข.การขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดมี 3 แบบด้วยกันคือ dissolved carbondioxide, bicarbonate และ carbaminohamoglobin การขนส่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในร่างกายจะเป็นการขนส่งในรูปของไบคาร์บอเนท (bicarbonate)มากที่สุด โดยก๊าซที่เกิดขึ้นในเซลล์จะแพร่เข้ามาในเลือด(diffuse) แล้วจะเข้าทำปฏิกริยากับน้ำในเลือดได้เป็นกรดคาร์บอนิก(carbonic acid) เนื่องจากในเลือดมีเอ็นไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรส (carbornic anhydrase) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกริยาทำให้กรดคาร์บอนิกแตกตัวได้ H^+และ HCO_3^- H^+ ที่เกิดขึ้นจะไปรวมตัวกับ reduced hemoglobin (ที่เกิดจากการปลดปล่อย O_2 ออกจาก oxyhemoglobin) เนื่องจาก มีฤทธิ์เป็นกรดน้อยกว่าปรากฏการณ์นี้เรียกว่า holdane effect ซึ่งหมายถึงปรากฏการณ์ที่เลือดให้ O_2 แก่เนื้อเยื่อมากเท่าใดก็สามารถรับ CO_2 ได้มากขึ้นเท่านั้น ส่วน HCO_3^- ที่เกิดขึ้นในเม็ดเลือดแดงเมื่อมีมากกว่าในน้ำเลือดก็จะแพร่ออกจากเม็ด

เลือดมาในน้ำเลือด แต่ H^+ ไม่สามารถออกมาจากเม็ดเลือดได้ จึงต้องมี Cl^- ถูกดึงเข้าไปในเม็ดเลือดแดงเพื่อรักษาความสมดุลของอิออนในเลือดเรียกขบวนการนี้ว่า chloride shift

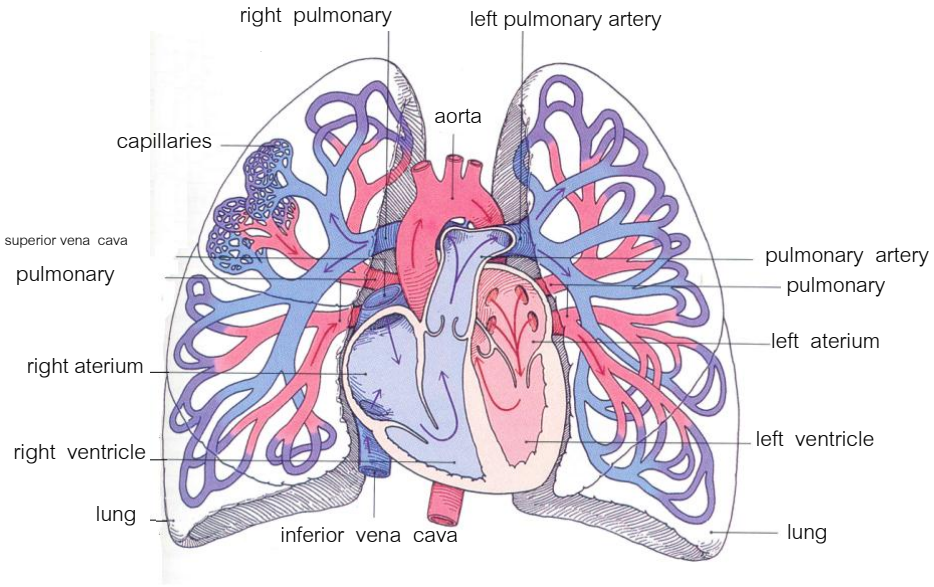
การแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถุงลมปอดจะเกิดขึ้นด้วยขบวนการแพร่ (diffusion) เนื่องจากอากาศที่เข้ามาอยู่ในถุงลมจะอยู่ใกล้ชิดกับเส้นเลือดฝอยมาก จึงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกันได้ โดยขบวนการแพร่ในรูปของของเหลว (liquid phase diffusion) การแพร่ของก๊าซที่เกิดขึ้นเกิดจากความแตกต่างระหว่างความดันของก๊าซในเลือดและความดันของก๊าซในถุงลม (alveolar air) โดยก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงจะแพร่ไปยังก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจนกระทั่งความดันเท่ากันหรือเกิดความสมดุลของความดันทั้งสองฝ่าย สำหรับอากาศในถุงลมจะมีความดันของก๊าซออกซิเจนสูงและความดันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำ ดังนั้นออกซิเจนจึงแพร่จากถุงลมเข้าไปสู่เลือด(เลือดดำ)ใน pulmonary capillary ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์จะแพร่จากเลือดดำที่มีความดันสูงกว่าเข้าสู่ถุงลมปอดแทน โดยการแพร่ของอากาศในถุงลมนั้นออกซิเจนจะแพร่ได้เร็วกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ ในร่างกายสัตว์เลี้ยงการแลกเปลี่ยนก๊าซที่เกิดจากการหายใจจะเป็นไปตามกฎ Dalton's law ที่กล่าวว่าในก๊าซผสมที่ประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดรวมกัน ก๊าซแต่ละชนิดจะทำให้เกิดความดันเรียกว่า partial pressure หรือ tension ความดันของก๊าซแต่ละชนิดจะมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มข้นของก๊าซนั้นๆในก๊าซผสมโดยไม่ขึ้นกับก๊าซอื่นเลย และความดันรวมของก๊าซผสมจะเท่ากับผลรวมของ partial pressure ของก๊าซแต่ละชนิดที่รวมกันเป็นก๊าซผสม

ด้วยเหตุที่ความดันของก๊าซแต่ละชนิดในเลือดแดง เลือดดำ และในถุงลม มีความแตกต่างกัน โดยออกซิเจนในถุงลมมีความดันสูงกว่าในเลือดดำและคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดดำมีความดันสูงกว่าในถุงลม จึงเกิดการแลกเปลี่ยนก๊าซกันขึ้นระหว่างก๊าซในถุงลมและในเลือดดำ การปลดปล่อยออกซิเจนที่เกาะมากับเฮโมโกลบินจะเกิดได้เร็วหรือช้าจะขึ้นกับปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในเซลล์ ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงขึ้นในเลือดจะมีผลให้เลือดมีค่าความเป็นกรดสูง ซึ่งจะมีส่วนในการกระตุ้นให้เฮโมโกลบินปลดปล่อยออกซิเจนได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกริยาทางเคมีในร่างกายก็มีส่วนในการเร่งการปลดปล่อยออกซิเจนจากเฮโมโกลบินด้วย ค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่หายใจออกกับปริมาตรของก๊าซออกซิเจนที่หายใจเข้าเพื่อนำไปใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึมจะเรียกว่า ค่า RQ (respiratory quotient) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

ค่า RQ (respiratory quotient) = $\frac{\text{ปริมาตรของ } CO_2 \text{ ที่หายใจออก}}{}$

ปริมาตรของ O_2 ที่หายใจเข้า

โดยค่า RQ ของ คาร์โบไฮเดรท = 1, ค่า RQ ของโปรตีน = 0.80 , ค่า RQ ของไขมัน = น้อยกว่า 1



ภาพที่ 6.3 การไหลเวียนของเลือดจากหัวใจไปฟอกที่ปอด

ดัดแปลงจาก : Carola และ คณะ, 1992

ส่วนประกอบของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากร่างกาย

ส่วนประกอบของอากาศที่หายใจเข้าและออกสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

ก.inspired air หรือ room air หมายถึงอากาศที่หายใจเข้าที่ประกอบด้วย O_2 และ N_2 เป็นส่วนใหญ่ มี CO_2 น้อยมาก นอกจากอากาศที่หายใจเข้าจะมีก๊าซแล้วยังมี ก๊าซเฉื่อย (innert gas) ปนอยู่ด้วยเช่น helium และ argon เป็นต้น

ข. alveolar air หมายถึง ส่วนประกอบของอากาศในส่วนที่เข้าไปอยู่ในถุงลมปอด (alveoli) มีค่าเท่ากับปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าหรือออกหนึ่งครั้ง (tidal volume) หักออกด้วยอากาศที่ค้างอยู่ใน nasal passage เช่นอากาศที่อยู่ตามหลอดลม (trachea) เรียกว่า anatomical dead space

ค. expired air หมายถึงอากาศที่หายใจออกจากร่างกาย มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ CO_2, O_2, N_2, H_2O และก๊าซอื่นๆ สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีส่วนของ CH_4 ปนมาด้วย

ปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจ

ปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นกับความลึกของการหายใจ หรืออัตราการหายใจ ในกรณีการหายใจปกติปริมาตรอากาศที่ใช้หายใจจะมีน้อยกว่าปริมาตรอากาศที่ร่างกายใช้ในกิจกรรมต่างๆ โดยสามารถแบ่งอากาศที่ใช้หายใจออกได้ดังนี้

ก.tidal air หรือ tidal volume (TV) หมายถึงปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าและออกในแต่ละครั้งสำหรับการหายใจปกติ ค่า tidal volume มีความจำเป็นต่อความต้องการอากาศในสัตว์แต่ละชนิดเช่น ในม้ามีค่าtidal volume เท่ากับ 6,000 ซีซี/ครั้ง แกะ 300-310 ซีซี/ครั้ง โค 3,100 ซีซี/ครั้งขณะนอน 3,600 ซีซี/ครั้งเมื่อยืน

ข. inspiratory reserve volume (IRV) คือปริมาตรอากาศที่มากที่สุดที่สัตว์สามารถหายใจเข้าได้หลังจากการหายใจเข้าปกติ หรือปริมาตรอากาศที่สัตว์สามารถหายใจเข้าได้เต็มที่หลังจากที่หายใจเข้าปกติแล้ว

ค.expiratory reserve volume (ERV) หมายถึงปริมาตรอากาศที่หายใจออกเต็มที่หลังจากหายใจออกปกติ

ง. residual air หรือ air volume หมายถึงปริมาตรอากาศที่มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนก๊าซในปอด จะเป็นปริมาตรอากาศที่เหลืออยู่ในถุงลมขณะที่มีการหายใจออกเต็มที่

ค่าความจุของปอด (lung capacity)

ค่าความจุของปอดที่สำคัญได้แก่ vital capacity, total lung capacity, inspiratory capacity เป็นต้น

ก.vital capacity หมายถึงปริมาตรอากาศที่มากที่สุดของการหายใจเข้าหรือการหายใจออกหลังจากที่มีการหายใจเข้าหรือออกกว่าปกติ

ข.total lung capacity หมายถึง ปริมาตรอากาศทั้งหมดในปอดหลังจากการหายใจเข้าอย่างเต็มที่

ค.inspiratory capacity หมายถึง ปริมาตรอากาศที่หายใจเข้าเต็มที่หลังจากการหายใจออกอย่างปกติ

ค่า dead space หมายถึงปริมาตรอากาศในท่อทางเดินหายใจที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ระหว่างถุงลมปอดกับเลือด เป็นค่าที่ค่อนข้างคงที่ ค่า dead space แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

ก.anatomical dead space หมายถึงจำนวนหรือปริมาตรของอากาศในท่อทางเดินหายใจที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซเกิดขึ้น

ข. physiological dead space หรือ total dead space หมายถึงปริมาตรของอากาศทั้งหมดที่อยู่ในระบบหายใจ ซึ่งไม่มีการแลกเปลี่ยนก๊าซ ในสภาพปกติจะมีค่าใกล้เคียงกับ anatomical dead space

บทที่ 7
ของเหลวในร่างกาย
Body fluid

ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดรวมทั้งสัตว์เลี้ยงภายในร่างกายจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ ประมาณ 60-70% สัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีปริมาณน้ำในร่างกายแตกต่างกันไป เนื่องจากมีปริมาณไขมันที่แตกต่างกัน เนื้อเยื่อโดยทั่วไปจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบ 75% ส่วนเนื้อเยื่อไขมันมีน้ำเป็นองค์ประกอบประมาณ 10-20% เท่านั้น

น้ำในร่างกาย

น้ำในร่างกายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1.น้ำที่อยู่นอกเซลล์ (extracellular fluid) เป็นน้ำที่อยู่นอกเยื่อหุ้มเซลล์เช่นน้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ และน้ำที่อยู่ในเส้นเลือดและเส้นน้ำเหลือง เป็นต้น ทำหน้าที่รักษาสภาพแวดล้อมภายนอกเซลล์ให้คงที่ แบ่งออกได้ 3 ส่วนคือ

1.1น้ำเลือด (plasma) คือน้ำที่อยู่ในระบบหมุนเวียนของเลือด มีอยู่ประมาณ 4-5 % ของน้ำหนักตัว

1.2น้ำเหลือง (lymph) คือน้ำที่อยู่ภายในท่อน้ำเหลือง ซึ่งจะไหลเวียนเข้าสู่ระบบเส้นเลือดดำเข้าหัวใจ มีประมาณ 2-3%

1.3น้ำที่อยู่ระหว่างเซลล์ (intercellular fluid) เป็นน้ำที่อยู่รอบๆเซลล์ หรือน้ำตามช่องว่างระหว่างเซลล์ มีหน้าที่ช่วยทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ชุ่มชื้นอยู่เสมอ เพื่อช่วยในการนำสารอาหารเข้าสู่เซลล์และนำของเสียออกขากเซลล์ มีประมาณ 16-20%

2.น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ (intracellular fluid) คือน้ำที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ทั้งหมด มีความสำคัญในการเมตาโบลิซึม มีประมาณ 20-40%

เนื่องจากน้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการมีชีวิตอยู่ของเซลล์ ในร่างกายสัตว์เลี้ยงจึงต้องมีกลไกในการรักษาสมดุลของน้ำในร่างกายตลอดเวลา เพื่อให้ร่างกายได้น้ำและสูญเสียน้ำในแต่ละวันในปริมาณที่เท่ากัน โดยทั่วไปในร่างกายมีการควบคุมน้ำ 2 วิธี คือ

2.1 การควบคุมการดื่มน้ำ โดยกลไกที่มีศูนย์กลางการดื่มน้ำ (drinking center)อยู่ที่สมองส่วนไฮโปธามามัส เมื่อร่างกายขาดน้ำสมองส่วนไฮโปธาลามัสจะกระตุ้นให้สัตว์ดื่มน้ำ เมื่อได้รับน้ำตามต้องการ ร่างกายจะมีกลไกในการยับยั้งการทำงานของประสาท

2.2 กลไกการควบคุมน้ำในรูปของการขับถ่ายปัสสาวะผ่านไต เมื่อร่างกายได้รับน้ำมากเกินความต้องการ ไตจะขับน้ำปัสสาวะออกมาก หากได้รับน้ำน้อยจะขับปัสสาวะออกน้อย

เลือด(blood)

เลือดเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดพิเศษที่เป็นส่วนของของเหลวที่สำคัญในร่างกาย สำหรับวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับเลือดเรียกว่า haematology เลือดประกอบด้วยส่วนที่เป็นของเหลวเรียกว่าน้ำเลือด หรือพลาสม่า (plasma) มีอยู่ประมาณ 45-65% ที่เหลือคือส่วนของเซลล์เม็ดเลือด (corpuscles) ชนิดต่างๆ เช่นเซลล์เม็ดเลือดแดง (erythrocytes) เซลล์เม็ดเลือดขาว (leukocytes) และเกล็ดเลือด (platelet) ส่วนของน้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณ 90 % ส่วนที่เหลือเป็นโปรตีนชนิดต่างๆ สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์เช่น ฮอร์โมน Fe^{++} และ Ca^{++}เป็นต้น เซลล์เม็ดเลือดแดงจะเป็นส่วนที่ลอยอยู่ในเส้นเลือดและหัวใจ เซลล์เม็ดเลือดแดงเคลื่อนที่เองไม่ได้ ส่วนเซลล์เม็ดเลือดขาวบางส่วนสามารถจะแทรกตัวผ่านผนังเลือดออกมาทำลายเชื้อโรคที่อยู่ระหว่างเซลล์ในเนื้อเยื่อได้ เลือดจะไหลเวียนไปตามส่วนต่างๆของร่างกายตามระบบเลือด(blood system) โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ เมื่อนำเลือดออกจากร่างกายมาใส่ในหลอดแก้ว(test tube) และตั้งทิ้งไว้ พบว่าเลือดมีการแข็งตัวและแยกออกเป็น 2 ชั้น ส่วนของเลือดที่แข็งตัวเรียกว่าลิ่มเลือด (blood clot) จะเกาะรวมกันเป็นก้อนอยู่ด้านล่างของหลอดแก้ว ส่วนที่เป็นน้ำใสๆด้านบนลิ่มเลือดมีสีเหลืองเรียกว่าซีรั่ม(serum) ถ้านำเลือดใส่ในหลอดแก้วที่มีสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด (anticoaggulant) เช่น สาร sodiumcitrate, ammonium oxalalate,heparin หรือ EDTA (ethylene-diamine-tetraacetate) จากนั้นนำหลอดแก้วที่มีเลือดอยู่ไปเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จะพบว่าเลือดมีการแยกชั้นเป็น 2 ชั้นเช่นกัน ชั้นล่างเป็นส่วนที่มีสีแดงคือเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆที่อัดตัวกันแน่นหรือเฮมาโตคริท(hematocrit) ชั้นบนเป็นของเหลวเรียกว่าพลาสม่าหรือน้ำเลือด(plasma) ส่วนประกอบของซีรั่ม และพลาสม่า แตกต่างกันที่ซีรั่มจะไม่มีส่วนของโปรตีนในเลือดเป็นองค์ประกอบ รวมถึงไม่มีสารที่ป้องกันการแข็งตัวของเลือดเช่น fibrinogen โดยทั่วไปของเหลวในร่างกายเช่นเลือดและน้ำเหลืองจะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบตลอดเวลา แต่ร่างกายก็มีกลไกหรือระบบที่ใช้ควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงของเลือดอยู่ในสภาวะสมดุลเสมอเช่นการควบคุมโดยการหายใจ การขับถ่ายปัสสาวะและการควบคุมความเป็นกรด-ด่างในร่างกาย (acid-base balance) ปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ในแกะจะมีเลือดประมาณ 8% ของน้ำหนักตัว ในโคมีเลือดประมาณ 7.7 % และในม้ามีเลือดประมาณ 9.7% เป็นต้น ค่าความถ่วงจำเพาะของเลือดมีค่าประมาณ 1.042-1.060 มีค่า

ความเป็นกรด-ด่าง(pHระหว่าง 7.20-768 และมีค่าความดันออสโมซีสเท่ากับ 0.85% ของความดันออสโมซีสของสารละลายเกลือแกง

เลือดมีหน้าที่สำคัญ คือ

1.นำสารอาหารหรือโภชนะที่ได้จากการดูดซึมผ่านเซลล์เยื่อบุของกระเพาะอาหาร และลำไส้ไปส่งให้ตับ และเซลล์ต่างๆของร่างกาย เพื่อให้เซลล์นำไปใช้ประโยชน์

2.เกี่ยวข้องกับการนำฮอร์โมนจากแหล่งผลิตเพื่อส่งไปยังอวัยวะเป้าหมายรวมทั้งขนส่งสารที่ทำหน้าที่ควบคุมขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์

3.นำของเสียที่เป็นพิษหรือสารที่ร่างกายไม่ต้องการไปที่ไตเพื่อขับออกจากร่างกาย

4.นำก๊าซออกซิเจนจากปอดไปสู่เซลล์ส่วนต่างๆของร่างกาย นำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการเมตาโบลิซึมของเซลต่างๆกลับมาที่ปอดเพื่อขับออกจากร่างกาย

5.เกี่ยวข้องกับการรักษาความสมดุลของน้ำ และอิเลคโตรไลท์ในร่างกาย

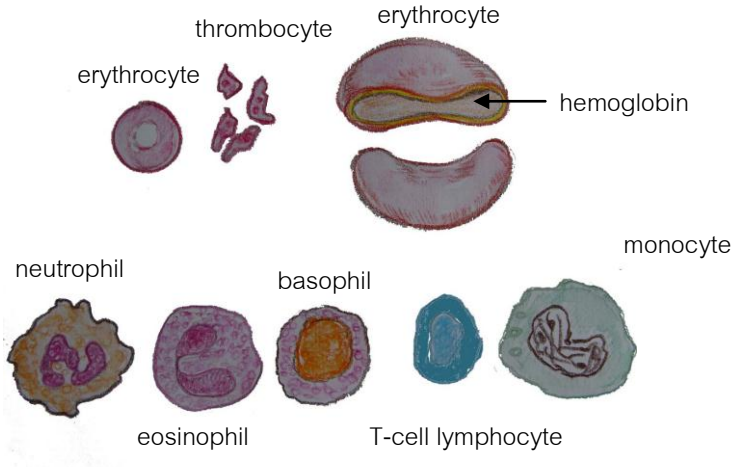
6.เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิในร่างกาย และรักษาความสมดุลของกรด-ด่างในของเหลวในร่างกาย

7.เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด เพื่อป้องกันการสูญเสียเลือดจากบาดแผล

8.เกี่ยวข้องกับการทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายโดยใช้เซลล์เม็ดเลือดขาว และแอนติบอดี้(antibodies) ชนิดต่างๆ

ประเภทของเม็ดเลือด

ส่วนของเลือดที่ไม่ใช่ของเหลวหรือน้ำเลือดประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดชนิดต่างๆเช่นเม็ดเลือดแดง (red blood cell หรือ erythrocyte) เม็ดเลือดขาว (white blood cell หรือ leucocytes) และเศษเม็ดเลือดหรือเกล็ดเลือด (blood platelets หรือ thrombocytes



ภาพที่ 7.1 ประเภทของเม็ดเลือด

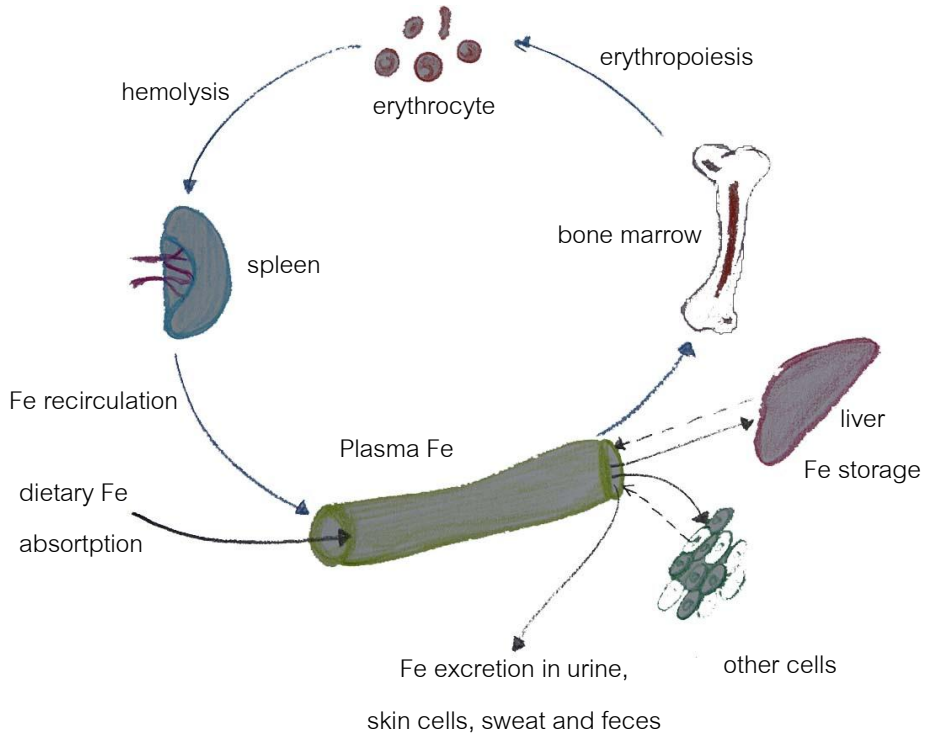
ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992

เซลล์เม็ดเลือดแดง (erytrocytes **หรือ** red blood cell)

เซลล์เม็ดเลือดแดงเป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีมากที่สุดในร่างกาย ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว ประกอบด้วยน้ำประมาณ 62-72% มีส่วนที่เป็นของแข็ง (solid) ประมาณ 35 % โดยส่วนของของแข็งเป็นเฮโมโกลบินประมาณ 95 % เฮโมโกลบินเป็นโปรตีนที่ทำหน้าที่ในการพาออกซิเจนจากถุงลมปอดไปสู่เซลล์โดยผ่านระบบการไหลเวียนของเลือด และนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลล์ไปที่ปอดเพื่อขับออกจากร่างกาย ในขณะที่เป็นตัวอ่อนเม็ดเลือดแดงถูกสร้างที่ถุงไข่แดง ตับ ไต และต่อมน้ำเหลือง แต่ในระยะหลังคลอดเม็ดเลือดแดงจะถูกสร้างที่ไขกระดูก ส่วนของของแข็งในน้ำเลือดนอกจากเฮโมโกลบินจะประกอบด้วยไขมัน ฟอสฟอไลปิด ไวตามิน กลูโคส เอนไซม์ และแร่ธาตุชนิดต่างๆ เป็นต้น ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดเม็ดเลือดแดงจะมีขนาด รูปร่าง ความหนา และเส้นผ่าศูนย์กลางที่แตกต่างกัน เม็ดเลือดแดงที่ยังเติบโตไม่เต็มที่(immature erytrocyte) จะยังคงอยู่ในส่วนของไขกระดูกแดง (red bone marrow) ขณะที่เซลล์เม็ดเลือดแดงยังไม่โตเต็มที่จะมีนิวเคลียสอยู่ แต่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่นิวเคลียสจะหายไป โดยทั่วไปเม็ดเลือดแดงจะมีรูปร่างกลม (circular disces) เว้าทั้ง 2 ด้าน(biconcave) เนื่องจากไม่มีนิวเคลียส การเว้าขอเซลล์เม็ดเลือดแดงมีส่วนเพิ่มพื้นที่ผิวในการขนส่งออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ เซลล์มีความยืดหยุ่นได้ดีจึงสามารุโค้งงอได้และผ่านเข้าในเส้นเลือดฝอยได้ เซลล์เม็ดเลือดแดงที่โตเต็มที่จะหลุดออกจากไขกระดูก เข้ามาลอยอยู่ในน้ำเลือดภายในเส้นเลือดต่างๆ และหัวใจ เซลล์เม็ดเลือดแดงที่หมดอายุจะถูกทำลายที่ม้าม(spleen) โดยจะถูกทำให้เซลล์แตกออก แต่เฮโมโกลบินที่อยู่ภายในเม็ดเลือดแดงยังถูกนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ในไขกระดูกโดยผ่านขบวนการสร้างเม็ดเลือด ขบวนการนี้จะต้องใช้ไวตามินบีรวม (vitamin B complex) และโปรตีนโกลบิน (globin) นอกจากนี้เฮโมโกลบินบางส่วนจะถูกนำไปที่ตับเพื่อสร้างเป็นเม็ดสีในน้ำดี โดยการดึงส่วนของฮีม(heme) ที่อยู่ในเฮโมโกลบินไปใช้ประโยชน์

ธาตุเหล็กที่นำมาสร้างเฮโมโกลบินเป็นธาตุเหล็กที่มีในอาหาร ซึ่งอยู่ในรูปของเฟอร์ริก (Fe^{+++}) และ ธาตุเหล็กที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายที่อยู่ในรูปของเฟอร์รัส(Fe^{++}) การดูดซึมธาตุเหล็กจะเกิดขึ้นที่เยื่อบุผนังเซลล์ลำไส้เล็กตอนต้นและตอนกลาง ธาตุเหล็กที่มีมากเกินความต้องการของร่างกายจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ลำไส้เล็ก ตับและกล้ามเนื้อ ร่างกายสามารถขับธาตุเหล็กออกได้หลายทางเช่น ทางเหงื่อ ปัสสาวะ และอุจจาระ เป็นต้น ในสัตว์เพศเมียสามารถขับธาตุเหล็กออกจากร่างกายผ่านทางน้ำนมและถูกใช้ในการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในมดลูก ธาตุเหล็กนอกจากจะได้

จากอาหารที่กินเข้าไปแล้ว ส่วนใหญ่จะได้จากการนำธาตุเหล็กที่เกิดจากการทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุแล้วสะสมไว้ที่ตับนำออกมาใช้ประโยชน์ใหม่ ธาตุเหล็กที่ถูกดูดซึมผ่านผนังเยื่อบุของลำไส้เล็กจะอยู่ในรูปของเฟอร์รัส(Fe^{++}) ธาตุเหล็กที่อยู่ในอาหารจึงต้องมีการเปลี่ยนรูปก่อนจึงมีการดูดซึมได้ เมื่อธาตุเหล็กเข้าสู่เส้นเลือดจะรวมตัวกับโปรตีนในเลือดเป็นโปรตีนเฟอร์ริติน (ferritin) ซึ่งเป็นแหล่งเก็บสำรองธาตุเหล็กในเนื้อเยื่อต่างๆของร่ายกาย เช่น ผนังลำไส้ ตับ ไต ม้าม และไขกระดูก เป็นต้น ธาตุเหล็กส่วนใหญ่จะถูกเก็บไว้ในไขกระดูกเพื่อใช้ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ส่วนน้อยจะถูกสร้างเป็นไมโอโกลบิน (myoglobin) เมื่อร่างกายต้องการธาตุเหล็กเฟอร์ริตินจะให้ธาตุเหล็กแก่โปรตีน ทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) ที่เป็นโปรตีนในเลือดโปรตีนทรานส์เฟอร์ริน (transferrin) จะเป็นตัวพาธาตุเหล็กไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ทฤษฎีที่ใช้ในการควบคุมปริมาณของธาตุเหล็กในร่างกายเรียกว่า mucosal block theory



ภาพที่ 7.2 แสดงการหมุนเวียนของร่างกาย

เฮโมโกลบิน (haemoglobin)

เฮโมโกลบินคือส่วนประกอบที่สำคัญในเม็ดเลือดแดง ซึ่งเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเกิดจากการรวมตัวของฮีมและโปรตีนโกลบิน เฮโมโกลบินคือเม็ดสีที่อยู่ในเม็ดเลือดแดง ส่วนโปรตีนโกลบินคือโปรตีนที่เกิดจากการรวมตัวกันของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ส่วนของฮีมที่อยู่ในเฮโมโกลบิน

ประกอบด้วยสารประกอบที่ไม่ได้เป็นโปรตีนในกลุ่มของ red porphyrin pigments ที่ประกอบด้วย pyrole ring 4 อัน (protoporphyrin) และธาตุเหล็กซึ่งทำหน้าที่คล้ายแกนกลางหรือนิวเคลียสให้ pyrole ring แต่ละอันเกาะอยู่ ฮีมในเม็ดเลือดแดงจะทำหน้าที่พาออกซิเจนที่ได้จากการหายใจเข้าที่ปอดไปยังเซลล์ส่วนต่างๆของร่างกาย โดยออกซิเจนจะเกาะอยู่กับส่วนของฮีม ในส่วนของถุงลมปอดเฮโมโกลบินจะอยู่ในสภาพของ oxyhaemoglobin (HbO_2)โดยขบวนการเติมออกซิเจนให้แก่เฮโมโกลบิน (oxygenation) ในกรณีที่เฮโมโกลบินไม่อยู่ในสภาพที่นำออกซิเจนได้จะเรียกว่ารีดิวส์เฮโมโกลบิน (reduced haemoglobin) เป็นระยะที่เฮโมโกลบินปล่อยออกซิเจนออกจากโมเลกุลเพื่อให้ออกซิเจนแก่เซลล์สำหรับใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึม โดยทั่วไปเมื่อเฮโมโกลบินปลดปล่อยออกซิเจนให้แก่เซลล์แล้ว จะรับคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากเซลล์ แล้วนำไปที่ปอดเพื่อปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกายโดยการหายใจ

เฮโมโกลบินสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆดังนี้ คือ

ก.reduced hemoglobin คือ เฮโมโกลบินที่ปล่อยออกซิเจนออกจากโมเลกุลแล้ว หรือเฮโมโกลบินที่ไปเลี้ยงเซลล์เพื่อปลดปล่อยออกซิเจนให้แก่เซลล์ใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม ทำให้เฮโมโกลบินชนิดนี้มีสีแดงเข้มขึ้น หรือสีของเลือดในเส้นเลือดดำ (venous blood) ในขณะนี้เฮโมโกลบินจะรับเอาโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ไว้ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ที่ละลายในพลาสมา ในรูปของ H_2CO_3 บางส่วนของคาร์บอนไดออกไซด์จะรวมตัวของเฮโมโกลบินได้

ข.oxyhemoglobin เป็นเฮโมโกลบินที่อยู่ในเส้นเลือดแดง เป็นระยะที่เฮโมโกลบินมีการแลกเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์กับออกซิเจน ในขณะเกิดการหายใจเข้าที่ปอด (pulmonary respiration)

ค.carboxyhemoglobin เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของเฮโมโกลบินกับก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (carbon monoxide) ที่เป็นก๊าซพิษที่ปนออกมากับควันของท่อไอเสียของรถยนต์ คาร์บอกซิเฮโมโกลบินเป็นเฮโมโกลบินที่ไม่สามารถนำออกซิเจนได้ การหายใจเอาคาร์บอนมอนออกไซด์เข้าสู่ร่างกายมากๆอาจทำให้สัตว์ตายได้เช่นกัน เนื่องจากสัตว์เกิดการขาดออกซิเจน (suffocation)

ง.methaemoglobin เป็นสารประกอบที่เกิดจากการรวมตัวของเฮโมโกลบินกับสารเคมีพวกไนเตรทหรือไนไตรท์ มีผลให้เฮโมโกลบินไม่สามารถนำออกซิเจนได้ เนื่องจากธาตุเหล็กของเมทเฮโมโกลบินอยู่ในรูปเฟอร์ริกมากกว่าเฟอร์รัส

ขบวนการสร้างเซลล์เม็ดเลือด (haemopoiesis)

หมายถึงขบวนการสร้างเซลล์เม็ดเลือดทุกชนิด ทั้งเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์เม็ดเลือดขาว และเกล็ดเลือด การสร้างเซลล์เม็ดเลือดเกิดขึ้นในอวัยวะคือ hemopoietic organs โดยขบวนการ

การสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง เรียกว่า erythropoiesis ส่วนขบวนการการสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาว เรียกว่า leucopoiesis โดยมีเซลล์ต้นกำเนิดเซลล์เม็ดเลือดอยู่ในไขกระดูก เรียกว่า primodial stem cell ในการสร้างเม็ดเลือดแดงเซลล์ต้นกำเนิด (stem cell) จะถูกกระตุ้นโดยฮอร์โมน erythropoietin ในน้ำเลือด (erythropoietin นี้สร้างมาจากไต) เมื่อถูกกระตุ้น stem cell จะเปลี่ยนรูปร่างเป็น haemocytoblast และ erythrocyte ในที่สุด ในสัตว์ที่โตเต็มที่แล้วการสร้างเม็ดเลือดแดงจะเกิดที่ไขกระดูกสีแดง แต่ในขณะที่เป็นตัวอ่อนจะถูกสร้างที่ถุงไข่แดง(yolk sac) ต่อมาสร้างที่เซลล์ตับ ม้าม และไขกระดูกแดง haemocytoblast เป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ มีรูปร่างไม่แน่นอนมีนิวเคลียสที่เด่นชัด มี reticular cell เป็นชนิดร่างแห haemocytoblast จะเจริญพัฒนาจนกระทั่งเป็นเซลล์เม็ดเลือดแดงที่เจริญเต็มที่ เรียกว่า erythrocyte สำหรับสัตว์เลี้ยงในระยะนี้นิวเคลียสของเม็ดเลือดแดงจะสลายตัวไป เซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีลักษณะเป็นเซลล์เมมเบรนหุ้มเฮโมโกลบิน แต่ในสัตว์ปีกเซลล์เม็ดเลือดแดงจะมีนิวเคลียสตลอดชีวิต

การทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดง (haemolysis)

เซลล์เม็ดเลือดแดงจะแตก หรือถูกทำลายไปหลังจากเซลล์ถูกปล่อยจากไขสันหลังเข้าสู่กระแสเลือดประมาณ 3 เดือน โดยจะถูกนำไปทำลายที่ม้าม ซึ่งจัดเป็นการแตกของเซลล์เม็ดเลือดแดงนอกหลอดเลือดหรือนอกเส้นเลือด (extravascular haemolysis) ขณะที่เซลล์เม็ดเลือดแดงแตกจะปลดปล่อยเฮโมโกลบินออกมา ส่วนของเศษเซลล์เม็ดเลือดแดงจะถูกกำจัดออกไปจากกระแสเลือดโดยเซลล์ macrophages ที่เป็นพวก phagocytic cells ของ reticuloendothelial system ซึ่งพบในเซลล์ของเนื้อเยื่อของตับ ม้าม ไขกระดูก และต่อมน้ำเหลือง ส่วนของเฮโมโกลบินที่แตกออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดง จะถูกแยกออกเป็นโปรตีนโกลบิน และฮีม(heme) ส่วนของฮีมจะปลดปล่อยธาตุเหล็กที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างออกมาได้สารสีเขียวเรียกว่า biliverdin บางส่วนของสารสี biliverdin จะถูกเปลี่ยนเป็นสาร bilirubin สาร bilirubin จะเกาะมากับโปรตีน albumin ในน้ำเลือด เพื่อไปเก็บสะสมไว้ที่ตับและถูกนำไปสร้างเป็นน้ำดีเก็บไว้ที่ถุงน้ำดีต่อไป น้ำดีจะถูกหลั่งออกจากถุงน้ำดี เมื่อมีอาหารประเภทไขมันเข้ามาในลำไส้เล็กตอนต้น bilirubin ในน้ำดีจะถูกเปลี่ยนเป็นสาร stercobilin และถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ ทำให้อุจจระมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลแกมเหลือง หากถูกขับออกทางปัสสาวะจะอยู่ในรูปของ urobilinogen การเปลี่ยนแปลงนี้จะสมบูรณ์ได้ต้องอาศัยจุลินทรีย์ โปรตีนโกลบินที่แตกตัวออกจากเฮโมโกลบินจะถูกสลายตัวให้เป็นกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ซึ่งอาจถูกนำมาสังเคราะห์เป็นโปรตีนชนิดอื่นต่อไปได้ ธาตุเหล็กที่ปลดปล่อยจากโครงสร้างของฮีมสามารถถูกเก็บสะสมไว้ในร่างกายที่เซลล์ของตับ โดยเกาะกับโปรตีน feritin บางส่วนอาจถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงใหม่ที่ไขกระดูกแดง โดยเกาะกับโปรตีนในเลือด เช่น globulin และ transferin

นอกจากการแตกสลายของเซลล์เม็ดเลือดแดงตามอายุขัยแล้ว ยังมีสาเหตุอื่นที่ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงแตก(haemolysis) ได้เช่นการได้รับพิษงู สารพิษจากแบคทีเรีย สารเคมีที่เป็นพิษ พืชที่มีสารพิษ และการมีพยาธิในเลือด เป็นต้น การแตกของเลือดชนิดนี้เรียกว่าการแตกภายในหลอดเลือด (intravascular haemolysis)

โรคโลหิตจาง (anemia)

เป็นสภาวะที่ร่างกายมีปัญหาเกี่ยวกับเม็ดเลือดแดง หรือเฮโมโกลบิน แบ่งออกเป็น

1.โรคโลหิตจางแบบเฉียบพลัน (acute anemia)

ก.โรคโลหิตจางที่เกิดจากการสูญเสียเลือด ซึ่งอาจมีผลจากการเกิดบาดแผล ในระหว่างการสูญเสียเลือดสัตว์จะดื่มน้ำมาก การสูญเสียเลือดจะมีผลให้มีของเหลวจากช่องว่างระหว่างเซลล์เข้ามาในเลือด ทำให้องค์ประกอบของเลือดผิดปกติ

ข.โรคโลหิตจางที่เกิดจากเซลล์เม็ดเลือดแตกอย่างเฉียบพลันเนื่องจากการมีสารพิษเข้าไปในเม็ดเลือด เช่น พิษงู สารเคมีที่เป็นพิษ พืชที่เป็นพิษ การได้รับสารพิษอย่างรวดเร็วจะมีผลให้เซลล์เม็ดเลือดแตกออก เฮโมโกลบินไหลเข้าไปในพลาสมา และพลาสมามีสีแดงขึ้น หรืออาจมีเฮโมโกลบินปนมากับปัสสาวะหรือสภาวะปัสสาวะเป็นเลือด(haematuria)

2.โรคโลหิตจางแบบเรื้อรัง (chronic anemia) เป็นโรคโลหิตจางที่เกิดจากเนื้อเยื่อที่เป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดแดงทำหน้าที่ผิดปกติไป เช่น ส่วนของไขกระดูกถูกทำลายด้วยสาเหตุจากการได้รับสารพิษบางอย่าง ยาบางชนิด และผลจากการฉายรังสี เป็นต้น การที่ไขกระดูกทำงานผิดปกติทำให้ปริมาณของเม็ดเลือดแดงและเฮโมโกลบินลดลงหรือผิดปกติไปได้ นอกจากนี้ยังมีสาเหตุจากการขาดโปรตีนโกลบินในการสร้างเฮโมโกลบิน หรือ การขาดธาตุเหล็กสำหรับสร้างฮีม หรือการเกิดพยาธิที่เกี่ยวข้องกับเม็ดเลือดที่ทำให้เกิดโรค anaplasmosis และ piroplasmosis หรือ trypanosomiasis เป็นต้น

นอกจากนี้การขาดธาตุเหล็กในอาหารมีผลให้เกิดโรคโลหิตจางได้ (nutritional anemia) โรคโลหิตจางชนิดนี้เซลล์เม็ดเลือดแดงที่สร้างขึ้นมาจะมีขนาดเล็กกว่าปกติและมีระดับเฮโมโกลบินต่ำกว่าปกติด้วย

เซลล์เม็ดเลือดขาว (white blood cells หรือ leucocytes)

เซลล์เม็ดเลือดขาวเป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ มีนิวเคลียสหลายอัน เรียกว่า multi-nucleated giant cell มีขนาด 12-15 ไมครอน ปริมาณเม็ดเลือดขาวจะมีน้อยที่สุดในจำนวนเซลล์เม็ดเลือดทั้งหมด โดยทั่วไปจะมีอายุเพียง 2-3 ชั่วโมงหรืออาจมีอายุยาวถึง 200 วันขึ้นกับหน้าที่

และสภาพร่างกาย ถ้าร่างกายติดเชื้อเซลล์เม็ดเลือดขาวจะเข้าไปทำลายเชื้อโรคและมีอายุสั้น ในระยะที่สัตว์สุขภาพดีขาวจะมีอายุยาว แต่ถ้ากินยาปฏิชีวนะมากเซลล์เม็ดเลือดขาวจะมีอายุสั้นลง เม็ดเลือดขาวเป็นเซลล์ที่เคลื่อนไหวได้เองอย่างอิสระในเลือด และอาจซึมผ่านผนังเส้นเลือดแดงออกไปเพื่อทำลายเชื้อโรคที่อยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆได้ นอกจากไขกระดูกจะเป็นแหล่งสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวแล้ว ส่วนของต่อมไทมัส ม้าม และต่อมน้ำเหลืองก็สามารถสร้างเซลล์เม็ดเลือดขาวได้ เม็ดเลือดขาว สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆตามลักษณะ ขนาด รูปร่างของนิวเคลียสและการย้อมติดสีได้ดังนี้

ก.granular leukocyte หรือ granulocytes คือ เซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีเม็ดสีกระจายอยู่ในไซโตพลาสซึม ทำหน้าที่ทำลายเชื้อโรคโดยใช้ขบวนการ phagocytosis เช่น

- neutrophils เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่พบมากที่สุดทำหน้าที่ในการทำลายเชื้อโรคป้องกันการติดเชื้อโดยการเขมือบ(phagocytosis) เซลล์สามารถที่จะเคลื่อนย้ายออกจากผนังเส้นเลือดฝอยเพื่อไปทำลายเชื้อแบคทีเรียหรือสิ่งแปลกปลอมตามบริเวณเนื้อเยื่อที่ติดเชื้อได้ และเป็นกลุ่มเซลล์แรกที่มาที่เชื้อโรค neutrophil เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีไซโตพลาสซึมติดสีชมพูอ่อน นิวเคลียสมีลักษณะเป็นกลีบๆ 2-5 กลีบ (lobes) แต่ละกลีบเชื่อมกันด้วยเส้นโครมาตินบางๆ (chromatin)

-eosinophils เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีเม็ดสีในไซโตพลาสซึมและย้อมติดสีแดง เม็ดสีมีขนาดใหญ่ใกล้เคียงกันเป็นรูปวงกลม กระจายอยู่ทั่วไปในไซโตพลาสซึม นิวเคลียสมี 2-3 กลีบหรือพู(lobes) เม็ดเลือดขาวชนิดนี้พบในเลือดประมาณ 2-5 % eosinophils จะมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อสัตว์มีพยาธิภายในและพยาธิภายนอก สามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อยและทำหน้าที่กินหรือทำลายเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกายทางระบบทางเดินอาหารและระบบหายใจ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของสาร plasminogen ที่มีความสำคัญในการละลายลิ่มเลือดเก่าๆได้ด้วย

-basophils เป็นเซลล์เม็ดเลือดที่มีจำนวนน้อยที่สุดในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดมีประมาณ 1% เม็ดเลือดขาวชนิดนี้ นิวเคลียสมี 2 กลีบ และเม็ดสีที่อยู่ในไซโตพลาสซึมจะติดสีม่วงหรือสีน้ำเงินเข้ม เม็ดสีมีลักษณะหยาบมีขนาดไม่เท่ากัน เม็ดสีมักปิดบังนิวเคลียสจนไม่สามารถมองเห็นนิวเคลียสได้ สามารถเคลื่อนไหวได้เล็กน้อย ไม่มีหน้าที่ในการทำลายเชื้อโรคแต่ทำหน้าที่สร้างสารฮีสตามีน(histamine) ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้ผนังของเส้นเลือดขยายตัว นอกจากนี้ยังสร้างสารเฮพพาริน(heparin) ที่ช่วยในการป้องกันการแข็งตัวของเลือด

ข.non granular leucocytes คือเซลล์เม็ดเลือดขาวที่ไม่มีเม็ดสีในไซโตพลาสซึม ส่วนใหญ่มีคุณสมบัติในการสร้างสารแอนติบอดี้ (antibodies) เช่น

- monocytes เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีรูปร่างคล้ายเกือกม้ามีขนาดใหญ่ที่สุด มักพบตามบริเวณที่มีการติดเชื้อ ทำหน้าที่กินเชื้อโรคโดยใช้ขบวนการ phagocytosis เนื่องจากเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่จึงอาจเรียกว่า macrophage พบได้ในบริเวณที่มีการติดเชื้อรุนแรงและไม่รุนแรง

-lymphocytes เป็นเซลล์เม็ดเลือดขาวที่มีขนาดแตกต่างกันไป นอกจากจะพบได้ในเลือดแล้วยังพบได้ในต่อมน้ำเหลือง เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดนี้มีนิวเคลียสขนาดใกล้เคียงกับขนาดเซลล์ นิวเคลียสจะติดสีม่วงและอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของเซลล์ มีไซโตพลาสซึมเล็กน้อยติดสีฟ้า โดยทั่วไปมีหน้าที่สำคัญในการกินเชื้อโรคโดยวิธี phagocytosis และสามารถสร้างแอนติบอดี้ได้

การติดเชื้อในร่างกายไม่ว่าจะด้วยสาเหตุอะไรก็ตาม จะมีผลให้ปริมาณของเม็ดเลือดขาวในร่างกายมีค่าสูงขึ้น สามารถนับจำนวนเม็ดเลือดทั้งเซลล์เม็ดเลือดขาวและเซลล์เม็ดเลือดแดงได้โดยใช้เครื่องเฮมาโตไซโตมิเตอร์ (haematocytometer) จำนวนเซลล์ที่นับได้จะมีค่าเป็นเซลล์/ลบ.มม.ของเลือด การนับเม็ดเลือดขาวไม่จำเป็นต้องเจือจางมากเหมือนการนับเม็ดเลือดแดง เนื่องจากเม็ดเลือดขาวในเลือดมีปริมาณน้อยกว่าเม็ดเลือดแดงมาก ในสัตว์เลี้ยงเช่นสุกร จะมีเม็ดเลือดขาวประมาณ 15 ล้านเซลล์/ลบ.มม. ในกรณีที่พบว่าจำนวนเม็ดเลือดขาวมีมากกว่าปกติจำเป็นต้องทำการแยกชนิดของเม็ดเลือดขาว โดยการนำเลือดมาทำเป็นแผ่นฟิลม์บางๆบนแผ่นสไลด์แล้วย้อมสีด้วย Wright's stain จากนั้นนำไปนับจำนวนเซลล์แต่ละชนิดโดยมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง

เศษเม็ดเลือดหรือเกล็ดเลือด (blood platelets **หรือ** thrombocytes)

เกล็ดเลือดเป็นชิ้นส่วนของไซโตพลาสซึมของเซลล์เม็ดเลือด ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด (megakaryocytes) ซึ่งเป็นเซลล์ที่พบอยู่ภายในไขกระดูก เกล็ดเลือดมีรูปร่างเป็นวงรี วงกลม หรือมีรูปร่างไม่แน่นอน เป็นเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียสเช่นเดียวกันกับเซลล์เม็ดเลือดแดง ประกอบด้วยน้ำประมาณ 85% มีเหลือเป็นโปรตีน แร่ธาตุ เอนไซม์ต่างๆ มีไขมันในรูปฟอสฟอไลปิด และคลอเรสเตอรอล เป็นต้น เกล็ดเลือดมีหน้าที่เกี่ยวกับขบวนการแข็งตัวของเลือดหรือการทำให้เลือดหยุดไหลในบริเวณเนื้อเยื่อที่เกิดเลือดออกหรือมีบาดแผล (haemorage) โดยจะไปยึดติดกับโมเลกุลของคลอลาเจนที่ผนังหลอดเลือดที่ฉีกขาด แล้วปลดปล่อยสารที่อยู่ภายในเซลล์ออกมา ทำให้มีการจับตัวกันเป็นก้อนเพื่ออุดรอยฉีกขาด ในสัตว์เลี้ยงเกล็ดเลือดจะมีอายุค่อนข้างสั้นประมาณ 9-11 วัน ในสภาพร่างกายปกติเกล็ดเลือดประมาณ 2 ใน 3 ของเกล็ดเลือดทั้งหมดจะอยู่ในกระแสเลือด ส่วนที่เหลือจะอยู่ในม้าม

น้ำเลือด (plasma)

น้ำเลือดประกอบด้วยน้ำประมาณ 90-92 % ที่เหลือ 8-9 % เป็นส่วนของแข็งได้แก่ โปรตีนชนิดต่างๆ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ ชนิดต่างๆ ในน้ำเลือดมีโปรตีนที่สำคัญได้แก่ albumin, globulin ชนิดต่างๆ , fibrinogen และ prothrombin โปรตีน albumin เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในน้ำเลือดทำหน้าที่รักษาสมดุลออสโมติดของเลือด โดยปกติโปรตีน fibrinogen, prothrombin และ ∝-globulin เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด โดยทั่วไปหน้าที่หลักของโปรตีนในน้ำเลือดคือการควบคุมความดันออสโมซีสของเลือด albumin เป็นโปรตีนที่มีมากที่สุดในน้ำเลือดและยังมีหน้าที่เกี่ยวข้องในการขนส่งสารต่างๆที่จะเดินทางไปกับเลือด

สารประกอบอินทรีย์อื่นๆที่พบในน้ำเลือด ได้แก่ ไขมัน เอ็นไซม์ ฮอร์โมน คลอเรสเตอรอล และไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น กรดอะมิโน ยูเรีย creatine creatinine และเกลือแอมโมเนีย เป็นต้น ส่วนสารอนินทรีย์ที่สำคัญ เช่น Cl ,CO_3, SO_4, โซเดียมฟอสเฟท โปแตสเซียมฟอสเฟท และแคลเซี่ยมฟอสเฟท เป็นต้น สารอนินทรีย์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ในการรักษาสภาพความเป็นกรด-ด่างของเลือด น้ำเลือดมีหน้าที่ คือ

1. เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดเมื่อเกิดบาดแผล
2. ทำหน้าที่พาสารต่างๆเพื่อส่งไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย
3. ทำหน้าที่ช่วยควบคุมความดันออสโมซีสของเลือด
4. ช่วยในระบบภูมิคุ้มกันโรคโดยอาศัย immunoglobulins
5. โปรตีนบางชนิดในน้ำเลือดเป็นอาหารให้แก่เซลล์

กลไกการแข็งตัวของเลือด (mechanical of blood ccoagulation)

ขบวนการแข็งตัวของเลือดเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการสูญเสียเลือดออกจากร่างกาย โดยเนื้อเยื่อที่ถูกทำลายหรือเนื้อเยื่อที่เกิดเป็นแผล มีการหลั่งโปรตีนออกมา (tissue thromboplastin) และมีการหลั่ง thromboplastin ออกมาจากเศษเกล็ดเลือด จากนั้นมีการรวมกันระหว่าง Ca^{++} ในเลือดและโปรตีน prothrombin ที่ผลิตจากเซลล์ของตับ ทำให้กลายเป็นโปรตีนทรอมบิน(thrombin) โดยการกระตุ้นของ thromboplastin จากนั้นโปรตีนทรอมบินจะไปเปลี่ยนโปรตีนไฟบริโนเจน(fibrinigen)ในเลือดให้เป็นโปรตีนไฟบริน(fibrin) ที่มีลักษณะเป็นโปรตีนเส้นใยทำหน้าที่ในการปิดบาดแผลไว้ไม่ให้เลือดไหลออก ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดการแข็งตัวของเลือดจะใช้ระยะเวลาไม่เท่ากัน ขึ้นกับชนิดของสัตว์ และวิธีการที่ใช้วัด อาจใช้วิธีการเจาะเลือดแล้วนำมาหยดลงบนแผ่นสไลด์ แล้วใช้เข็มหมุดเขี่ยเลือดจนเริ่มเกิดไฟบรินแล้วจับเวลาตั้งแต่เจาะออกเลือดออกจนกระทั่งเลือดแข็งตัว พบว่าในแกะเลือดจะใช้ระยะเวลาในการแข็งตัวประมาณ 2.5 นาที ในสุกรใช้เวลาประมาณ 3.5 นาที ในโคใช้เวลา 6.5 นาทีและในม้าใช้เวลา 11.5 นาที เป็นต้น โดยทั่วไปขบวนการแข็งตัวของเลือดจัดว่าเป็นขบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและมีปัจจัยต่างๆ มา

เกี่ยวข้องมากถึง 12 ปัจจัยและใน 12 ปัจจัยนี้มี 11 ปัจจัยที่เป็นปัจจัยเกี่ยวกับโปรตีนในเลือด ที่เหลืออีก 1 ปัจจัยเป็น Ca^{++} ในเลือด ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด

กลไกการแข็งตัวของเลือดเกิดจากการทำงานร่วมกันของ 2 กลไกคือ กลไกที่เกิดขึ้นภายนอกหลอดเลือด(extrinsic mechanism) และ กลไกที่เกิดขึ้นในหลอดเลือด (intrinsic mechanism) ดังนี้

ก.กลไกที่เกิดขึ้นภายนอกหลอดเลือดที่เกิดบาดแผล (extrinsic mechanism) เมื่อมีบาดแผลเนื้อเยื่อที่มีบาดแผลจะปล่อย tissue thromboplastin ออกมา ต่อจากนั้นจะรวมกับ factor VII ในน้ำเลือดและรวมกับ Ca^{++} ในเลือดแล้วไปกระตุ้น facor X ให้เป็น activated factor X ซึ่งจะไปรวมกับ Factor V และฟอสฟอไลปิดได้เป็นสาร prothrombin converting factor สารนี้จะเป็นเอนไซม์ที่ไปกระตุ้นให้ prothrombin เปลี่ยนเป็นthrombin จากนั้น thrombin จะไปเปลี่ยน fibrinogen ให้เป็น fibrin โดยทำงานร่วมกับ Ca^{++} และ factor XIII

ข.กลไกที่เกิดขึ้นภายในหลอดเลือดหรือเส้นเลือด (intrinsic mechanism) เมื่อเส้นเลือดขาด inactivated factor XII ในเลือดจะถูกกระตุ้นโดย collagen fiber ของผนังเส้นเลือดเปลี่ยนเป็น activated factor XI ซึ่งจะไปกระตุ้น factor IX ให้เปลี่ยนเป็น activated factor IX จากนั้นจะไปกระตุ้น factor VIII ที่ไปกระตุ้น factor X

ซีรั่ม (Serum)

หมายถึง ส่วนของของเหลวสีเหลืองที่เกิดขึ้นเนื่องจากเลือดเกิดการแข็งตัว ประกอบด้วยน้ำเลือดเป็นส่วนที่ไม่มีโปรตีนไฟบริโนเจน(fibrinogen) และโปรทรอมบิน(prothrombin) รวมถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือดชนิดต่างๆ ในซีรั่มจะมีโปรตีนหลายชนิดเช่น albumin, Globulin และโปรตีนที่เป็นภูมิคุ้มโรคเช่น alpha -globulin หรือ antibodies ส่วน immune serum หรือ hyperimmune serum จะหมายถึงซีรั่มที่ผลิตจากเลือดของร่างกายสัตว์ที่สร้างแอนติบอดี้ (antibodies) ที่ต่อต้านเชื้อโรคจากแบคทีเรียหรือไวรัสที่ถูกฆ่าให้ตายแล้ว และถูกฉีดเข้าในร่างกายหลายๆครั้งเป็นเวลาไม่ต่ำหว่า 3 สัปดาห์ ซีรั่มที่ได้จากสัตว์ที่ได้รับเชื้อโรคที่ตายแล้วและเป็นสัตว์ที่มีสุขภาพดีมีการสร้างแอนติเจน (antigen) มาต่อต้านเชื้อโรค จะสามารถนำกลับมาใช้ในการป้องกันโรคได้เช่น การฉีด hyperimmune serum เพื่อป้องกันโรคอหิวาต์สุกร

ตารางที่ 7.1 แสดงปัจจัยหรือโปรตีนในเลือดที่เกี่ยวกับการแข็งตัวของเลือด

ปัจจัย (โปรตีน)	ชื่อ	ชนิดและแหล่งกำเนิด	หน้าที่

I	Fibrinogen	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	เกิดเป็นลิ่มเลือด
II	Prothrombin	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	เปลี่ยนfibrinogenเป็นfibrin
III	tissue thromboplastin	lipoprotein จากเนื้อเยื่อของร่างกาย	ร่วมกับ factor VII กระตุ้น factor X
IV	Ca^{++}	ในน้ำเลือด อาหารและกล้ามเนื้อ	co-factor ในปฏิกริยาต่างๆ
V	Proaccelerin	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	รวมกับfactor X เปลี่ยน prothrombin เป็น thrombin
VII	Proconvertin	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	กระตุ้น factor X
VIII	Antihemophilia globulin	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	ร่วมกับ factor IX กระตุ้น factor X
IX	plasma thromboplastin(Christmas factor)	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	กระตุ้น factor X
X	Straut-prower factor	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	กระตุ้นการเปลี่ยน prothrombin เป็น thrombin
XI	plasma thromboplastin	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	กระตุ้น factor IX
XII	Hageman factor	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	กระตุ้น factor XI
XIII	Fibrin stabilizing factor	โปรตีนในเลือด สร้างที่ตับ	ทำให้เกิดการเชื่อมกันระหว่างโมเลกุลของfibrin

น้ำเหลือง (lymph)

น้ำเหลืองหมายถึงของเหลวที่เหลือจากการดูดซึมกลับเข้าเส้นเลือดดำฝอยไม่หมด และถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในเส้นน้ำเหลืองฝอย (lymph capillaries) ที่แซ่อยู่ระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ ของเหลวดังกล่าวนี้ในร่างกายมีการหมุนเวียนไปส่วนต่างๆตลอดเวลา น้ำเหลืองเป็นของเหลวที่ไม่มีสี มีส่วนประกอบคล้ายกับน้ำเลือด ในน้ำเหลืองมีเซลล์เม็ดเลือดขาวลอยอยู่มากมาย โดยทั่วไปจะไม่พบเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด neutrophils มากนัก ยกเว้นกรณีที่มีการติดเชื้ออย่างรุนแรง บางครั้งอาจพบเซลล์เม็ดเลือดแดงได้บ้าง นอกจากจะพบเซลล์เม็ดเลือดขาวแล้วจะพบเกลือของสารอนิน- ทรีย์ชนิดต่างๆ กลูโคส non protein nitrogenous substance และโปรตีนบางชนิด ในน้ำเหลืองจะมีโปรตีนน้อยกว่าในน้ำเลือด น้ำเหลืองจะถูกดูดซึมเข้าไปในท่อน้ำเหลือง (lymph vessles) น้ำเหลืองในลำไส้เล็กจะมีปริมาณไขมันเป็นส่วนประกอบอยู่สูง เกิดจากการดูดซึมไขมันผ่านท่อน้ำเหลืองฝอยผ่าน (lacteals) ที่แกนของวิลไลในส่วนลำไส้เล็ก น้ำเหลืองทุกส่วนของร่างกายจะกลับเข้าสู่ระบบหมุนเวียนของเลือดได้โดยผ่านเข้ามาทางเส้นเลือดดำ(anterior vena cava)

น้ำในไขสันหลังและสมอง(cerebrospinal fluid)

น้ำในไขสันหลังและสมองคือของเหลวใสที่มีส่วนประกอบคล้ายกับน้ำเลือด และของเหลวที่อยู่ระหว่างเซลล์ แต่มีปริมาณโปรตีน กลูโคสและโพแตสเซี่ยมอิออนต่ำกว่า อาจมีพวกเซลล์เม็ดเลือดขาวอยู่บ้าง ทำหน้าที่ป้องกันการกระแทก หรือป้องกันการกระทบกระเทือนที่อาจจะเกิดขึ้นกับสมองและไขสันหลัง น้ำในสมองและไขสันหลังสามารถหมุนเวียนติดต่อกันได้ในส่วนของ subarachnoid space ที่อยู่ระหว่าง pia matter และ arachoid membrane ซึ่งหุ้มอยู่บริเวณผิวของสมองและไขสันหลัง น้ำในสมองและไขสันหลังจะถูกสร้างมาจาก choroid plexus ที่เป็นกลุ่มเส้นเลือดฝอยที่อยู่ในช่องว่างของสมอง นอกจากนี้ยังสามารถสร้างได้จาก เซลล์เยื่อบุผิว (epidermal cells) ที่ล้อมรอบเส้นเลือดของสมอง cerebrumและ เซลล์เยื่อบุผิวที่ล้อมรอบผนังในช่องว่างของไขสันหลัง น้ำในไขสันหลังสามารถนำมาใช้ตรวจดูการติดเชื้อในระบบประสาทส่วนกลางได้

น้ำในข้อต่อ (synovial fluid)

เป็นของเหลวเหนียวข้นที่พบอยู่ในข้อต่อตามส่วนต่างๆของร่างกาย ทำหน้าที่ช่วยลดการกระแทกของข้อต่อและเป็นแหล่งอาหารของ articular cartilage ด้วย

บทที่ 8
ระบบไหลการเวียนของเลือดและน้ำเหลือง
Circulation system and Lymphatic system

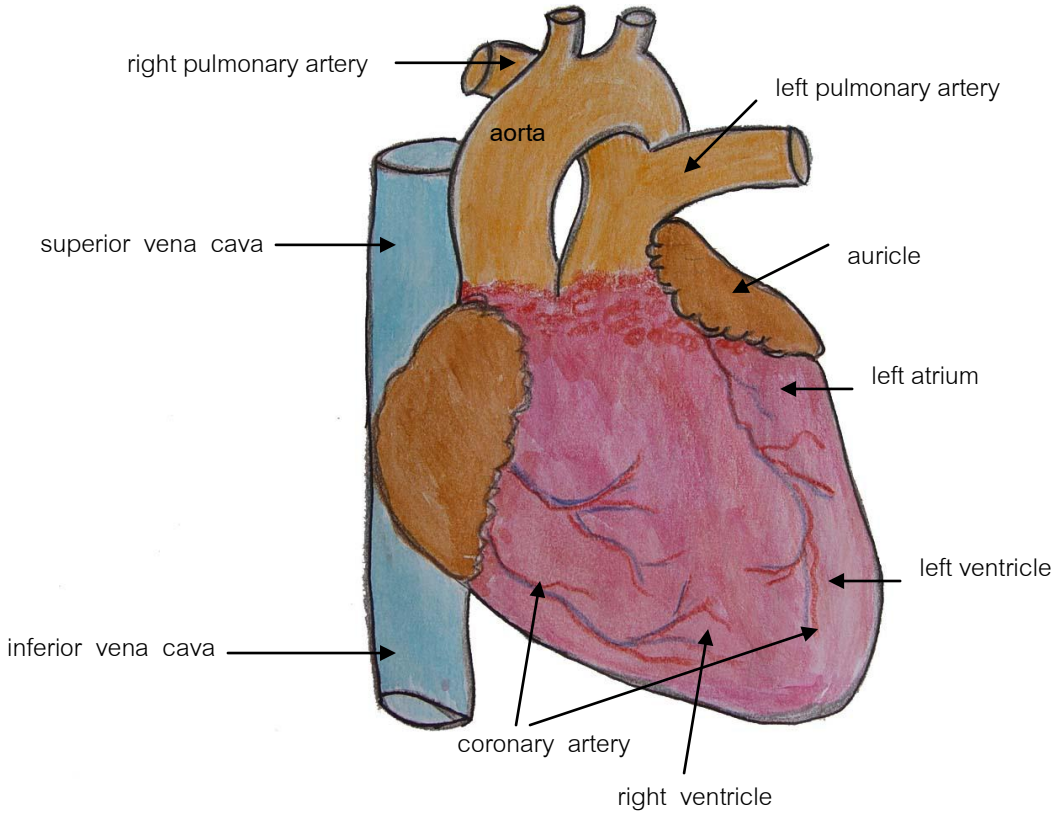
ระบบไหลเวียนของเลือดมีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่ของสัตว์เลี้ยงทุกๆ ชนิด เนื่องจากการไหลเวียนของเลือดในร่างกาย จะนำสารอาหารที่สำคัญต่างๆที่ละลายในเลือด เช่น โภชนะต่างๆ,ก๊าซ,ฮอร์โมน,แร่ธาตุและสารอื่นๆ มาให้แก่เซลล์ในอวัยวะส่วนต่างๆของร่างกาย ตลอดเวลา เพื่อให้เซลล์นำไปใช้ในกิจกรรมต่างๆ ขณะเดียวกันจะรับของเสียออกจากเซลล์ เพื่อขับออกจากร่างกายโดยวิธีการต่างๆกัน เช่นการขับเหงื่อ การหายใจและการขับน้ำปัสสาวะเป็นต้น ระบบการไหลเวียนของเลือดในร่างกายเกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ เพื่อดันเลือดเข้าสู่หลอดเลือดแดงหรือเส้นเลือดแดงขนาดต่างๆเพื่อส่งเลือดไปที่เซลล์ในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารอาหาร ก๊าซ และของเสียที่ผนังเส้นเลือดฝอยของเนื้อเยื่อเหล่านั้น จากนั้นเลือดจะถูกนำกลับเข้าสู่หัวใจทางเส้นเลือดดำขนาดต่างๆ เลือดที่เข้าหัวใจเป็นเลือดดำหรือเลือดที่มีออกซิเจนต่ำถูกนำไปฟอกที่ปอดเพื่อรับออกซิเจนแล้วเปลี่ยนเป็นเลือดแดง และนำเข้าสู่หัวใจอีกครั้ง การหมุนเวียนของเลือดในร่างกายนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาที่สัตว์มีชีวิตอยู่ อาจกล่าวได้ว่าระบบไหลเวียนของเลือดในร่างกาย คือ หัวใจ และ เส้นเลือดชนิดต่างๆ

หัวใจ (heart)

หัวใจเป็นอวัยวะที่สำคัญที่สุดของร่างกาย มีลักษณะเป็นรูปกรวย มีตำแหน่งอยู่ในช่องอกระหว่างปอดทั้งสองข้าง โดยอยู่ในช่องว่างที่เรียกว่า mediastinum ที่หัวใจมีเส้นเลือดซึ่งโป่งพองออกเป็นกระเปาะวิ่งเข้าและออกจากหัวใจ เช่น aorta, pulmonary arteries และ pulmonary veines การไหลเวียนของเลือดเข้าและออกจากหัวใจขึ้นกับจังหวะการเต้นของหัวใจว่าเป็นจังหวะที่กล้ามเนื้อหัวใจบีบตัว (systolic phase) หรือเป็นจังหวะที่กล้ามเนื้อหัวใจคลายตัว (diastolic phase) หัวใจถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มหัวใจเรียกว่า pericardium มีลักษณะเป็นถุงบางๆ ใส และเหนียว ห่อหุ้มหัวใจและบางส่วนของเส้นเลือดใหญ่ที่ติดกับหัวใจ ระหว่างเยื่อหุ้มหัวใจและเนื้อเยื่อหัวใจมีของเหลวแทรกอยู่ (pericardial fluid) ทำหน้าที่ในการหล่อลื่นและป้องกันการเสียดสีระหว่างเยื่อหุ้มหัวใจและเนื้อเยื่อหัวใจ

โครงสร้างของหัวใจ (structure of the heart)

หัวใจในสัตว์เลี้ยงและสัตว์ปีกจะประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจัดเรียงต่อกันเป็นกลุ่ม ภายในกลวงแบ่งเป็น 4 ห้อง ห้องบน 2 ห้อง และห้องล่าง 2 ห้อง หัวใจห้องบน เรียกว่า atrium หัวใจห้องล่าง เรียกว่า ventricle ผนังที่กั้นระหว่างหัวใจด้านบนและด้านล่างเรียกว่า septum ระหว่างหัวใจห้องบนและล่างมีช่องทางติดต่อถึงกันเรียกว่า atrioventricular orifices มีลิ้นหัวใจกั้นอยู่(cardiac valves) ทำหน้าที่เปิดและปิดให้เลือดไหลผ่านจากหัวใจห้องบนลงไปหัวใจห้องล่างทั้งด้านซ้ายและด้านขวา ผนังของหัวใจด้านบนจะบางกว่าผนังของหัวใจด้านล่าง เนื่องจากหัวใจด้านบนทำหน้าที่ในการรับเลือดเข้าสู่หัวใจ ผนังด้านล่างต้องบีบตัวเพื่อส่งเลือดออกจากหัวใจ ผนังหัวใจด้านล่างห้องซ้ายจะหนากว่าหัวใจด้านล่างขวา และเป็นส่วนของหัวใจที่มีพื้นที่มากที่สุดในหัวใจทั้งหมด ทั้งหัวใจห้องบนด้านขวาและด้านซ้ายจะเห็นมีติ่งยื่นออกมาทางด้านหน้าเรียกว่า auricles



ภาพที่ 8.1 โครงสร้างของหัวใจ

หัวใจด้านบนขวาจะทำหน้าที่รับเลือดที่มีออกซิเจนต่ำ หรือเลือดดำจากส่วนต่างๆของร่างกาย โดยผ่านเส้นเลือดดำใหญ่เข้าหัวใจเรียกว่า vena cava เส้นเลือดดำที่มาจากส่วนบนของร่างกายเรียกว่า cranial vena cava หรือ anterior vena cava ส่วนเส้นเลือดดำที่มาจากส่วนท้ายของร่างกายเรียกว่า caudal vena cavaหรือ posterior vena cava เส้นเลือดดำเข้าสู่หัวใจทางห้องบนขวา จากนั้นเลือดจะไหลผ่านหัวใจห้องบนขวาผ่านลิ้นหัวใจเรียกว่า AV. valves หรือ atrioventricular valves ไหลผ่านลงไปยังหัวใจห้องล่างด้านขวา ลิ้นหัวใจชนิดนี้เป็นลิ้นหัวใจที่มีลักษณะเป็นแผ่นกล้ามเนื้อ (muscular flap) บางครั้งอาจเรียกว่า tricuspid valves ลิ้นหัวใจส่วน AV. valves จะเปิดเมื่อหัวใจห้องบนขวาบีบตัวหรืออยู่ในระยะ systolic phase หรืออยู่ในจังหวะที่หัวใจด้านขวาล่างเกิดการคลายตัวอยู่ในระยะ diastolic phase เลือดดำที่ถูกส่งเข้าหัวใจด้านล่างขวาจะถูกส่งต่อไปที่ปอดเพื่อเปลี่ยนเป็นเลือดดีหรือเลือดที่มีออกซิเจนสูง โดยผ่านลิ้นหัวใจที่เรียกว่า semilunar valves หรือ pulmonary valves เพื่อส่งเลือดเข้าเส้นเลือดที่ไปยังปอดเรียกว่า pulmonary arteries เมื่อเลือดดำไปถึงเนื้อเยื่อปอดจะถ่ายเทก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกและรับออกซิเจนเข้ามาแทนที่เปลี่ยนเป็นเลือดดีหรือเลือดที่มีออกซิเจนสูง เลือดที่ฟอกแล้วหรือเลือดดีที่ปอดจะกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนด้านซ้ายโดยผ่านเส้นเลือดที่เรียกว่า pulmonary veins ระบบการหมุนเวียนของเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากหัวใจห้องบนขวาผ่านหัวใจห้องล่างขวาเข้าสู่ปอด เพื่อเปลี่ยนเป็นเลือดดีและนำเลือดดีจากปอดกลับเข้าสู่หัวใจห้องบนซ้าย นับเป็นระบบหมุนเวียนเลือดไปฟอกที่ปอดเรียกว่า pulmonary system หรือ pulmonary circulation

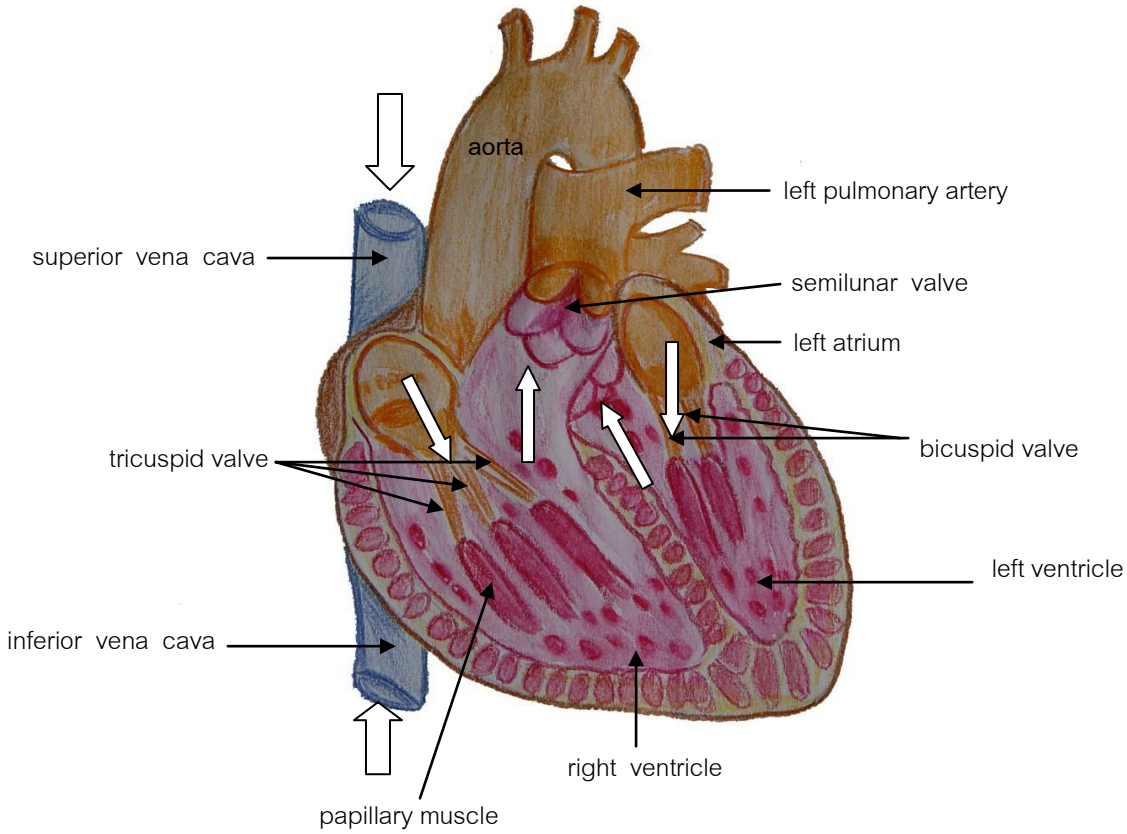
ลิ้นหัวใจ (cardiac valaes) เป็นแผ่นกล้ามเนื้อบางๆ ทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการไหลของเลือดให้ผ่านหัวใจไปทางเดียวกัน ลิ้นหัวใจแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1.AV.valves หรือ atrioventricular valves เป็นลิ้นหัวใจที่กั้นระหว่างหัวใจห้องบน (atria) และหัวใจห้องล่าง (ventricles) ทำหน้าที่ให้เลือดหลออกจากหัวใจห้องบนลงไปหัวใจห้องล่าง โดยไม่ให้มีการย้อนกลับของเลือด ลิ้นหัวใจที่กั้นระหว่างหัวใจห้องบนขวาและหัวใจห้องล่างขวาเรียกว่า tricuspid valves ถ้ากั้นระหว่างหัวใจห้องบนซ้ายและห้องล่างซ้ายเรียกว่า bicuspid valves

2.SV. valves หรือ semilunar valves เป็นลิ้นหัวใจที่อยู่ที่ทางเปิดของหัวใจห้องล่างทั้งด้านซ้ายและขวากับเส้นเลือดแดงใหญ่ และ เส้นเลือดดำที่นำเลือดไปฟอกที่ปอด (pulmonary arteries) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของเลือดจากหัวใจห้องล่างไปสู่ภายนอก และป้องกันไม่ให้เลือดแดงใหญ่ย้อนกลับเข้ามาในหัวใจ

หัวใจเป็นอวัยวะที่มีการทำงานอย่างต่อเนื่องติดต่อกัน โดยมีการบีบตัวและการคลายตัวเกิดขึ้นสลับกันไปเป็นวงจรซ้ำๆกันเรื่อยๆ ซึ่งจะทำให้เลือดไหลเข้าและออกจากหัวใจตลอดเวลา การเต้นของหัวใจหรือการทำงานของหัวใจที่เป็นไปอย่างต่อเนื่องอย่างเป็นวงรอบ (cardiac cycle)

จะเริ่มจากการบีบตัวของหัวใจด้านบนขวาต่อด้วยหัวใจด้านบนซ้าย หัวใจด้านล่างขวาและหัวใจด้านล่างซ้าย การบีบตัวของหัวใจด้านบนจะทำให้เกิดความดันในช่องหัวใจด้านบน มีผลทำให้เลือดที่อยู่ในช่องหัวใจด้านบนไหลเข้าสู่ช่องหัวใจด้านล่าง เมื่อหัวใจห้องล่างซ้ายบีบตัวอย่างแรง เนื่องจากมีกล้ามเนื้อที่แข็งแรงมาก เป็นจังหวะที่มีการดันเลือดให้ไหลเข้าไปในเส้นเลือดแดงใหญ่ (aorta) เพื่อส่งเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย โดยผ่านระบบเส้นเลือดแดง ปริมาณเลือดแดงที่ไหลจากหัวใจด้านล่างซ้ายเข้าสู่เส้นเลือดแดงใหญ่เรียกว่า cardiac output โดยทั่วไปการบีบตัวของหัวใจที่ทำให้เกิดการไหลเวียนเลือดออกจากหัวใจไปตามส่วนต่างๆของร่างกาย จะมีปริมาณเท่ากับปริมาณเลือดดำที่เข้าหัวใจ หรือ cardiac input



ภาพที่ 8.2 โครงสร้างภายในของหัวใจและลิ้นหัวใจ

ลักษณะทางจุลกายวิภาคของหัวใจ (microanatomy of the heart)

เมื่อนำหัวใจมีผ่าและส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะเห็นว่าผนังของหัวใจแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้นคือ

1.ชั้นในสุด (endocardium) เป็นชั้นเนื้อเยื่อบางๆค่อนข้างเหนียว บุอยู่ด้านในของหัวใจทุกห้อง รวมทั้งส่วนของลิ้นหัวใจ หรือเป็นชั้นที่ต่อกับโพรงหัวใจ

2.ชั้นกล้ามเนื้อหัวใจ (myocardium) กล้ามเนื้อหัวใจแต่ละห้องจะมีความหนาไม่เท่ากัน หัวใจห้องบนมีกล้ามเนื้อที่บางกว่าหัวใจห้องล่าง และหัวใจห้องล่างด้านซ้ายจะมีความหนามากที่สุด กลุ่มเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle cells) เป็นกลุ่มเนื้อเยื่อส่วนใหญ่ของหัวใจ ประกอบขึ้นเป็นผนังของหัวใจทั้งด้านบนและด้านล่าง กล้ามเนื้อหัวใจเมื่อถูกกระตุ้นจะหดตัวพร้อมๆกัน เมื่อศึกษาดูทางจุลกายวิภาคศาสตร์จะพบว่าเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจจะเรียงตัวกันแบบ syncytial arrengement เซลล์กล้ามเนื้อแต่ละเซลล์จะเรียงต่อกันเป็นรยางค์ เมื่อมีการกระตุ้นที่เซลล์ใดเซลหนึ่งของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจก็จะทำให้เซลล์อื่นถูกกระตุ้นไปด้วย ทำให้กล้ามเนื้อหัวใจมีการเต้นไปพร้อมๆกัน โดยทั่วไปแล้วกล้ามเนื้อหัวใจจะเป็นกล้ามเนื้อที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary muscle) และทำงานเองได้อย่างอิสระและอัตโนมัติ (autonomatism activity) จุดที่มีการทำงานอย่างอัตโนมัติได้เองคือส่วน SA node หรือ sino-atrial node และ AV node หรือ atrioventricular node ซึ่งเป็นกลุ่มเซลล์พิเศษที่สามารถสร้างคลื่นไฟฟ้าได้เองโดยอัตโนมัติตรง pacemaker ที่มีลักษณะเป็นเซลล์เล็กๆมีเซลล์กล้ามเนื้อ(myofibril)เป็นส่วนประกอบเป็นส่วนน้อย กลุ่ม SA node เป็นเนื้อเยื่อหัวใจที่มีใยประสาทอัตโนมัติมารวมกันอยู่มากมาย ตำแหน่งของ SA node จะอยู่ที่หัวใจด้านบนขวาใกล้กับ superior vena cava และแผ่โค้งลงมาที่ inferior vena cava ส่วน AV node มีขนาดเล็กกว่า SA node เป็นส่วนของเนื้อเยื่อที่เปลี่ยนแปลงไป มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับผนังของหัวใจด้านบนทั้งสองข้างตรงรอยต่อของหัวใจด้านบนและด้านล่าง SA node และ AV node จะมีเส้นประสาท vagus nerve และ sympathetic nerve มาควบคุม ส่วนของ AV node จะติดต่อกับเนื้อเยื่อที่นำคลื่นไฟฟ้าไปสู่หัวใจห้องล่าง นอกจากนี้จะพบกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่นำคลื่นไฟฟ้าในหัวใจ (conducting cell) โดยทั่วไปคลื่นไฟฟ้าในหัวใจจะเกิดขึ้นที่หัวใจด้านบนแล้วผ่านมายัง AV node จากนั้นจะถูกส่งผ่านหัวใจห้องล่าง โดยใช้ conducting cells ที่ทอดต่อผ่านเนื้อเยื่อระหว่าง AV node และส่วนหัวใจห้องล่าง

3.ชั้นนอกสุด (epicardium) เป็นชั้นเนื้อเยื่อที่ประกอบด้วยเซลเยื่อบุชนิด simple squamous epithelium ประสานอยู่กับเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิด loose aveolar connective tissues ชั้นนี้เป็นที่อยู่ของเส้นเลือดที่มาหล่อเลี้ยงหัวใจ (coronary arteries และ coronary veines)

เส้นเลือด (blood vessles)

เส้นเลือดทำหน้าที่ในการนำเลือดให้ไหลเวียนไปตามส่วนต่างๆของร่างกาย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เส้นเลือดแดง (arteries) และเส้นเลือดดำ (veins) ที่มีขนาดต่างๆกันเส้น เลือดแดงหมายถึงเส้นเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจห้องล่างด้านซ้าย เพื่อส่งเลือดไปยังเนื้อเยื่อส่วนต่างๆของร่างกาย ได้แก่ เส้นเลือดแดงใหญ่ (aorta) เป็นเส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดใน

ร่างกาย เส้นเลือดแดงที่มีขนาดเล็กรองลงมา(arteries) , เส้นเลือดที่รองลงมาอีก (arterioles) และเส้นเลือดฝอย (capillaries) เส้นเลือดฝอยเป็นเส้นเลือดที่แทรกอยู่ระหว่างเซลในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย เส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่จะมีความยืดหยุ่นกว่าเส้นเลือดแดงขนาดเล็กและเส้นเลือดแดงฝอย เนื่องจากมี elastin และ collagen fiber สูงกว่า เส้นเลือดดำ หมายถึงเส้นเลือดที่นำเลือดจากส่วนต่างๆของร่างกายเข้าสู่หัวใจที่ห้องบนด้านขวา เส้นเลือดดำใหญ่ที่สุดเรียกว่า vena cava เป็นเส้นเลือดดำขนาดใหญ่ที่นำเลือดเข้าสู่หัวใจ เส้นเลือดดำที่มีขนาดรองลงมาเรียกว่า veins เส้นเลือดที่มีขนาดรองลงมากเรียกว่า venules และเส้นเลือดดำที่มีขนาดเล็กที่สุดเรียกว่า เส้นเลือดดำฝอย (veinous capillaries) เส้นเลือดดำฝอยมักจะอยู่ใกล้ชิดหรือต่อเชื่อมกับเส้นเลือดแดงฝอยเสมอ ผนังเส้นเลือดดำมีความสามารถในการยืดขยายได้มาก หรือเรียกว่ามี distensibility สูงทำให้สามารถจุเลือดได้มาก จึงทำให้มีเลือดประมาณ 60-70 %ของเลือดทั้งหมดในร่างกายเป็นเลือดที่อยู่ในส่วนของเส้นเลือดดำ

โครงสร้างของเส้นเลือด (structure of blood vesseles)

โดยทั่วไปผนังของเส้นเลือดประกอบด้วยชั้นต่างๆ 3 ชั้นด้วยกันคือ

1.ชั้นในสุด (tunica intima) เป็นชั้นเยื่อบุผิวชนิด simple squarmous epithelium หรือ endothelial ถัดจากชั้นเยื่อบุผิวเป็นชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นบางๆ ในเส้นเลือดทุกชนิดจะมีเนื้อเยื่อชั้นนี้

2.ชั้นกลาง (tunica media) เป็นชั้นของกล้ามเนื้อเรียบเป็นส่วนใหญ่ การบีบตัวของกล้ามเนื้อถูกควบคุมด้วยประสาท sympathetic nerve fiber

3.ชั้นนอกสุด (tunica externa หรือ adventitia) เป็นชั้นบางๆของ loose collagenous fiber ในเส้นเลือดที่มีขนาดใหญ่ เช่น aorta ชั้นนอกสุดจะหนามาก

เส้นเลือดดำเป็นเส้นเลือดที่มีผนังบางกว่าเส้นเลือดแดง แต่มีขนาดใหญ่กว่า เส้นเลือดดำส่วน venules จะเป็นเส้นเลือดดำที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นเลือดดำฝอยเล็กน้อย ที่ผนังอาจจะมีหรือไม่มีชั้นกล้ามเนื้อเรียบก็ได้ ชั้นในของเส้นเลือดดำบางส่วนจะมีลิ้นเกิดขึ้นเป็นช่วงๆเพื่อป้องกันการย้อนกลับของเลือด ส่วนของลิ้นมักพบในบริเวณที่มีเส้นเลือดดำ 2-3 เส้นมาเชื่อมต่อกันเป็นเส้นเดียว

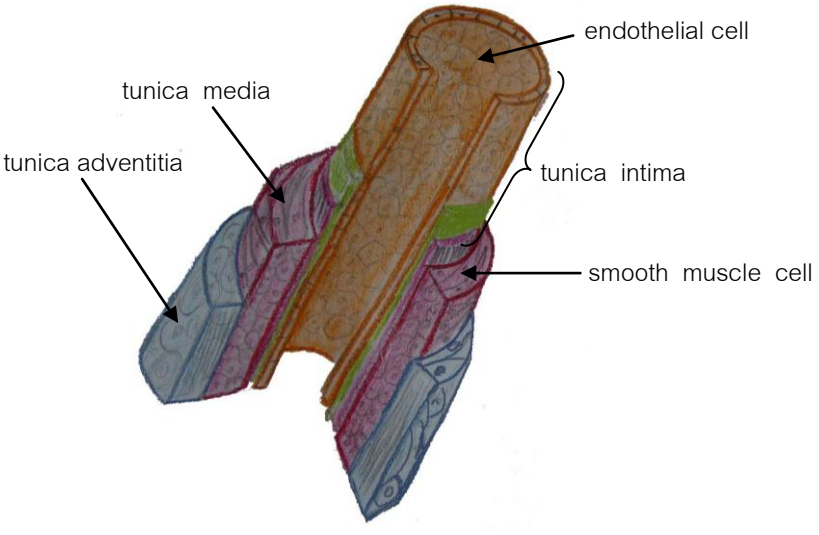
เมื่อเปรียบเทียบโครงสร้างเส้นเลือดแดงและเส้นเลือดดำจะเห็นได้ว่า เส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่เช่น aorta และ ateries ขนาดต่างๆ ตรงส่วนผนังเส้นเลือดจะมี elastin และ

collagenous fiber สูงกว่า ทำให้เส้นเลือดแดงสามาถยืดหยุ่นอละรับแรงดันเลือดได้ดี จึงสามารถที่จะผลักดันเลือดไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกายได้ในขณะที่กล้ามเนื้อหัวใจบีบตัว กลุ่มเส้นเลือดแดงใหญ่อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า elastic arteries เส้นเลือดแดงที่มีขนาดเล็กลงมาเช่น arterioles จะแตกต่างกับเส้นเลือดแดงใหญ่ เนื่องจากชั้นกลางของผนังเส้นเลือด จะมีกล้ามเนื้อเรียบเป็นส่วนมากและมีผนังชั้นกลางที่หนาทำหน้าที่นำเลือดไปยังเส้นเลือดแดงฝอยทั่วร่างกาย อาจเรียกว่า muscular arteries หรือ distributing arteries ส่วนของกล้ามเนื้อเรียบของเส้นเลือดจะถูกควบคุมโดย symphathetic nerve fiber เส้นเลือดแดงฝอยซึ่งเป็นเส้นเลือดแดงที่มีขนาดเล็กที่สุดและพบแทรกอยู่ระหว่างเซลในเนื้อเยื่อต่างๆ โดยทั่วไปเส้นเลือดแดงฝอยมีขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดเลือดแดงเล็กน้อยเท่านั้น ผนังของเส้นเลือดแดงฝอยจะบางประกอบด้วยชั้นเซลเยื่อบุชั้นเดียวหรือบางแห่งอาจมีมากกว่า 1 ชั้น เซลเยื่อบุที่เป็นส่วนประกอบของผนังเส้นเลือดฝอยบางส่วนอาจถูกยึดติดกันด้วย intercelluar cement ที่มีลักษณะเป็นแผ่นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชั้นบางๆ สามารถแบ่งชนิดของเส้นเลือดฝอยตามโครงสร้างของผนังและหน้าที่ได้เป็น 3 ชนิดได้แก่

1.เส้นเลือดฝอยที่พบแทรกอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆทั่วไป เช่น ระหว่างเซลกล้ามเนื้อ ผิวหนัง และปอด เป็นต้น เรียกเส้นเลือดฝอยกลุ่มนี้ว่า continuous capillaries

2.เส้นเลือดฝอยที่พบอยู่ตามเนื้อเยื่อของไตส่วน glomerulus เส้นเลือดฝอยที่พบตามต่อมไม่มีท่อ และที่เยื่อบุผนังลำไส้และปอด เป็นต้น เส้นเลือดฝอยชนิดนี้จะมีผนังที่มีความสามารถในการซึมผ่านได้ดีกว่าชนิดแรก เรียกว่า fenestrated capillaries

3.เส้นเลือดฝอยชนิด irregular sinusoid เป็นเส้นเลือดฝอยที่พบตาม sinusoids ของเนื้อเยื่อตับ และม้ามเป็นเส้นเลือดฝอยที่มีหน้าที่สำคัญที่สุด โดยจะทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนสารต่างๆ เนื่องจากมีความสามารถในการซึมผ่านดีที่สุด



ภาพที่ 8.2 โครงสร้างของเส้นเลือด

ที่มา : Carola และคณะ, 1992

ระบบการไหลเวียนของเลือด (circular system)

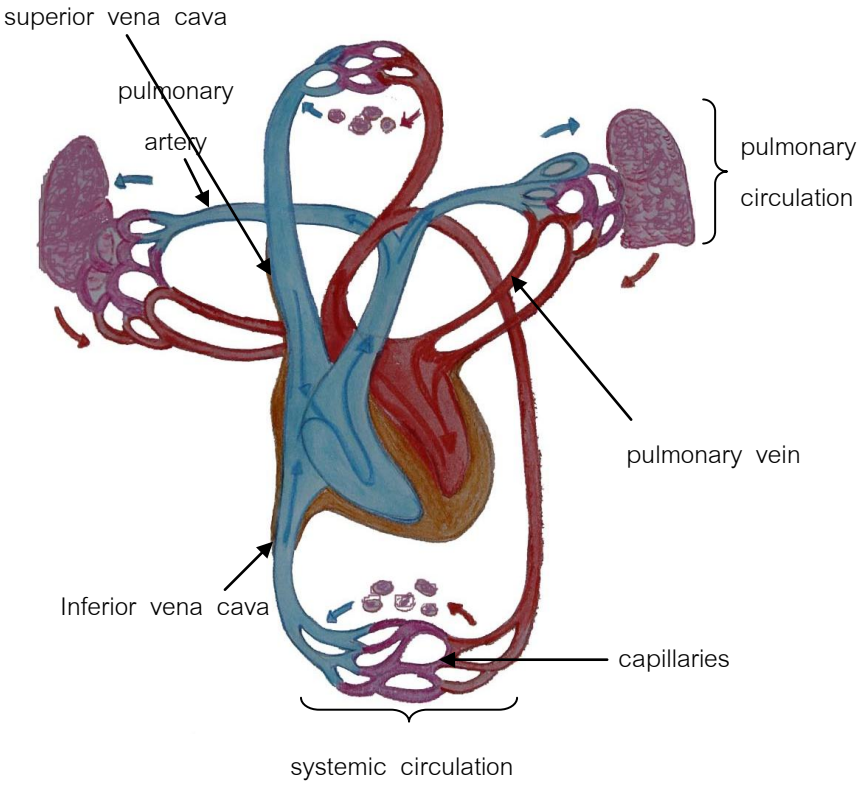
ระบบไหลเวียนของเลือดในร่างกายเกิดขึ้น เพื่อนำเลือดที่มีออกซิเจนสูงจากหัวใจไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย เพื่อแลกเปลี่ยนสารต่างๆ และของเสีย จากนั้นจึงนำเลือดดำกลับมาที่หัวใจ แล้วนำไปฟอกที่ปอด แล้วนำเลือดที่ฟอกแล้วกลับมาที่หัวใจและหมุนเวียนนำเลือดส่งกลับไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกายต่อไปเป็นวงรอบ ระบบการไหลเวียนของเลือดในร่างกายจะต้องเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องหมุนเวียนไปตลอดเวลา เพื่อให้ร่างกายสามารถมีชีวิตอยู่ได้ ระบบไหลเวียนของเลือดสามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจรหลักใหญ่ๆ ได้แก่

1.การไหลเวียนของเลือดผ่านปอด (pulmonary circulation) หมายถึงระบบที่นำเลือดออกจากหัวใจห้องล่างด้านขวาซึ่งเป็นเลือดที่มีปริมาณออกซิเจนต่ำ(เลือดดำ) เพื่อนำเลือดไปฟอกที่ปอด ขณะเดียวกันจะนำเลือดที่มีออกซิเจนสูงจากปอด หมุนเวียนกลับเข้าสู่หัวใจอีกครั้งผ่านทางหัวใจห้องบนด้านซ้าย การนำเลือดจากหัวใจไปสู่ปอดเกิดขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อหัวใจห้องขวาด้านล่างเกิดการบีบตัวก็จะดันให้เลือดผ่านไหลลิ้นหัวใจ (pulmonary valve) ไปยังเส้นเลือดที่จะส่งเลือดไปที่ปอดโดยผ่านจาก pulmonary truck ที่เป็นเส้นเลือดที่มีขนาดใหญ่แล้วแตกแขนงไปในเส้นเลือดที่มีขนาดเล็กลำดับถัดไป pulmonary arteries จนกระทั่งเลือดไหลเข้าไปในเนื้อเยื่อปอดทั้งซีกซ้ายและซีกขวา โดยไปสิ้นสุดที่ capillary beds ที่ล้อมรอบถุงลมปอด(alveoli) ที่ capillary beds เลือดที่มีออกซิเจนต่ำ(เลือดดำ) จะปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกและรับก๊าซออกซิเจนเข้ามาแทนที่ เลือดที่มีออกซิเจนสูงหรือเลือดที่ฟอกแล้วจากปอด(เลือดแดง) จะออกจาก capillary beds ผ่านเส้นเลือดขนาดต่างๆ (venules) แล้วเข้าสู่เส้นเลือด (pulmonary veines) เพื่อเข้าสู่หัวใจทางห้องบนด้านซ้าย เส้นเลือด (pulmonary veines) ที่ออกจากเนื้อเยื่อปอดแต่ละข้างเพื่อเข้าสู่หัวใจจะมีข้างละ 2 เส้น

2.การไหลเวียนของเลือดไปเลี้ยงร่างกายส่วนต่างๆ (systemic circulation) เป็นการไหลเวียนของเลือดที่มีออกซิเจนสูงหรือเลือดดี(เลือดแดง) ออกจากหัวใจทางห้องล่างด้านซ้าย โดยการบีบตัวของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างด้านซ้ายจะผลักดันให้เลือดดีออกไปสู่ส่วนต่างๆของร่างกายตามระบบเส้นเลือดแดง (arteries blood) หลังจากที่เลือดดีไปที่เซลล์แล้วมีการถ่ายเทออกซิเจนจากเลือดให้แก่เซลล์โดยรับเอาคาร์บอนไดออกไซด์มาแทน(เลือดมีออกซิเจนต่ำ) จะมีการไหลกลับ

ของเลือดที่มีออกซิเจนต่ำจากส่วนต่างๆของร่างกายกลับเข้าสู่หัวใจทางหัวใจห้องบนด้านขวาโดยผ่านระบบเส้นเลือดดำหรือเลือดที่มีออกซิเจนต่ำ (venous blood)

การไหลเวียนของเลือดทั้งสองวงจรหลักนี้ จะเป็นการไหลเวียนที่เชื่อมต่อกันโดยตรงกับหัวใจ นอกจากนี้ยังต่อเชื่อมกับระบบน้ำเหลืองที่มีอยู่ในร่างกาย ซึ่งทำหน้าที่ในการนำของเหลวและสารละลายต่างๆ ที่เส้นเลือดฝอยไม่สามารถดูดซึมกลับได้หมดเข้าสู่เส้นเลือดใหม่ จัดเป็นการช่วยรักษาสมดุลของของเหลว และรักษาความดันของของเหลวในร่างกายส่วนหนึ่งด้วย



ภาพที่ 8.4 ระบบไหลเวียนของเลือด

ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ,1992

ระบบเส้นเลือดแดง (arteries system)

ระบบเส้นเลือดแดงเป็นระบบของเส้นเลือดที่นำเลือดออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆของร่างกาย เส้นเลือดแดงใหญ่เป็นเส้นเลือดแดงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและออกจากหัวใจเป็นเส้นแรกเรียกว่า aorta จากนั้นจะแตกแขนงเป็นเส้นเลือดที่ไปหล่อเลี้ยงหัวใจ (coronary arteries) หลังจากนั้น aorta จะเริ่มมีการแตกแขนงและโค้งงอเพื่อไปทางด้านทางของลำตัวส่วนท้าย ส่วนของเส้นเลือดที่เริ่มโค้งงอเรียกว่า aortic arch จากนั้นเส้นเลือดแดงจะแตกแขนงไปเลี้ยงร่างกายส่วนหน้าด้วยเส้นเลือดขนาดต่างๆเริ่มจาก truck เป็น arteries เป็น arterioles และ ไปสิ้นสุดที่

เส้นเลือดแดงฝอย(capillaries) ภายในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ เพื่อเกิดการแลกเปลี่ยนโภชนะ, ก๊าซ และของเสียที่เกิดจากการเมตาโบลิซึมของเซลล์โดยจะเกิดขึ้นระหว่างเลือดและเซล การแลกเปลี่ยนดังกล่าวจะเกิดขึ้นที่ผนังของเส้นเลือดฝอยเท่านั้น ลักษณะการแลกเปลี่ยนสารระหว่างผนังเซลกับเส้นเลือดฝอยสามารถเกิดขึ้นได้หลายวิธีเช่น การแพร่ (diffusion) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารระหว่างผนังเส้นเลือดฝอยและผนังเซลล์ต่างกัน นอกจากนี้จะเป็นการกรองและการดูดกลับของสารที่เกิดจากความดันของสารละลายที่ต่างกันเรียกว่า filtration and absorption หากสารมีโมเลกุลใหญ่กว่ารูบนผนังเส้นเลือดฝอยเช่นโปรตีนในเลือด (globlin และ fibrinogen) จะสามารถผ่านผนังเส้นเลือดฝอยได้โดยการที่ endothelium ของผนังเซลของเส้นเลือดฝอย จะเข้าโอบสารดังกล่าวไว้แล้วนำเข้าโปรตีนดังกล่าวเข้าสู่ไซโตพลาสซึมของเซลในรูปถุงเล็กๆ (vesicle) เรียกวิธีการนี้ว่าขบวนการ cytopinocytosis หรือ micropinocytosis เลือดที่ไหลออกจากเส้นเลือดฝอยหลังจากที่มีการแลกเปลี่ยนสารระหว่างผนังเส้นเลือดและผนังเซลแล้วจะไหลเข้าสู่ระบบเส้นเลือดดำฝอยและเส้นเลือดดำเล็ก (venules)ที่มีขนาดใหญ่กว่าเส้นเลือดแดงฝอยเล็กน้อย ผนังของเส้นเลือดดำเล็ก(venules)จะต่างจากผนังของเส้นเลือดดำที่มีขนาดใหญ่กว่าเช่น veins และ vena cavaเนื่องจากไม่มีกล้ามเนื้อเรียบและเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน elastin

จากส่วน aortic arch เส้นเลือดจะแตกแขนงไปเลี้ยงส่วนบนของร่างกายได้แก่คอและหัว ได้แก่เส้นเลือด brachiocephalic truck ส่วนเลือดแดงที่ผ่านไปเลี้ยงส่วนอวัยวะในช่องอกเรียกว่า thoracic aorta จากนั้นเส้นเลือดจะผ่านช่องกระบังลมเพื่อลงไปหล่อเลี้ยงช่องท้องและอวัยวะภายช่องท้องเช่นกระเพาะ ลำไส้ เรียกว่า abdominal aorta ซึ่งจะแตกแขนงไปเลี้ยงกระเพาะอาหารเรียกว่า gastric arteries เลี้ยงส่วนลำไส้ เรียกว่า splanic arteries เส้นเลือดแดงที่ต่อจาก abdominal aorta เพื่อไปเลี้ยงอวัยวะส่วนท้ายของลำตัวได้แก่ external iliac arteries และ internal iliac arteries เป็นต้น

ระบบเส้นเลือดดำ (venous system)

ระบบเส้นเลือดดำส่วนใหญ่เป็นระบบเลือดที่นำเลือดออกจากเซลเพื่อรวบรวมเลือดเข้าสู่หัวใจ มีผนังที่บางกว่าเส้นเลือดแดง โดยปกติระบบเส้นเลือดดำจะวิ่งขนานไปกับเส้นเลือดแดงและมีชื่อเรียกคล้ายกันเสมอ แต่จำนวนเส้นเลือดดำจะมีมากกว่าเส้นเลือดแดงและมักพบอยู่บริเวณใกล้ผิวหนังมากกว่าเส้นเลือดแดง เส้นเลือดดำใหญ่ที่นำเลือดเข้าหัวใจเพื่อให้หัวใจส่งเลือดไปฟอกที่ปอดเรียกว่า vena cava เส้นเลือดดำที่รวบรวมเลือดดำจากส่วนหน้าหรือส่วนหัวของร่างกายเรียกว่า anterior vena cava หรือcranial vena cava ซึ่งจะนำเลือดดำจากส่วนหัว คอ ขาหน้าและส่วนอกเพื่อเข้าหัวใจ เส้นเลือดดำจากส่วนต่างๆดังกล่าวได้แก่ interior jugular vein รับเลือด

ดำจากสมอง external jugular vein รับเลือดดำจากคอ ใบหน้าและศีรษะ vertebral vein และ subclavia vein รับเลือดดำจากบริเวณไหล่ และ ขาหน้าทั้งสองข้าง เป็นต้น ส่วนเส้นเลือดดำที่รวบรวมเลือดดำจากส่วนท้ายของร่างกายเรียกว่าposterior vena cava หรือ caudal vena cava เช่น portal vein รับเลือดดำที่มีสารอาหารจากอวัยวะย่อยอาหาร และ hepartic vein รับเลือดดำที่ผ่านตับและส่งเข้าสู่ posterior vena cava

ระบบเส้นเลือดที่เลี้ยงหัวใจ (coronary circulation)

หมายถึงระบบเส้นเลือดที่ไปหล่อเลี้ยงหัวใจโดยเฉพาะส่วนของกล้ามเนื้อหัวใจโดยตรง เนื่องจากเป็นกล้ามเนื้อที่ต้องทำงานหนักตลอดเวลาตั้งแต่เกิดจนตาย จึงจำเป็นต้องมีระบบเลือดแยกไปหล่อเลี้ยงต่างหาก เส้นเลือดแดงที่ไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อหัวใจนี้เป็นเส้นเลือดแดงที่แตกแขนงออกมาจากเส้นเลือดแดงใหญ่ โดยแตกออกมาเป็นเส้นแรกตรงตำแหน่งเหนือ aortic valve เล็กน้อยเรียกว่า coronary arteries แตกแยกออกเป็น 2 เส้นคือ right coronary arteries ที่นำเลือดไปเลี้ยงหัวใจทางซีกขวาทั้งหมด ส่วน left coronary arteriesจะเป็นเส้นเลือดที่ไปเลี้ยงหัวใจทางซีกซ้าย ซึ่งจะมีขนาดใหญ่กว่า

ระบบการไหลเวียนของเลือดที่ตับ (hepatic portal circulation)

ตับเป็นอวัยวะที่สำคัญภายในช่องท้องอย่างหนึ่ง ทำหน้าที่นำโภชนะที่มากับเลือดดำจากอวัยวะภายในช่องท้องเช่นกระเพาะอาหาร และลำไส้เล็กเพื่อไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งสะสมไกลโคเจนและไขมันเพื่อสำรองแหล่งพลังงานให้ร่างกาย รวมทั้งเป็นที่ทำลายสารพิษต่างๆที่ปนมากับเลือด เลือดที่มาจากช่องท้องโดยเฉพาะเลือดจากระบบทางเดินอาหารคือเส้นเลือดดำ (portal vein) ที่นำเลือดมาจากกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ม้าม และตับอ่อนซึ่งเป็นเลือดดำจะไม่ไหลเข้าสู่เส้นเลือดดำใหญ่โดยตรง แต่จะไหลรวมกันและเข้าตับทาง hepatic portal vein จากนั้นจะผ่านเข้าแอ่งเลือด (hepatic sinusoids)ในตับก่อน แล้วจึงออกไปเข้าสู่ hepatic veins ซึ่งมีอยู่มากว่า 1 เส้น(2-3 เส้น) เพื่อนำเลือดดำเข้าสู่ posterior vena cava เพื่อเข้าหัวใจต่อไป ส่วนเนื้อเยื่อของตับจะได้รับเลือดดีมาหล่อเลี้ยงโดยผ่าน hepatic arteries ซึ่งเป็นแขนงของเส้นเลือดแดง celiac artery เส้นเลือดแดง hepatic artery จะเข้าสู่เนื้อเยื่อของตับตรงตำแหน่งที่ portal vein เข้าสู่ตับเช่นกัน

ระบบน้ำเหลือง (lymphatic system)

ระบบน้ำเหลืองมีความสัมพันธ์กับระบบการไหลเวียนของเลือดในส่วนของเส้นเลือดขนาดเล็ก (microcirculation) ระบบน้ำเหลืองประกอบด้วยน้ำเหลือง(lymph)ที่อยู่ในท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessles) เนื้อเยื่อน้ำเหลือง (lymphoid tissues)และอวัยวะน้ำเหลือง (lymphoid gland) เป็นต้น ส่วนต่อมน้ำเหลือง(lymph node) จะหมายถึงบริเวณหรือตำแหน่งที่มีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองรวมกันเป็นกลุ่มเดียว(lymph nodule)หรือเป็นกลุ่มใหญ่(peyer's patches) ที่พบตามผนังระบบทางเดินอาหาร น้ำเหลืองจึงจัดเป็นส่วนหนึ่งของของเหลวที่อยู่ในร่างกาย ที่เกิดจากน้ำเลือดหรือพลาสมา(plasma) และของเหลวระหว่างเซลที่ซึมผ่านผนังของท่อน้ำเหลืองเข้าไปอยู่ในช่องว่างของท่อ มีส่วนประกอบคล้ายกับพลาสมาแต่ไม่มีเม็ดเลือดแดง อาจพบเม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte ได้ นอกจากนี้ยังมีโปรตีนน้อยกว่าพลาสมา (โปรตีนเฉลี่ยประมาณ 1.5%) ส่วนใหญ่ของโปรตีนเป็นพวก albumin เหตุที่มีโปรตีนน้อยกว่าเพราะโปรตีนที่มีโมเลกุลเล็กเท่านั้นที่สามารถลอดผ่านรูของผนังเส้นเลือดได้ นอกจากนี้ยังพบสารอื่นเช่น ฮอร์โมน เอนไซม์ ผลผลิตที่ได้จากขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์(metabolites) และสารละลายที่ได้มาจากเซลล์ จากเลือด และของเหลวในช่องว่างระหว่างเซลล์ รวมทั้งเม็ดเลือดและเซลล์ของแบคทีเรียที่เม็ดเลือดขาวกินเข้าไป น้ำเหลืองในอวัยวะต่างๆของร่างกายจะมีปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่นที่ตับจะมีน้ำเหลืองประมาณ 6.6% การไหลเวียนของน้ำเหลืองในร่างกายจะไหลเวียนไปในท่อน้ำเหลืองที่มีขนาดเล็กไปสู่ท่อน้ำเหลืองที่มีขนาดใหญ่ จากนั้นจะเข้าไปที่เส้นเลือดดำเพื่อเข้าสู่หัวใจทางเส้นเลือดดำใหญ่ ระบบน้ำเหลืองมีหน้าที่สำคัญคือ

ก.เกี่ยวข้องกับการนำโปรตีนหรือสารที่มีโมเลกุลใหญ่ในอยู่ในช่องว่างระหว่างเซล ซึ่งหลุดออกมาจากเส้นเลือดฝอยโดยผ่านการกรองหรือโดยวิธี micropinocytosis ซึ่งขนาดโมเลกุลของสารดังกล่าวไม่สามารถที่จะกลับเข้าสู่เส้นเลือดได้โดยผ่านทางเส้นเลือดฝอย

ข.ทำหน้าที่ในการกำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือแบคทีเรียให้ออกจากน้ำเหลืองได้โดยใช้เม็ดเลือดขาวชนิด lymphocyte และ macrophage cell

ค.ทำหน้าที่ในการสร้างภูมิคุ้มกันหรือ แอนติบอดี้ (antibodies) โดยสร้างจากเซลในต่อมน้ำเหลือง แอนติบอดี้จะทำหน้าที่ต่อสู้และทำลายแบคทีเรีย สารพิษ(toxin) ที่จะเข้าสู่ร่างกายโดยไปกับน้ำเหลืองหรือน้ำเลือด

ง.ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของโภชนะพวกไขมันที่ดูดซึมจากผนังลำไส้เล็กไปยังระบบเลือดโดยผ่านท่อน้ำเหลืองที่ผนังลำไส้เล็กที่เรียกว่า lacteal สีของน้ำเหลืองที่บริเวณนี้จะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนไปเป็นสีน้ำนมเนื่องจากมีหยดไขมันปนอยู่

ท่อน้ำเหลือง (lymphatic vessles)

ท่อน้ำเหลืองเป็นท่อปลายปิดกระจายแทรกอยู่ทั่วไปในร่างกายคล้ายกับการกระจายของเส้นเลือดฝอย ส่วนปลายของท่อจะมีขนาดเล็ก ท่อน้ำเหลืองจะนำน้ำเหลืองจากท่อน้ำเหลืองขนาดเล็กๆไปรวมกันเข้าเป็นท่อขนาดใหญ่คือ thoracic duct จากนั้นจะส่งน้ำเหลืองผ่านเข้าเส้นเลือดดำบริเวณ subcalvian vein และ internal jugular vein ผนังของท่อน้ำเหลืองประกอบด้วยเซลล์เยื่อบุผิว endothelium ที่มีขนาดใหญ่และบางกว่าเซลล์เยื่อบุในเส้นเลือดแดงฝอย ส่วนของเซลล์เยื่อบุ endothelium จะไม่อยู่ชิดกันและจะไม่มีรูที่ผนังท่อ(fenestration)ท่อน้ำเหลืองขนาดเล็กมักมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับเส้นเลือดฝอย เรียกว่าท่อน้ำเหลืองฝอย (lymphatic capillaries) สำหรับท่อน้ำเหลืองขนาดใหญ่ภายในท่อจะมีลิ้น(valves) คล้ายกับลิ้นที่มีอยู่ในเส้นเลือดดำ ทำหน้าที่ป้องกันการไหลกลับของน้ำเหลือง ผนังของท่อน้ำเหลืองจะมีความสามารถในการซึมผ่านสารต่างๆ สูงกว่าเส้นเลือดฝอย เพราะช่องว่างระหว่างเซลล์มีขนาดกว้างกว่า และมี basement membrane เพียงชั้นเดียว ระหว่างทางเดินของท่อน้ำเหลืองจะมีต่อมน้ำเหลืองเป็นระยะๆ ทำหน้าที่ในการกรองน้ำเหลือง ท่อน้ำเหลืองภายในต่อมน้ำเหลืองจะแยกออกจากกันเป็นช่องกว้างๆเรียกว่า sinuses โดยผนังของส่วน sinuses จะประกอบด้วยเส้นใย (fibrils) ที่จัดเรียงตัวกันแบบร่างแห (reticular framework of loose sinus tissue) และมีเซลล์น้ำเหลือง(lymphatic cells) ที่เป็นพวก macrophages เช่น reticular cells แทรกตัวอยู่ตามร่างแห sinuses เหล่านี้สามารถรวมตัวกันใหม่ทำให้เกิดเป็นท่อน้ำเหลืองแล้วทำหน้าที่นำน้ำเหลืองออกจากต่อมน้ำเหลืองได้

ต่อมน้ำเหลือง (lymph node)

ต่อมน้ำเหลืองจัดเป็นเนื้อเยื่อน้ำเหลืองชนิดหนึ่ง ปกติจะพบต่อมน้ำเหลืองโดยทั่วไปในร่างกาย ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ใกล้ผิวหนัง (superficial lymph node) และต่อมน้ำเหลืองที่อยู่ตามอวัยวะภายในร่างกาย (deep lymph node) น้ำเหลืองจะผ่านเข้าต่อมน้ำเหลืองทาง afferent lymphatic vessels และออกจากต่อมน้ำเหลืองทางefferent lymphatic vessels

อวัยวะน้ำเหลือง (lymphoid organ)

อวัยวะน้ำเหลืองเป็นอวัยวะที่มีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองมารวมกันอยู่อย่างมีระบบ เช่นมีปลอกหุ้ม(capsule) บางอวัยวะอาจมีท่อน้ำเหลืองมาเปิดเข้าและออก อาจมีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงโดยเฉพาะได้ อวัยวะน้ำเหลืองได้แก่ ม้าม ต่อมไทมัส (thymus gland) และต่อมทอลซิล (tonsil gland)เป็นต้น

ม้าม (spleen)

จัดเป็นอวัยวะที่มีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองมากที่สุด มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ตำแหน่งโดยทั่วไปอยู่ใกล้กับกระเพาะอาหาร ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ส่วนคือ red pulp และwhite pulp ส่วน red pulp จะมีมากกว่า และ white pulp เป็นส่วนที่ไม่มีเส้นเลือดฝอยอยู่เลย red pulp จะประกอบด้วย lymphocytes และ macrophage โดยมีเส้นเลือดฝอยกระจายแทรกตัวอยู่ ม้ามมีหน้าที่สำคัญคือ

ก.เป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดทุกชนิด ในขณะที่สัตว์ยังเป็นตัวอ่อนเจริญเติบโตในมดลูก เม็ดเลือดขาวที่สร้างขึ้นมาจะเป็นเดเลือดขาวชนิด lymphocyte และ ชนิด monocyte เท่านั้น

ข.ทำหน้าที่กรองน้ำเลือดหรือพลาสมา หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามีหน้าที่ทำลายเม็ดเลือดแดงที่หมดอายุขัย และเก็บธาตุเหล็กที่มีอยู่ในเฮโมโกลบินของเม็ดเลือดแดงไว้ สำหรับใช้ในการสร้างเฮโมโกลบินต่อไป

ค.เป็นแหล่งสะสมเลือดไว้ใช้ในภาวะมี่จำเป็นเช่นขณะที่ร่างกายเสียเลือดหรือขณะออกกำลังกาย

ง.ทำหน้าที่ในการสร้างภูมิคุ้มกันให้แก่ร่างกาย

ต่อมไทมัส (thymus gland)

ต่อมไทมัสเป็นอวัยวะที่มีเนื้อเยื่อน้ำเหลืองเป็นส่วนประกอบ มีตำแหน่งอยู่ในช่องว่างของช่องอกส่วน mediastinum ยกเว้นในสัตว์ปีกต่อมไทมัสจะอยู่นอกช่องอก ในขณะที่สัตว์ยังเล็กต่อมไทมัสจะมีขนาดใหญ่ และจะหายไปเมื่ออายุมากขึ้น ต่อมนี้ทำหน้าที่ในการสร้าง lymphocyte และ antibody ขณะที่สัตว์ยังเป็นตัวอ่อนหรือหลังคลอด

บทที่ 9
ระบบขับถ่ายปัสสาวะ
Urinary system

ระบบขับถ่ายปัสสาวะเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการขับของเสียหรือสารพิษออกจากร่างกาย เพื่อควบคุมภาวะร่างกายให้คงที่ (homeostasis) โดยการผลิตน้ำปัสสาวะซึ่งเป็นตัวนำของเสียหรือสิ่งที่เป็นพิษโดยเฉพาะสารประกอบไนโตรเจน(nitrogenous compound) ช่วยรักษาสมดุลของของเหลวและอิเล็คโตรไลท์ เกี่ยวข้องกับระบบต่อมไร้ท่อและควบคุมความดันเลือดโดยสร้างเอ็นไซม์ rennin และ erytropoitin การขับถ่ายปัสสาวะจัดเป็นการขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายที่สำคัญที่สุด โดยเป็นการขับของเสียออกจากร่างกายในรูปของเหลว จึงมีผลให้ร่างกายต้องมีการสูญเสียน้ำในปริมาณมากตามมาด้วยเนื่องจากน้ำถูกใช้เป็นตัวทำละลาย ระบบขับถ่ายปัสสาวะประกอบด้วยไต 1คู่ ท่อไต1คู่ กระเพาะปัสสาวะและท่อปัสสาวะ

ไต (kidneys)

ในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดจะมีไตอยู่ 1 คู่ มีตำแหน่งอยู่ติดกับกระดูกสันหลังส่วนเอว และอยู่ภายนอกช่องท้อง (peritoneal cavity) โดยเนื้อไตทั้งหมดจะมีเนื้อเยื่อบางๆคลุมอยู่เรียกว่าเยื่อไต (renal capsule) ลักษณะรูปร่างของไตในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป แต่ส่วนใหญ่จะมีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่ว เช่นไตของสุกร สุนัข แมว ส่วนไตของโคจะมีรูปร่างเป็นกลีบๆ (segment หรือ lobe) และในม้าไตจะมีรูปร่างคล้ายกับรูปหัวใจไตข้างขวาจะมีขนาดใหญ่กว่าไตข้างซ้าย เนื่องจากระบบการขับถ่ายปัสสาวะเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำปัสสาวะและการขับถ่ายน้ำปัสสาวะ ซึ่งเป็นระบบการขับถ่ายของเสียในรูปของเหลว การทำงานของระบบปัสสาวะจึงมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนของเลือด โดยเลือดที่เป็นของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์จะเป็นตัวพาสารต่างๆที่ร่างกายต้องการขับออกไปที่ไต เพื่อให้ไตกรองสารที่ไม่ต้องการออกพร้อมทำการผลิตน้ำปัสสาวะ และขับออกในรูปของเหลวคือน้ำปัสสาวะ ไตมีหน้าที่คือ

1.สร้างน้ำปัสสาวะที่เกิดจากการกรองน้ำเลือดที่ไต ของเสียส่วนใหญ่เป็นของเสียที่เกิดจากขบวนการเมตาโบลิซึมของเซลล์

2.เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกาย เนื่องจากการขับถ่ายปัสสาวะทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำ ซึ่งเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในน้ำปัสสาวะ และเป็นตัวทำละลายสำหรับสารต่างๆ เช่น ยูเรีย และ ครีเอทีน ที่เป็นของเสียจากขบวนการเมตาโบลิซึมที่ร่างกายต้องการขับออก ไตจึงเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำในร่างกายไม่ให้มีการขับน้ำออกมาเกินไป โดยการควบคุมของฮอร์โมน antidiuretic hormone (ADH) และ aldosterone

3.ควบคุมสมดุลของกรด-ด่างในร่างกาย โดยการควบคุมสมดุลของกรด-ด่างในน้ำเลือด โดยทั่วไปในเลือดมีค่า pH ประมาณ 7.4 ซึ่งเป็นระดับที่เซลล์ในร่างกายสามารถทำหน้าที่ได้ การที่เลือดมี pH เป็นด่าง (alkalosis)หรือมี pH เป็นกรดมากเกินไป (acidosis)การทำงานของเซลล์จะมีประสิทธิภาพลดลง

4. ควบคุมสมดุลของเกลือแร่ในร่างกาย (electrolyte balance) โดยการขับแร่ธาตุส่วนที่มีมากเกินความต้องการออก และดูดกลับแร่ธาตุส่วนที่ร่างกายมีความต้องกลับเข้าสู่ร่างกายผ่านทางผนังของท่อไต

5. สร้างและหลั่งฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง(erythropoiesis) และฮอร์โมน (renin) ที่เกี่ยวกับการควบคุมความดันของเลือด

6. เกี่ยวกับการทำลายสารพิษ (detoxification) ซึ่งเป็นหน้าที่โดยตรงของไตในการช่วยกำจัดสารพิษที่เข้าไปในร่างกาย โดยการเปลี่ยนสารพิษบางชนิดให้เป็นสารที่มีพิษน้อยลง หรือเป็นสารที่ไม่มีพิษแล้วขับออกจากร่างกาย

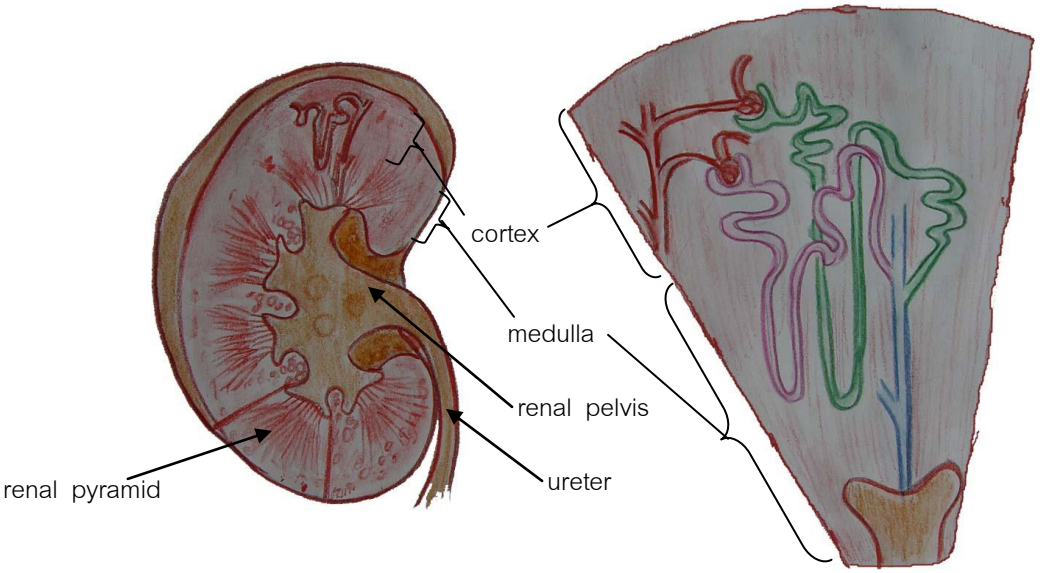
7. ผลิต 1,25 Dihydroxycholocalciferal หรือไวตามินดีในรูปที่สามารถทำงานได้ (active form)

กายวิภาคและจุลกายวิภาคของไต (anatomy and microanatomy of kidney)

เมื่อนำไตมาผ่าตามแนวนอนจะแบ่งไตออกเป็น 2 ซีก ในแต่ละซีกจะเห็นว่าเนื้อไตมีสีที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด แยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนเนื้อไตชั้นนอก (renal cortex)เป็นส่วนของเนื้อไตที่อยู่ติดกับเปลือกหุ้มไต (renal capsule) เนื้อไตมีสีเข้ม หรือสีเหลืองปนแดงจะเป็นบริเวณที่มีเลือดมาหล่อเลี้ยงมาก ส่วนของเส้นเลือดแดงที่มาหล่อเลี้ยงเนื้อไตเป็นกลุ่มของเส้นเลือดแดงฝอย ที่มาจัดเรียงตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า โกลเมอรูลัส (glomerulus) มีกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนของเส้นเลือดที่เข้ามาในโกลเมอรูรัสเรียกว่า afferent arteriole เส้นเลือดที่นำเลือดออกจากโกลเมอรูลัสเรียกว่า efferent arteriole โดย afferent arteriole จะมีขนาดใหญ่กว่า efferent arteriol รอบๆโกลเมอรูลัสแต่ละอันจะมีถุงหุ้มอยู่เพื่อรองรับน้ำปัสสาวะหรือน้ำที่กรองได้จากเลือด ส่วนของถุงหุ้มเรียกว่า Bowman's capsule ซึ่งจะต่อกับหลอดไตส่วนต้น (proximal convoluted tubules)

เนื้อไตชั้นในเรียกว่า renal medulla เป็นส่วนเนื้อไตที่มีสีเข้มกว่าเนื้อไตชั้นนอก มีหลอดไตขนาดต่างๆ เรียงอัดตัวกันแน่น โดยท่อไตส่วน collecting tubules จะเรียงตัวขนานกันเป็นกลุ่มๆ คล้ายกับรูปปิรามิดหรือคล้ายกับรูปสามเหลี่ยม ทำให้เกิดเป็นกลีบไตที่มีลักษณะคล้ายปิรามิด (renal pyramid) แต่ด้านฐานของรูปสามเหลี่ยมจะอยู่ทางด้านนอก หรือฐานของรูปสามเหลี่ยมจะติดกับเนื้อไตส่วนนอก ส่วนยอดแหลมของสามเหลี่ยมเรียกว่า renal papilla ซึ่งเป็นบริเวณที่มีรูเล็กๆปรากฏอยู่มากมาย โดยรูเล็กๆเหล่านี้จะเป็นรูเปิดของหลอดไตขนาดเล็กๆ ซึ่งเป็นทางผ่าน

ของปัสสาวะเพื่อเข้าสู่ช่องว่างที่รองรับอยู่ที่ปลายของ renal papilla แต่ละอัน ช่องว่างนี้เรียกว่า minor calyx minor calyx จำนวน 2-3 อันจะรวมกันแล้วเปิดเข้าสู่ช่องว่างที่มีขนาดใหญ่กว่าเรียกว่า major calyx ซึ่งจะเป็นช่องว่างที่รวมน้ำปัสสาวะจาก minor calyx แล้วส่งต่อไปยังท่อไต (ureters) โดยผ่านส่วนของกรวยไต (renal pelvix) ในสัตว์เลี้ยงบางชนิดเช่นม้าเนื้อไตจะไม่มีส่วนของ minor calyx และ major calyx ปรากฏให้เห็น ปัสสาวะที่ผลิตได้จากหลอดไตจะผ่านเข้าสู่กรวยไตโดยตรง แต่ในสัตว์บางชนิดเช่นโคจะไม่มีส่วนของกรวยไต เนื่องจากลักษณะไตของโคจะแยกออกเป็นกลีบๆชัดเจนจึงไม่จำเป็นต้องมีส่วนรวบรวมน้ำปัสสาวะ เมื่อหลอดไตผลิตน้ำปัสสาวะได้จะส่งผ่านรูในส่วนของ papilla แล้วส่งต่อไปที่ท่อไต เพื่อส่งผ่านน้ำปัสสาวะและนำไปเก็บที่กระเพาะปัสสาวะ



ภาพที่ 9.1 โครงสร้างของไต

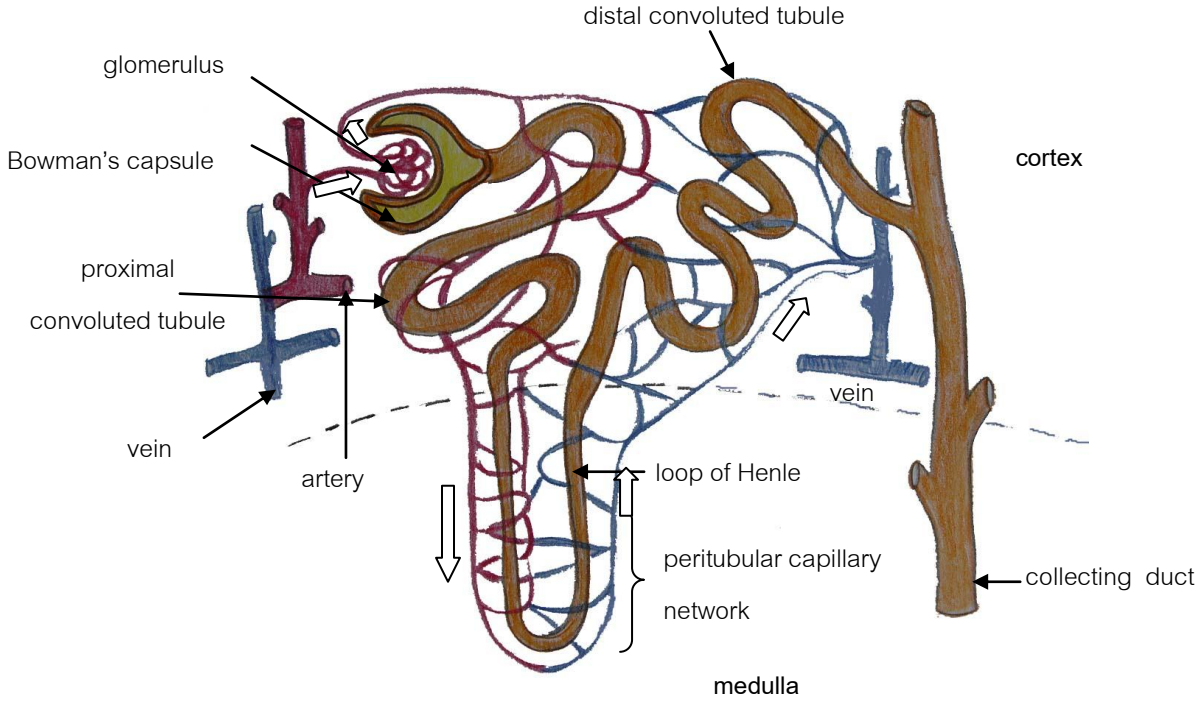
เนื้อไตแต่ละข้างจะมีหน่วยย่อยๆ ที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำปัสสาวะที่เรียกกันว่าเนฟอรน (nephron) เนฟรอนเป็นหน่วยทำหน้าที่ที่เล็กที่สุดของไต (funtional unit) พบได้ทั้งในส่วนของเนื้อไตส่วนนอกและเนื้อไตส่วนใน แต่ละหน่วยย่อยจะทำหน้าที่ผลิตน้ำปัสสาวะแล้วส่งมารวมกันที่ท่อไตเพื่อส่งต่อไปเก็บไว้ที่กระเพาะปัสสาวะ ส่วนของเนฟรอนแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.renal corpuscle หรือ malpighian corpuscle เป็นส่วนเนฟรอนที่พบในเนื้อไตส่วนนอกเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยกระจุกเส้นเลือดฝอยที่แตกมาจาก afferent arteriole มักนิยมเรียกว่า glomerulus แทนคำว่า renal corpuscle ส่วนของ Bowman's capsule เป็นส่วนของหลอดไต (renal tubule) ที่มีปลายตันคล้ายถุง ทำหน้าที่ห่อหุ้ม glomerulus ไว้ Bowman's

capsule มีผนัง 2 ชั้น ชั้นในจะติดกับ golmerulus ชั้นนอกจะเป็นรูปทรงกลมและอ้อมไปต่อกับหลอดไตส่วนต้น (proximal convoluted tubule)

2.หลอดไต (renal tubule)ประกอบด้วยท่อยาวแบ่งเป็นส่วนต่างๆคือ

2.1 หลอดไตส่วนต้น (proximal convoluted tubule) เป็นหลอดไตที่มีลักษณะเป็นท่อต่อออกมาจาก Bowman's capsule เป็นท่อที่มีขนาดยาวที่สุดและกว้างที่สุดของเนฟรอน จะพบท่อชนิดนี้มากในเนื้อไตส่วนนอก มีลักษณะขดไปมา ผนังด้านในท่อเป็นเซลล์เยื่อบุผิวที่มีลักษณะเป็นขนยื่นเข้าไปในช่องว่างของท่อ หลอดไตส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการดูดซึมน้ำกลับจากน้ำเลือดที่กรองที่ผ่านจากโกลเมอรูลัสแล้ว น้ำจะถูกดูดซึมกลับที่หลอดไตส่วนนี้ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้แร่ธาตุและสารอื่นก็สามารถดูดซึมผ่านส่วนนี้ได้เช่นกันได้แก่ โซเดียม คลอไรด์ แคลเซี่ยม โปแตสเซียม ฟอสฟอรัส ไวตามินซี กรดอะมิโนบางชนิด และ กลูโคส เป็นต้น นอกจากมีการดูดซึมน้ำและสารกลับเข้าสู่เส้นเลือดแดงฝอยที่ต่อมาจากเส้นเลือดที่ออกจากโกลเมอรูลัสและพันหุ้มหลอดไตส่วนนี้แล้ว บริเวณนี้ยังสามารถขับสารบางอย่างเช่น ครีเอทีน ไอโอดีนและยาเพนนิซิลินออกจากหลอดไตเพื่อเข้าสู่น้ำกรองได้ด้วย



ภาพที่ 9.2 ส่วนประกอบของหน่วยไต

ดัดแปลงจาก : Mader, 1988

2.2 ห่วงหลอดไต (loop of Henle หรือ Henle's loop) เป็นหลอดไตที่มีลักษณะเป็นห่วงหรือมีรูปตัวยูขนาดสั้นบ้างยาวบ้างทอดตัวลงมาในเนื้อไตส่วนใน มีตำแหน่งระหว่างหลอดไตส่วนต้นและหลอดไตส่วนปลาย แบ่งเป็น 2 ส่วนตามลักษณะรูปร่างของของเซลล์เยื่อบุผิว คือส่วน thin segment of Henle's loope เป็นส่วนของท่อที่มีผนังบางมีขนาดเล็กทอดตัวเข้าไปในเนื้อไตส่วนใน เซลล์เยื่อบุผิวเป็นชนิดเซลล์รูปเกล็ด (squamous epithelial cell) และ thick sement of Henle's loop เป็นส่วนของท่อที่มีขนาดใหญ่กว่าเป็นท่อทางด้านปลายของรูปตัวยูหรือตรงปลายห่วงหลอดไต เซลล์เยื่อบุมีรูปร่างเป็นรูปลูกบาศก์ (cuboidal epithelial cell) หลอดไตส่วนนี้สามารถดูดซึมน้ำกลับได้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมและคลอไรด์อิออนก็สามารถดูดซึมกลับได้ในส่วนนี้เช่นกัน โดยทั่วไปของเหลวที่อยู่ในส่วนนี้จะเป็นของเหลวที่มีความเข้มข้น มากที่สุดในหลอดไต โดยเฉพาะของเหลวที่อยู่ตรงส่วนล่างสุดหรือใกล้กับเนื้อไตส่วนในมากที่สุด

2.3 หลอดไตส่วนปลาย (distal convoluted tubule) เป็นหลอดไตที่มีลักษณะเป็นท่อเล็กๆต่อมาจากห่วงหลอดไตและอยู่ในเนื้อไตส่วนนอก เป็นท่อสั้นๆและขดไปมาน้อยกว่าส่วนของหลอดไตส่วนต้น มีตำแหน่งระหว่างส่วนปลายของ thick segment of Henle's loop และหลอดไตรวม(collecting tubule) หลอดไตรวมแต่ละท่อตรง(straight collecting tubules)จะมีปลายของหลอดไตส่วนปลาย (arch tubules) หลายๆอันมาเปิดอยู่ บริเวณหลอดไตส่วนปลายสามารถมีการดูดซึมน้ำกลับได้ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และมีการดูดซึมโซเดียมและคลอไรด์อิออนได้บ้าง รวมทั้งสามารถหลั่งหรือขับสารต่างๆกลับเข้าสู่ท่อไตได้ด้วยเช่น แอมโมเนียอิออน ไฮโดรเจนอิออน และโปแตสเซี่ยมอิออน เป็นต้น

2.4 หลอดไตรวม (collecting tubule) เป็นหลอดไตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ที่หลอดไตรวม (straight collecting tubules) ซึ่งเป็นหลอดไตรวมที่อยู่ในเนื้อไตส่วนนอกจะมีปลายของหลอดไตส่วนปลาย(arch tubules) หลายๆท่อมาต่อกัน และหลอดไตรวมส่วนนี้หลายๆท่อจะรวมกันเป็น papilla ducts ซึ่งตรงปลายจะมีรูให้น้ำปัสสาวะไหลลงสู่ minor calyx , major calyx และ renal pelvis ต่อไป ส่วนของหลอดไตรวมสามารถมีการดูดซึมน้ำกลับได้ประมาณ 9 เปอร์เซนต์รวมทั้งมีการขับสารเช่นโปแตสเซี่ยมอิออน และไฮโดรเจนอิออนเข้าสู่ท่อไตส่วนนี้ได้

เนฟรอนที่มีอยู่ในเนื้อไตทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เนฟรอนที่มี renal corpuscle ในส่วนเนื้อไตส่วนนอกใกล้กับเปลือกหุ้มไตเรียกว่า cortical nephron ส่วนเนฟรอนอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า juxtamedullary nephron เป็นเนฟรอนที่พบอยู่ใกล้กับเนื้อไตส่วนในหรือเนฟรอนที่พบอยู่ใกล้กรวยไต (renal pelvis) เนฟรอนทั้งสองชนิดนี้ทำหน้าที่สำคัญในการกรองน้ำเลือดและดูดซึมหรือขับสารบางอย่างเพื่อผลิตเป็นน้ำปัสสาวะเข้าสู่ท่อไต โดยส่วนที่ทำให้เกิดการกรองน้ำเลือดคือส่วนของ renal corpuscle หรือ glomerulus

หลอดไตมีหน้าที่สำคัญ ได้แก่การดูดซึมสารที่มีประโยชน์ต่อร่างกายกลับเข้าระบบเลือด (tubular reabsorption) และการขับสารที่ไม่ต้องการออกจากระบบเลือด (tubular secretion) การทำหน้าที่ทั้งสองอย่างนี้จะใช้กลไกในการดูดซึมได้ทั้งกลไกที่ไม่ใช้พลังงาน (passive transport) และกลไกที่ต้องใช้พลังงาน(active transport)

การดูดซึมกลับของสารสำคัญในหลอดไตได้แก่

1. กลูโคส (glucose) น้ำตาลกลูโคสเป็นสารสำคัญที่สามารถดูดกลับได้ทั้งหมดในท่อไต โดยจะถูกดูดกลับที่หลอดไตส่วนต้น การดูดซึมกลับจะใช้กลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active transport) ดังนั้นในสภาพที่ร่างกายปกติ จึงไม่พบกลูโคสในปัสสาวะเลย สารเคมีบางชนิดสามารถยับยั้งการดูดกลับของกลูโคสได้ กรณีที่พบว่าในปัสสาวะมีกลูโคสปนอยู่ ส่วนมากมักเกิดจากการขาดฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการนำกลูโคสในเลือดออกไปใช้ประโยชน์ การมีกลูโคสในปัสสาวะมักพบในกรณีหลังจากการเป็นโรคเบาหวาน และการผิดปกติของหลอดไตส่วนต้น

2.โซเดียม โปแตสเซียม และ น้ำ ถูกดูดซึมกลับในรูปของสารละลาย isotonic โดย Na^+ ถูกดูดซึมกลับได้สูงถึง 99 % โดยสามารถดูดซึมได้ตลอดแนวท่อหลอดไต การดูดซึมกลับของ Na^+ และ K^+ อาศัยกลไกที่ต้องใช้พลังงาน (active transport) แต่การดูดซึมกลับของหลอดไตส่วนปลายจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยฮอร์โมน aldosterone ซึ่งจะทำให้มีการดูดซึมกลับของ Na^+ มากขึ้น แต่จะขับ K^+ และ H^+ ออกจากหลอดเลือดฝอยที่พันรอบหลอดไตออกมาแทนที่ สำหรับการดูดซึมน้ำในหลอดไตจะใช้กลไกที่ไม่ต้องการพลังงาน (passive transport) แต่การดูดซึมน้ำที่หลอดไตส่วนปลายจะต้องใช้ฮอร์โมน aldosterone ซึ่งจัดเป็นการดูดซึมน้ำเพื่อรักษาความสมดุลของน้ำในร่างกาย

3. โปรตีน โปรตีนในเลือดไม่สามารถดูดซึมผ่านได้ แต่กรดอะมิโนสามารถดูดซึมเข้าหลอดไตได้ 95 %

4. ยูเรีย เป็นสารที่ร่างกายต้องการขับออก ถ้ามีมากกว่าระดับปกติ โดยสามารถดูดซึมได้ 40-50 %

5. กรดยูริกเป็นกรดที่เกิดจากขบวนการเมตาโบลิซึมของพิวรีน (purine) ที่เป็นส่วนประกอบของ DNA หากมีมากอาจตกผลึกเป็นเกลือยูเรท โดยทั่วไปสามารถดูดกลับได้เล็กน้อย การตกผลึกของเกลือยูเรทถ้าเกิดขึ้นมากๆในท่อไตหรือท่อปัสสาวะจะมีผลให้เกิดการเป็นนิ่วตามท่อไตและท่อปัสสาวะได้

6. Cl^- ถูกดูดกลับพร้อมกับ Na^+ โดยกลไกไม่ใช้พลังงาน(passive transport) เพื่อเข้าสู่เส้นเลือดฝอยที่พันอยู่รอบๆหลอดไต

การผลิตน้ำปัสสาวะ

การผลิตน้ำปัสสาวะในเนฟรอนของไต มีกระบวนการพื้นฐาน 3 ขั้นตอนคือการกรองที่ส่วน glomerulus (glomerulus filtration) เป็นหน้าที่ของ glomerulus โดยตรง การดูดสารกลับที่หลอดไต (tubular reabsorption) และการหลั่งหรือการขับสารเพิ่มในหลอดไต (tubular secretion) เป็นหน้าที่ของหลอดไต การผลิตน้ำปัสสาวะเริ่มต้นจากการกรองน้ำเลือดที่ส่วน glomerulus โดยเลือดไหลเข้าสู่ glomerulus ผ่านทาง afferent arteriole จากนั้นเลือดจะถูกกรองโดยเส้นเลือดฝอยของ glomerulus โดยอาศัยความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นที่ผนังเส้นเลือดของ glomerulus และผนังบางๆของ Bowman's capsule ความดันของเส้นเลือดฝอยจะดันให้เลือดไหลผ่านรูเล็กๆของผนังเส้นเลือดฝอย ผ่านไปยัง Bowman's capsule การกรองแบบนี้เป็นการกรองสารแบบไม่ต้องใช้พลังงาน (passive process) ของเหลวที่ได้จากการกรองผ่าน Bowman's capsule เรียกว่า glomerulus filtrate ส่วนของ glomerulus fitrate จะถูกส่งต่อไปตามหลอดไต เพื่อผ่านการดูดกลับและการขับสารเพิ่มต่อไป ส่วนแรกที่ของเหลวที่ได้จากการกรองไหลผ่านคือ หลอดไตส่วนต้น (proximal convoluted tubule) ส่วนประกอบของ glomerulus filtrate จะคล้ายกับน้ำเลือด มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 93-94 % นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นเช่น ฮอร์โมน กลูโคส กรดอะมิโน แร่ธาตุ และของเสียที่ร่างกายต้องการขับออก เช่น ยูเรีย

ขณะที่น้ำกรองหรือ glomerulus fitrate ผ่านมาที่หลอดไตส่วนต้น จะถูกเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบไปบางส่วน โดยการดูดซึมกลับของสารต่างๆที่ชั้นเซลล์เยื่อบุของหลอดไตผ่านขบวนการแพร่ (diffusion) และ active transport เซลล์เยื่อบุของหลอดไตส่วนต้นจะเปลี่ยนแปลงรูปร่างทำให้แตกต่างจากหลอดไตส่วนอื่น ลักษณะเซลล์จะเป็นเซลล์ที่มีขนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าลักษณะคล้ายกับเซลล์เยื่อบุในลำไส้เล็กเรียกว่า brush border หรือ microvilli ส่วน brush border จะยื่นเข้าไปในช่องว่างของหลอดไต ทำหน้าที่ดูดซึมส่วนประกอบของน้ำกรอง (glomerular filtrate) ประมาณร้อยละ 65 ของการดูดซึมกลับทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะเป็นการดูดซึมกลับที่หลอดไตส่วนต้น โดยอาศัยการทำงานของ brush border ส่วนประกอบที่สามารถดูดซึมกลับได้ที่หลอดไตส่วนต้นคือ กลูโคส กรดอะมิโน โซเดียม คลอรีน และไวตามินซี เป็นต้น หลอดไตส่วนต้นสามารถทำหน้าที่ขับสารบางอย่างให้แก่น้ำกรองได้เช่น ครีเอทีน (creatine) และ iodine เป็นต้น

ความดันต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการกรองน้ำเลือดใน afferent arteriole ในส่วน glomerulus ได้แก่ ความดันที่เส้นเลือดแดงฝอยของ glomerulus จะดันให้เลือดผ่านจากผนัง glomerulus เข้าสู่ Bowman's capsule เรียกว่า blood hydrostatic pressure เป็นแรงดันที่จะดันน้ำเลือดออกจากส่วน glomerulus นอกจากนี้เป็นความดันของโปรตีนในเลือด คือโปรตีน albumin ที่มีขนาด

โมเลกุลใหญ่ ไม่สามารถผ่านรูที่ผนังของหลอดเลือดที่ glomerulus ได้ โดยโปรตีน albumin จะมีคุณสมบัติในการดูดน้ำไว้ในตัวเองทำให้เกิดความดันเรียกว่า osmotic pressure หรือ colloidal osmotic pressure ความดันนี้จะมีทิศทางที่สวนทางกับ blood hydrostatic pressure และ ความดันใน Bowman's capsule หรือความดันใน Bowman's space เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถหาค่าความดันในการกรองน้ำปัสสาวะได้จากสูตร

ความดันสุทธิ = a – (b+c)

a = blood Hydrostatic pressure

b = colloidal osmotic pressure

c = hydrostatic pressure ที่ Bowman's capsule

ดังนั้นการผลิตปัสสาวะจะเกิดขึ้นได้ เมื่อค่า a ต้องมีค่าสูงกว่าค่า b และ c และค่า a ต้องสูงกว่าความดันสุทธิ ค่า a ลดลงเนื่องจากความดันเลือดที่เข้า glomerulus ลดลง จะทำให้การผลิตปัสสาวะลดลงด้วย

น้ำกรองที่ผ่านหลอดไตส่วนต้นแล้วจะไหลลงมาตามห่วงหลอดไต คิดเป็นปริมาตรประมาณ 1 ใน 3 หรือประมาณ 33 % ของน้ำกรองที่ถูกกรองออกมา เนื่องจากห่วงหลอดไตมีลักษณะรูปร่างเป็นห่วงรูปตัวยู ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างหลอดไตส่วนต้นและหลอดไตส่วนปลาย ดังนั้นขนาดของท่อบางส่วนจึงมีขนาดต่างกันเป็น 2 ขนาดคือส่วนหลอดไตของ Henle's loop ส่วนที่ต่อกับหลอดไตส่วนต้น ซึ่งทอดตัวลงมาเป็นท่อตรงข้าไปในเนื้อไตส่วนใน เรียกว่า thin descending limb เป็นหลอดไตที่มีผนังบางเป็นเซลล์ชั้นเดียว มีคุณสมบัติยอมให้น้ำผ่านได้ดี ทำให้น้ำกรองมีความเข้มข้นขึ้น บริเวณส่วนนี้จะไม่มีการดูดซึมหรือขับสารเข้าออก ส่วนหลอดไตที่ต่อจาก thin descending limb คือ thin ascending limb เป็นหลอดไตที่มีผนังบางเช่นกันแต่เซลล์มีคุณสมบัติยอมให้สารเคลื่อนผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ได้ แต่ไม่ให้น้ำผ่าน เมื่อน้ำกรองผ่านส่วนนี้ได้ยาก จึงมีการแพร่ของ Na^{+}และCl^{-} ออกจากหลอดไต และสารที่มีโมเลกุลใหญ่ที่มากับน้ำกรองเช่นยูเรียสามารถแพร่เข้ามาในหลอดไตได้บางส่วน จากส่วน thin ascending limbน้ำกรองจะผ่านเข้าไปยัง thick ascending limb ผนังของหลอดไตจะหนาขึ้น เนื่องจากเซลล์จะเปลี่ยนรูปร่างจากเซลล์แบนเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ส่วนนี้จะเป็นบริเวณที่น้ำและยูเรียผ่านออกได้ยาก แต่ Na^{+} ,Cl^{-} ,Mg^{++} และ Ca^{++} จะถูกดูดกลับเป็นต้น นอกจากกลไกการดูดกลับของสารต่างๆเกิดขึ้นปกติแล้วยังมีกลไกสำคัญอีกหลายกลไกเช่น กลไก Na-K- 2 Cl cotransporter และกลไก countercurrent mechanism ส่วนใหญ่กลไก countercurrent mechanism จะเกิดที่ Henle's loop ชนิดยาวมากกว่าชนิดสั้น กลไกที่สำคัญในการดูดซึมกลับของน้ำที่หลอดไต มีทั้งกลไกที่ไม่ต้องใช้พลังงานเช่นขบวนการแพร่ ซึ่งเป็นขบวนการ passive transport โดยอาศัยความแตกต่างของความเข้มข้น

จองสารในท่อไตและกลไกที่จำเป็นต้องใช้พลังงาน(ATP) ในการดูดกลับผ่านขบวนการ active transport ซึ่งจะต้องมีตัวนำหรือ carrier ให้สารเกาะ

หลอดไตส่วนปลาย (distal convoluted tubule) เป็นหลอดไตสั้นๆที่ต่อระหว่างปลายของ thin ascending limb ของ Henle's loop กับส่วน collecting tubule ส่วนนี้สามารถดูดซึมน้ำกลับได้ เช่นเดียวกับ Na^+ และ Cl^- นอกจากนั้นยังสามารถขับสารต่างๆเช่น NH_4^+, H^+ และ K^+ออกมาสู่ท่อไตได้ด้วย

หลอดไตรวม (collecting tubules) เป็นหลอดไตที่ต่อจากปลายของหลอดไตส่วนปลาย ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการดูดกลับน้ำ, Na^+ และหลั่ง K^+ ออกมา โดยอาศัยการทำงานของ Na-K ATPase นอกจากนี้ยังมีการดูดกลับของยูเรีย, K^+ และ H^+ ด้วย แต่ละท่อของ collecting tubule จะรับน้ำปัสสาวะจากส่วนปลายของหลอดไตส่วนปลายหลายๆท่อรวมกัน ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำปัสสาวะในส่วน collecting tubule คือความเข้มข้นของน้ำปัสสาวะที่ออกจากร่างกาย

ท่อไต (Ureter)

ท่อไตเป็นท่อกลวงที่ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบทั้งหมด เป็นทางติดต่อระหว่างไตและกระเพาะปัสสาวะ ทำหน้าที่รับน้ำปัสสาวะจากไต เพื่อส่งต่อไปยังกระเพาะปัสสาวะ การส่งผ่านน้ำปัสสาวะเกิดจากการบีบตัวของผนังกล้ามเนื้อเรียบที่ล้อมรอบท่อไต คล้ายกับขบวนการ peristalsis ของผนังลำไส้ บริเวณท่อไตตรงส่วนที่ต่อระหว่างท่อไตกับกระเพาะปัสสาวะ จะมีลิ้น (valves) อยู่ภายในท่อ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำปัสสาวะเข้าสู่ไต

กระเพาะปัสสาวะ(urinary bladder) **และท่อปัสสาวะ** (urethra)

กระเพาะปัสสาวะเป็นอวัยวะที่มีลักษณะเป็นถุง ส่วนท้ายของกระเพาะปัสสาวะจะต่อกับท่อปัสสาวะ ด้านในถุงเป็นช่องว่างขนาดใหญ่ที่ผนังเป็นส่วนของกล้ามเนื้อเรียบ เมื่อปัสสาวะในกระเพาะปัสสาวะมากขึ้น ผนังกระเพาะปัสสาวะจะยืดตัวออก ถ้าไม่มีน้ำปัสสาวะผนังกระเพาะปัสสาวะจะหดตัวเล็กลง บริเวณกระเพาะปัสสาวะที่ต่อกับท่อปัสสาวะจะมีกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter) ทำหน้าที่ป้องกันการไหลย้อนของน้ำปัสสาวะเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะ เมื่อเกิดการขับปัสสาวะ (urination) น้ำปัสสาวะที่สะสมในกระเพาะปัสสาวะจะไหลเข้าสู่ท่อปัสสาวะ และออกสู่ภายนอกร่างกายผ่านอวัยวะเพศ สำหรับสัตว์เพศผู้ท่อปัสสาวะนอกจากจะทำหน้าที่ในการนำน้ำปัสสาวะออกจากร่างกายแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำเชื้อด้วย ในสัตว์เพศผู้ด้านบนของท่อปัสสาวะส่วนต้น (pelvic urethra) จะมีต่อมร่วม (accessory glands) เช่นต่อมพรอสเตรท (prostate gland) และต่อมคาว์สเปอร์ (cowper's gland) ปรากฏให้เห็นได้ การขับถ่ายปัสสาวะ

เป็นหน้าที่ของกระเพาะปัสสาวะ ซึ่งต้องอาศัยการทำงานร่วมกันระหว่างกระเพาะปัสสาวะและกล้ามเนื้อหูรูดทั้งสองข้างที่ต่อกับท่อปัสสาวะ ซึ่งจะถูกควบคุมโดยระบบประสาทส่วนกลางและรีเฟล็กซ์ของระบบประสาทอัตโนมัติ โดยทั่วไปปริมาณน้ำปัสสาวะที่สัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะขับออกจากร่างกายในแต่ละวันมีปริมาณที่แตกต่างกันไป โดยสามารถวัดได้เป็น ซีซี/วัน หรือ ลิตร/วันหรือ ซีซี /น้ำหนักตัว/วัน เช่นในแมว มี 10-20 ซีซี /กก./วัน ในโค 17-45 ลิตร/วัน และในแพะ 10-40 ซีซี/วัน เป็นต้น

ส่วนประกอบของน้ำปัสสาวะ

น้ำปัสสาวะเป็นของเหลวที่ผลิตจากไต มีสีค่อนข้างเหลือง มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 95%และมีของแข็งประมาณ 5 % ในจองแข็งที่เป็นส่วนประกอบมีทั้งส่วนที่เป็นสารอินทรีย์และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ ยูเรีย แอมโมเนีย น้ำตาล โซเดียม คลอไรด์ แคลเซียม และแมกนีเซียมเป็นต้น นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันบางชนิด และฮอร์โมนบางชนิดด้วย สีของน้ำปัสสาวะเป็นสีที่เกิดจากน้ำดี ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำปัสสาวะจะขึ้นกับปริมาณของเกลือแร่หรือแร่ธาตุต่างๆ และปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบ ปัสสาวะที่มีค่าเป็นกรด คือมีค่า pH ต่ำกว่า 7.4 จะมี H^+และ Nh_4^+ ปนอยู่มาก แต่ถ้าปัสสาวะมีค่าเป็นด่าง จะมี HCO_3^-, Na^+ และ K^+ สูงโดยทั่วไปปัสสาวะจะมีค่าความเป็นกรดเล็กน้อย ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามอาหารที่กิน สภาพร่างกายและการติดเชื้อ โรคเบาหวานปัสสาวะจะเป็นกรด

Plasma clearance

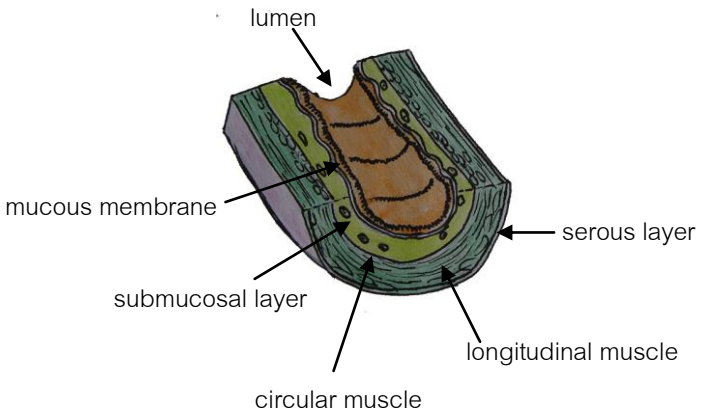
เป็นค่าที่ใช้บอกประสิทธิภาพการทำงานของไต ว่าไตมีความสามารถในการขับสารบางอย่างจากน้ำเลือดออกมาในส่วนของน้ำปัสสาวะได้มากหรือน้อยแค่ไหน

บทที่ 10
ระบบย่อยอาหาร
(Digestive system)

ระบบย่อยอาหารเกี่ยวข้องกับการย่อยและการใช้ประโยชน์จากอาหาร เมื่อสัตว์กินอาหารเข้าไปในร่างกายอาหารจะเคลื่อนที่ผ่านระบบทางเดินอาหาร (gastrointestinal tract หรือ alimentary tract) ในขณะที่อาหารเคลื่อนที่ผ่านระบบทางเดินอาหารส่วนต่าง ๆ จะเกิดการย่อยอาหาร (digestion) ทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กลงจนกระทั่งสามารถดูดซึม (absorption) ผ่านเข้าระบบเลือด หรือระบบน้ำเหลืองเพื่อเข้าสู่ตับ จากนั้นจึงถูกส่งไปในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไป

ส่วนประกอบของระบบย่อยอาหาร

ระบบย่อยอาหารในสัตว์เศรษฐกิจทุกชนิดประกอบด้วยอวัยวะย่อยอาหารที่มีท่อทางเดินอาหารที่มีลักษณะเป็นท่อยาว เริ่มต้นจากช่องปาก (mouth) และสิ้นสุดที่ช่องทวาร (anus) นอกจากนี้ยังมีส่วนของอวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหารอื่น ๆ อีก เช่น ต่อมน้ำลาย ตับ และตับอ่อน เป็นต้น โครงสร้างพื้นฐานของท่อทางเดินอาหารในสัตว์ทุกชนิดประกอบด้วยผนัง 4 ชั้น คือ ชั้นเยื่อเมือก (mucous membrane หรือ mucosa) ชั้นใต้เยื่อเมือก (submucosa) ชั้นกล้ามเนื้อ (muscularis externa) ส่วนใหญ่เป็นส่วนของกล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) และชั้นเซโรซา หรือชั้นเยื่อบุผิวท่อทางเดินอาหารด้านนอก (serosa mambran) แต่ละส่วนของท่อทางเดินอาหารมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกัน แต่มีความแตกต่างกันที่ขนาด รูปร่างและความหนาของผนังแต่ละ



ภาพที่ 10.1 โครงสร้างพื้นฐานของท่อทางเดินอาหาร

ชั้น

ท่อทางเดินอาหารในสัตว์แต่ละชนิดประกอบด้วย ปาก (mouth) หลอดคอ (pharynx) หลอดอาหาร (esophagus) กระเพาะอาหาร (stomach) ลำไส้เล็ก (small intestine) และลำไส้ใหญ่ (large intestine) เป็นต้น โค สุกร และสัตว์ปีก มีการพัฒนาท่อทางเดินอาหารที่แตกต่างกันไปตามลักษณะของอาหารที่สัตว์กิน จึงสามารถแบ่งท่อทางเดินอาหารของสัตว์ออกได้เป็น 2 พวก คือ

1. สัตว์กระเพาะเดี่ยว เป็นสัตว์ที่ท่อทางเดินอาหารมีการพัฒนาแบบง่าย ๆ ไม่ยุ่งยาก สัตว์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ สัตว์กินเนื้อ (carnivorous) และสัตว์ที่กินเนื้อและเมล็ดธัญพืช (omnivorous) เช่น สุนัข สุกร สัตว์ปีก และม้า เป็นต้น

2. สัตว์กระเพาะรวม เป็นสัตว์ที่ท่อทางเดินอาหารมีการพัฒนามาก เพื่อให้เหมาะสมกับ

อาหารที่กินคืออาหารที่มีเยื่อใยสูง สัตว์กระเพาะรวมเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะขนาดใหญ่และมี

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องที่กับการย่อยอาหารที่มีเยื่อใยอาศัยอยู่มากมาย สัตว์ในกลุ่มนี้ได้แก่ โค กระบือ

แพะ และ แกะ เป็นต้น

ท่อทางเดินอาหาร

1. ปาก (Mouth)

ปากเป็นส่วนแรกของท่อทางเดินอาหาร เกี่ยวข้องกับการนำอาหารเข้าสู่ปาก (prehension) การเคี้ยวอาหาร (mastication) การเคี้ยวเอื้อง (rumination) การผลิตและหลั่งน้ำลาย (salivation) สัตว์แต่ละชนิดมีลักษณะปากที่แตกต่างกันไปขึ้นกับลักษณะการกินอาหาร ม้ามีลักษณะการกินอาหารโดยการใช้ทั้งริมฝีปากบนและริมฝีปากล่าง (upper and lower lips) ในการนำอาหารเข้าปากจากนั้นจึงใช้ฟันหน้า (incissor teeth) ตัดหรือกัดหญ้าให้ขาด ม้าจึงกินหญ้าได้ต่ำหรือติดดินกว่า ส่วนโค-กระบือใช้ลิ้นในการนำอาหารเข้าสู่ปากแล้วใช้ส่วนของฟันตัดด้านล่างร่วมกับแผ่นเหงือก (dental pad) ช่วยตัดอาหารร่วมกับริมฝีปาก

ปาก ประกอบด้วย ริมฝีปาก (lips) ลิ้น (tongue) ฟัน (teeth) เพดานปาก และ ต่อมน้ำลาย (salivary glands) ชั้นเยื่อเมือกในปากมีเซลล์เยื่อบุผิวและต่อมสร้างน้ำเมือกใสทำหน้าที่ผลิตของเหลว หรือเมือก ช่วยทำให้ภายในช่องปากชุ่มชื้นตลอดเวลา ในปากมีช่องว่างแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ช่องว่างที่ติดต่อกับหลอดคอ (mouth cavity) เป็นช่องว่างที่อยู่ระหว่างฟันบดและฟันกรามด้านซ้ายและด้านขวา และช่องว่างที่อยู่ระหว่างฟันกรามและแก้ม รวมถึงช่องว่างระหว่างฟันตัดกับริมฝีปาก เมื่ออาหารเข้าสู่ช่องปากอาหารจะมีการเคลื่อนไหวโดยการเคี้ยวอาหารและการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลาย เป็นการเตรียมอาหารเข้าสู่หลอดคอ การเคี้ยวอาหารในปาก ทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง ลักษณะของการเคี้ยวอาหารในปากจะใช้ฟันบดและฟันกรามร่วมกันทำหน้าที่ เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างฟันและกล้ามเนื้อที่อยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ การเคี้ยวอาหารในปากสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การเคี้ยวแบบขึ้นลง (vertical movement) เช่นการเคี้ยวอาหารในสุกรและม้า และการเคี้ยวอาหารแบบแนวนอน (horizontal movement หรือ lateral movement) เช่นในโค และ กระบือ

ต่อมน้ำลายทำหน้าที่ผลิตน้ำลายคลุกเคล้าอาหาร ช่วยให้อาหารอ่อนนุ่มสะดวกในการกลืน ในสัตว์เลี้ยงบางชนิด เช่น สุกร และสุนัข ในน้ำลายจะมีเอนไซม์ไทยาลิน (ptyalin) ทำหน้าที่ในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลมอลโตส น้ำลายเป็นของเหลวที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบเป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่เป็นของแข็งในน้ำลายประกอบด้วยโปรตีนและแร่ธาตุต่าง ๆ หลายชนิด

การหลั่งน้ำลายจากต่อมน้ำลายในปากเกิดจากการมีอาหารหรือสิ่งอื่น ๆ เข้าไปในปาก มีผลให้ปลายประสาทของต่อมน้ำลายที่มีปลายประสาทรับความรู้สึก (receptor) อยู่ภายในช่องปากรับความรู้สึกและส่งกระแสความรู้สึกผ่านเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7, 9 และ10 ส่งความรู้สึกไปยังศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายที่สมองส่วน medulla oblongata ศูนย์ควบคุมการหลั่งน้ำลายจะส่งคำสั่งผ่าน craniosacral nerve ที่อยู่ภายในเส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 และ 9 มาที่ต่อมน้ำลายทำให้เกิดการหลั่งน้ำลายออกมาเพื่อคลุกเคล้าอาหารในปาก ในสัตว์ทุกชนิดมีต่อมน้ำลาย 3 คู่ คือ

ก. ต่อมน้ำลายกกหู (parotid glands) ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะกึ่งเหลว(mixed type) เกี่ยวข้องกับการคลุกเคล้าอาหารทำให้อาหารอ่อนนุ่ม

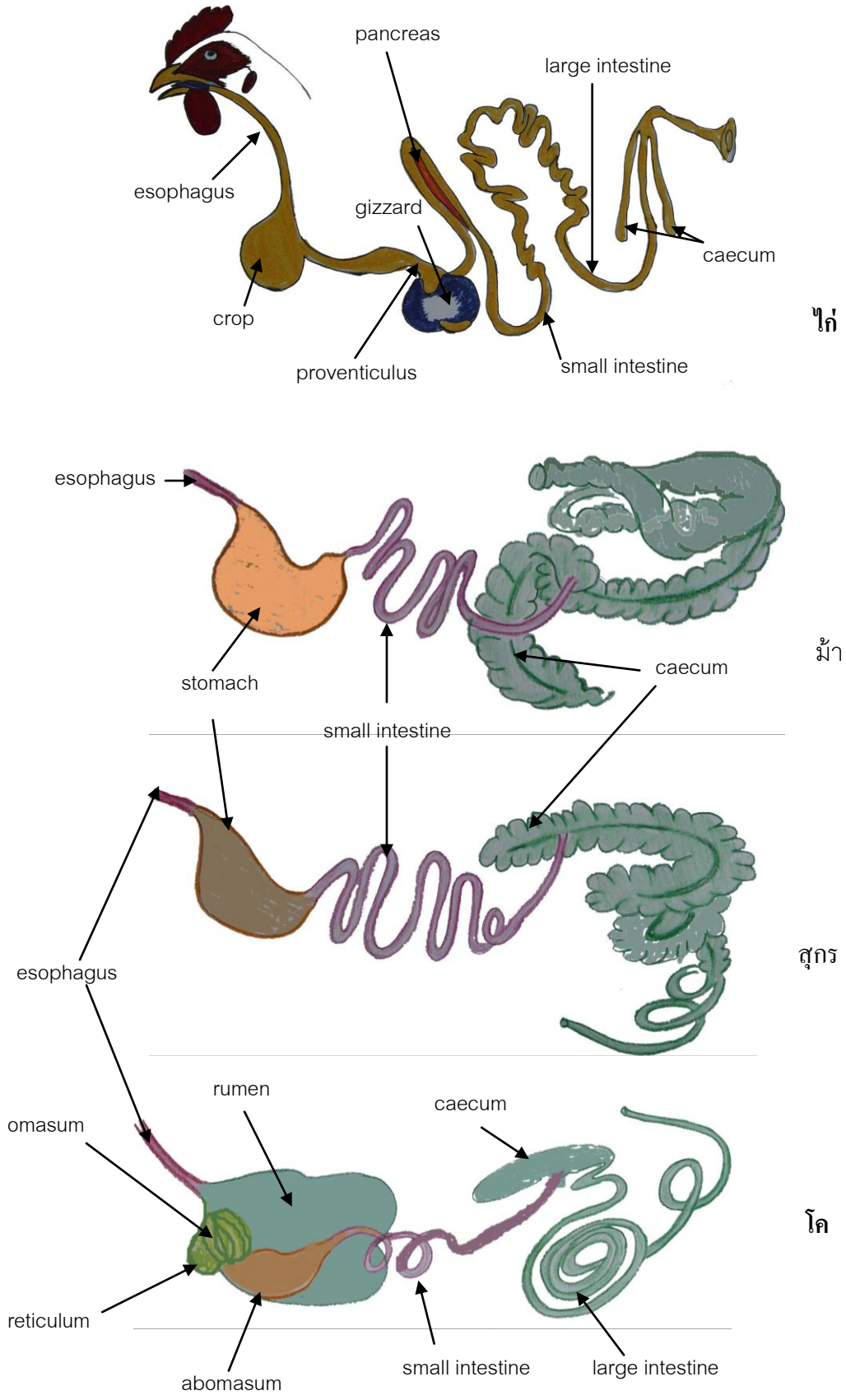
ข. ต่อมน้ำลายใต้โคนลิ้น (sublingual gland) ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะเป็นของเหลวใส มีเอนไซม์ไทยาลินเป็นส่วนประกอบ ช่วยในการย่อยอาหารประเภทแป้ง

ค. ต่อมน้ำลายที่อยู่ระหว่างขากรรไกร (submaxillary gland) เป็นต่อมน้ำลายที่อยู่ใต้ต่อมน้ำลายกกหู ผลิตน้ำลายที่มีลักษณะข้น (mucous type) ประกอบด้วยสารมิวซิน

นอกจากต่อมน้ำลายทั้ง 3 คู่แล้ว ยังมีต่อมน้ำลายประเภทต่อมเดี่ยวที่ผลิตน้ำลายในปริมาณต่างๆกัน เช่น ต่อมน้ำลายข้างแก้ม (buccal glands) และต่อมน้ำลายข้างริมฝีปาก (labial glands)

ในสัตว์เคี้ยวเอื้องที่กินอาหารหยาบเป็นอาหารหลัก จะผลิตน้ำลายในปริมาณที่สูงกว่าสัตว์ที่กินเนื้อและสัตว์ที่กินธัญพืช เนื่องจากน้ำลายจะมีคุณสมบัติในการควบคุมความกรดเป็นด่างของของเหลวในกระเพาะรูเมน ช่วยรักษาปริมาณความสมดุลของของเหลวในกระเพาะรูเมน และช่วยป้องกันโรคท้องอืด (bloat) ได้ หน้าที่ของน้ำลาย คือ

1. ทำให้เยื่อเมือกและริมฝีปากด้านในมีความชุ่มชื้นตลอดเวลา
2. คลุกเคล้าอาหาร ทำให้อาหารเป็นก้อนอ่อนนุ่ม เคี้ยวและกลืนได้ง่าย
3. ในสัตว์บางชนิดน้ำลายจะย่อยอาหารพวกแป้ง บางชนิดย่อยไขมัน
4. ช่วยปรับความสมดุลของกรดและด่างในกระเพาะหมักของสัตว์เคี้ยวเอื้อง
5. ช่วยชะล้างเศษอาหารและฆ่าเชื้อโรคในช่องปาก (antibacterial action)
6. รักษาปริมาณของของเหลวภายในกระเพาะหมัก
7. เป็นแหล่งอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในกระเพาะหมัก



ภาพที่ 10.2 แสดงส่วนประกอบของท่อทางเดินอาหาร

ฟันเป็นโครงสร้างที่เป็นส่วนหนึ่งของกระดูกขากรรไกร ทำหน้าที่สำคัญในการจับชิ้นอาหาร และ เคี้ยวอาหาร ในสัตว์บางชนิดจะใช้ฟัน (เขี้ยว) เป็นอาวุธในการต่อสู้ สัตว์เลี้ยงทุกชนิดมีฟันอยู่ 2 ชุด คือฟันน้ำนม และ ฟันแท้

1.ฟันน้ำนม (decidous teeth) หมายถึงฟันชุดที่งอกขึ้นมาตั้งแต่แรกเกิดและจะหลุดออกไปเมื่อมีฟันแท้ขึ้นมาแทนที่

2.ฟันแท้ (permanent teeth) หมายถึงฟันชุดที่เจริญขึ้นมาแทนที่ฟันน้ำนมเมื่อสัตว์เจริญเติบโต ฟันแท้จะมีความแข็งแรงและมีขนาดใหญ่กว่าฟันน้ำนม

ประเภทของฟันทั้งฟันแท้และฟันน้ำนม สามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด คือ

ก.ฟันหน้า หรือฟันตัด (incisor teeth) เป็นฟันที่อยู่ด้านหน้าของกระดูก mandible และ premaxillary

ข.ฟันเขี้ยว(canine) เป็นฟันที่อยู่ด้านข้างของฟันตัด โดยทั่วไปจะมีจำนวน 1 คู่ในแต่ละข้างของขากรรไกร สัตว์เคี้ยวเอื้องและแม่ม้าจะไม่มีฟันชุดนี้

ค.ฟันกรามหรือฟันแก้ม (check teeth) เป็นฟันที่อยู่ถัดจากฟันเขี้ยวทั้ง 2 ข้างของขากรรไกรบนและล่าง มีอยู่ 2 ชนิดคือ ฟันกรามหน้า (premolar) และฟันกรามหลัง (molar)

ฟันน้ำนมและฟันแท้ของสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะมีจำนวนและชนิดที่แตกต่างกันไปและสามารถเขียนเป็นสูตรฟันน้ำนมและฟันแท้ได้

โครงสร้างของฟัน แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1.ยอดฟัน (crown) หมายถึงส่วนของยอดฟันที่คลุมด้วยเคลือบฟัน (enamel) ส่วนนี้จะรวมไปถึงส่วนของฟันที่เลยลงไปในเหงือกเล็กน้อย

2.คอฟัน (neck) เป็นส่วนของรอยต่อระหว่างยอดฟันและรากฟัน

3.รากฟัน (root) เป็นส่วนของฟันที่ฝังอยู่ในซอกของขากรรไกร

ส่วนของเนื้อฟันเรียกว่า dentine ด้านในของเนื้อฟันเป็นโพรงเรียกว่า puly cavity ภายในโพรงฟันจะมีช่องขนาดเล็กที่เป็นช่องทางผ่านของเส้นประสาทและเส้นเลือดหล่อเลี้ยงเนื้อฟัน โครงสร้างของฟันแท้

ลิ้น (tongue) เป็นส่วนของช่องปากที่อยู่ระหว่างฟันกรามทั้งซีกซ้ายและขวา โครงสร้างส่วนใหญ่ของลิ้นประกอบด้วยมัดกล้ามเนื้อที่แข็งแรง คือกล้ามเนื้อ extrinsic muscles ที่ยึด

ระหว่างกระดูก hyoid กับตัวลิ้น และกล้ามเนื้อลิ้น (intrinsic muscles) กล้ามเนื้อลิ้นปกคลุมด้วยชั้นเยื่อบุผิวชนิด stratified squamous epithelium ชนิดชุ่ม (moist type) มีหนาม (papillae) กระจายอยู่ทั่วไปทางด้านบนของลิ้น papillae เหล่านี้มีรูปร่างต่างกันไปขึ้นกับชนิดของสัตว์ เช่น รูปร่างคล้ายขน (filiform papillae) รูปร่างคล้ายดอกเห็ด (fungiform papillae) รูปร่างคล้ายใบไม้ (foliate papillae) และรูปร่างกลมนูน(circumvallate papillae) ด้านบนของ papillae เหล่านี้จะมีตุ่มรับรสและต่อมผลิตของเหลว (serous glands) ปนอยู่ด้วย

2 หลอดคอ (pharynx)

หลอดคอเป็นท่อทางเปิดร่วมระหว่างทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร โดยมีส่วนของ epiglottis ทำหน้าที่ปิดส่วนของระบบหายใจ (หลอดลม) เมื่อมีสิ่งแปลกปลอมผ่านเข้ามาในหลอดคอเพื่อที่จะเข้าไปในหลอดอาหาร เมื่อสัตว์หายใจ epiglottis จะปิดช่องระหว่างลำคอกับหลอดอาหารทำให้อากาศที่หายใจผ่านช่องจมูกเข้าสู่หลอดลมได้สะดวก หลอดคอมีรูปร่างคล้ายปากกรวย (funnel shaped) ผนังภายในหลอดคอบุด้วยชั้นเยื่อเมือกและล้อมรอบด้วยกล้ามเนื้อ ส่วนต้นของหลอดคอจะมีขนาดใหญ่ส่วนปลายมีท่อเปิดต่อกับหลอดอาหารและหลอดลม ภายในหลอดคอมีช่องเปิดหลายแห่ง คือช่องปาก ช่อง posterior naves 2 ช่อง ช่อง eustachian tubes 2 ช่อง ช่อง laryngeal openiry ส่วนของ eustachian tubes เป็นท่อที่ต่อจากช่องหูชั้นกลางเปิดเข้าสู่หลอดคอหรือลำคอทั้งสองข้าง ทำหน้าที่ช่วยปรับความดันของแก้วหูทั้งสองข้างให้เท่ากัน หลอดคอมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการกลืนอาหาร (deglutition) เข้าสู่หลอดอาหาร ขบวนการกลืนอาหารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ คือ

1.ระยะที่หนึ่ง เป็นระยะที่อาหารเข้าสู่ปาก เป็นระยะที่สามารถควบคุมได้ เมื่ออาหารเข้าสู่ปากเกิดการเคี้ยวอาหารทำให้อาหารคลุกเคล้ากับน้ำลาย และถูกทำให้เป็นก้อน ลิ้นจะหดตัวเพื่อส่งก้อนอาหารไปที่ปลายลิ้นแล้วผลักดันก้อนอาหารไปสู่หลอดคอ

2.ระยะที่สอง เมื่อก้อนอาหารมาที่หลอดคอมีผลให้มีน้ำหนักไปกดหลอดคอ บริเวณชั้นเยื่อเมือกจะมีเซลล์ประสาทรับความรู้สึกก็จะส่งความรู้สึกไปยังเส้นประสาทคู่ที่ 9 คือ glossopharyngel nerve ส่งกระแสความรู้สึกไปยังสมองส่วน medulla oblongata ซึ่งจะส่งคำสั่งมาทำให้ epiglottis ปิดหลอดลมและเกิดขบวนการกลืนก้อนอาหารเข้าไปในหลอดอาหาร (swallowing reflex)

3.ระยะที่สาม เมื่ออาหารผ่านหลอดคอเข้ามาในหลอดอาหาร ก้อนอาหารจะมีการเคลื่อนตัวโดยขบวนการ peristatic movement ซึ่งเกิดจากการคลายตัวและหดตัวของกล้ามเนื้อรอบหลอดอาหารโดยกล้ามเนื้อจะคลายตัวและหดตัวสลับกันไปมา

3.หลอดอาหาร (esophagus)

หลอดอาหารเป็นท่อทางเดินอาหารที่เชื่อมต่อระหว่างหลอดคอกับกระเพาะอาหารส่วนต้น (cardiac) บริเวณรอยต่อระหว่างหลอดคอกับกระเพาะมีกล้ามเนื้อหูรูด (cardiac sphincter) ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของอาหารสู่กระเพาะ หลอดอาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น ชั้นในสุดเป็นชั้นเยื่อเมือก ถัดมาคือชั้นใต้เยื่อเมือก ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นนอกสุดคือชั้นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดหลวม กล้ามเนื้อของผนังหลอดอาหารจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ในสุกรและม้ามีกล้ามเนื้อ 2 ชั้น ส่วนต้นของหลอดอาหารจะเป็นกล้ามเนื้อลายส่วนท้ายจะเป็นกล้ามเนื้อเรียบ ส่วนในสุนัขและสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีแต่กล้ามเนื้อลายเพียงอย่างเดียวตลอดผนังหลอดอาหาร เนื่องจากกล้ามเนื้อลายจะช่วยทำให้เกิดการขยอกอาหารออกมาเคี้ยวเอื้องในปาก และช่วยในการขยอกอาหารออกมาอาเจียนได้ในสุนัข ในสัตว์บางชนิดชั้นใต้เยื่อเมือกจะพบต่อมสร้างน้ำเมือกเพื่อผลิตของเหลวชนิดเมือกช่วยในการนำอาหารผ่านไปสู่กระเพาะได้สะดวกขึ้น

4.กระเพาะอาหาร (stomach)

กระเพาะอาหารของสัตว์เลี้ยงสามารถแบ่งออกเป็นกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว และกระเพาะอาหารของสัตว์กระเพาะรวม ตามลักษณะการพัฒนาของกระเพาะ และลักษณะอาหารที่สัตว์กิน

ก.กระเพาะในสัตว์กระเพาะเดี่ยว

ในสัตว์กระเพาะเดี่ยว สุกรจะเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะอาหารที่มีความจุมากที่สุด มีตำแหน่งอยู่ทางด้านซ้ายของกระบังลม รูปร่างของกระเพาะอาหารของสุกรจะมีรูปร่างคล้ายไตหรือเมล็ดถั่ว อาจแบ่งส่วนของกระเพาะออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนต้น (cardiac) ส่วนกลาง (fundus) และส่วนปลาย (pyrolus) ตรงส่วนกลางและส่วนปลายของกระเพาะจะมีกล้ามเนื้อหูรูด (cardiac sphincter และ pyrolic sphincter) ทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของอาหารในกระเพาะ ส่วนต้นของกระเพาะต่อกับหลอดอาหารและส่วนปลายของกระเพาะต่อกับลำไส้เล็ก อาจแบ่งกระเพาะอาหารออกเป็นส่วนต่าง ๆ ตามลักษณะของเยื่อบุผิวภายในกระเพาะได้เป็น 4 ส่วน คือ

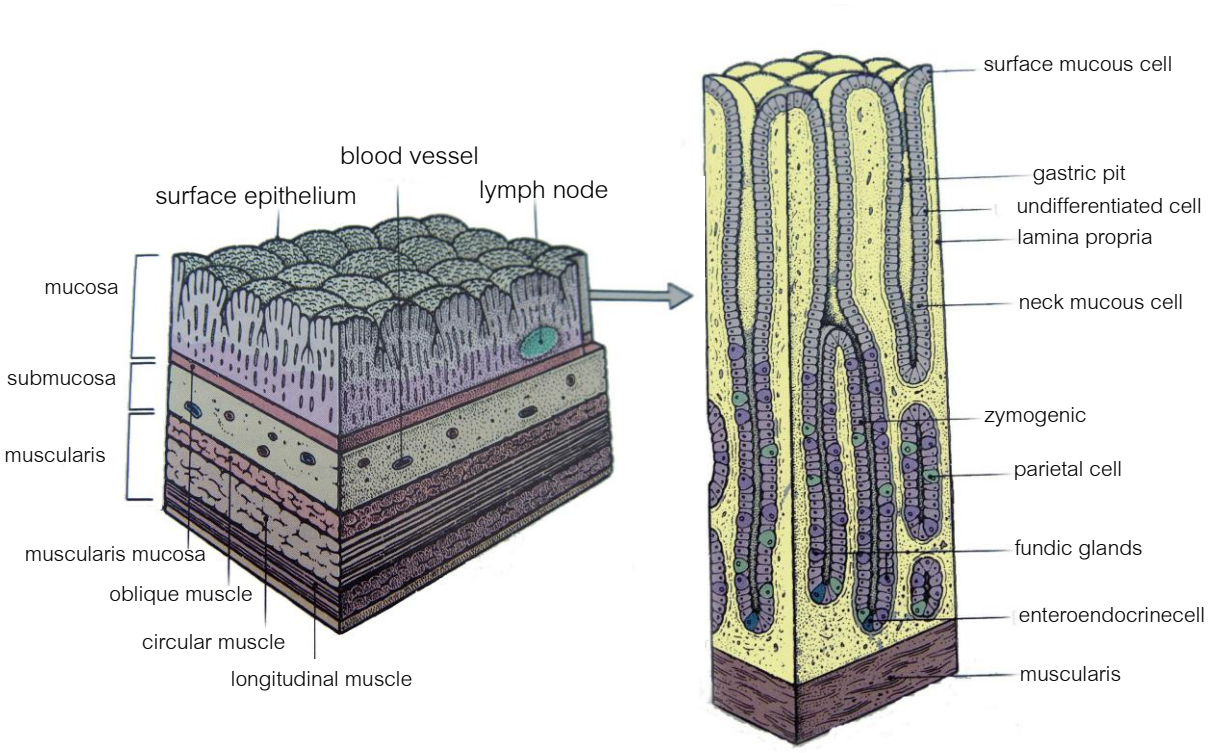
1. ส่วน esophageal region เป็นส่วนต้นของกระเพาะอาหารที่ติดกับหลอดอาหาร สัตว์แต่ละชนิดจะมีส่วน esophageal region แตกต่างกันออกไป บริเวณนี้เซลล์เยื่อบุส่วนใหญ่จะเป็นเซลล์เยื่อบุชนิด (stratified squamous epothelium) และไม่มีส่วนที่เป็นต่อม อยู่เลย

2. ส่วนที่ถัดจาก esophageal region เข้ามา จะเป็นบริเวณที่มีต่อมสร้างน้ำเมือก แต่ไม่มีต่อมสร้างเอนไซม์

3. ส่วน fundic region เป็นส่วนที่มีต่อมสร้างเอนไซม์ช่วยย่อยอาหารมากมาย

4. ส่วน pyloric region เป็นส่วนที่มีต่อมสร้างน้ำเมือกและเอนไซม์ปนกัน

โครงสร้างของผนังกระเพาะอาหารประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น คือ ชั้นเยื่อเมือก ชั้นใต้เยื่อเมือก ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นผิวนอกสุด ชั้นเยื่อเมือกประกอบด้วย ชั้นเซลล์เยื่อบุผิวพวก stratified squamous epithelium และต่อมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตกรดเกลือ(HCl) เมือก (mucin)และฮอร์โมนเซลาโทนิน (seratonin) ชั้นเยื่อเมือกในส่วนต้นของกระเพาะที่ติดกับหลอดอาหาร (esophagus) จะไม่มีต่อมมีท่อปรากฏอยู่ แต่ชั้นเยื่อเมือกที่มีต่อมกระจายอยู่มากมายจะพบในส่วนของ cardiac region, fundic gland region และ pyloric gland region



ภาพที่ 10.3 โครงสร้างของผนังกระเพาะอาหาร

ดัดแปลงจาก : Carola และคณะ, 1992

บริเวณชั้นเยื่อเมือกส่วนเยื่อบุผิวที่เป็นต่อมบริเวณผนังกระเพาะอาหารจะมีลักษณะเป็นแอ่งลึกเรียกว่า gastric pits โดยชั้นใต้เยื่อบุผิว (lamina propia) จะมีลักษณะหนาเป็นที่อยู่ของ

เซลล์ต่อมที่สร้างเอนไซม์หรือน้ำย่อยต่าง ๆ มีท่อแยกและไปเปิดในแอ่ง gastric pits ชนิดของต่อมต่าง ๆ ในชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามการแบ่งส่วนของกระเพาะอาหาร คือ cardiac gland, fundic gland และ pyrolic gland

ส่วนของต่อมใน cardiac gland จะประกอบด้วย mucous neck cell ที่เป็นต่อมเดี่ยว (simple glands) หรือเป็นต่อมร่วม (compound tubular gland) ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งน้ำเมือก (mucus) เพื่อเคลือบผิวของต่อมไม่ให้ถูกทำลายโดยกรดเกลือจาก parietal cell

ในส่วนของ fundic gland จะพบเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างเมือกและเอนไซม์หลายชนิด คือ

1. chief cells (zymogenic cells) เป็นเซลล์ที่ลักษณะคล้ายรูปสี่เหลี่ยม ทำหน้าที่ผลิตและหลั่ง เอนไซม์ pepsinogen เอนไซม์ที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ที่ไซโตพลาสซึมของเซลล์ในรูปของแกรนูล เรียกว่า zymogen granules
2. parietal cells (border cells) เป็นเซลล์รูปร่างหลายเหลี่ยมค่อนข้างกลม พบเซลล์นี้มากบริเวณตัวต่อม เซลล์นี้มีขนาดใหญ่กว่า chief cells ทำหน้าที่ผลิตกรดเกลือและ intrinsic factors
3. mucous neck cell เป็นเซลล์ที่พบได้บริเวณคอของ gastric pit เซลล์มีรูปร่างคล้ายลูกเต๋าหรือรูปแท่งต่ำ ๆ มีหน้าที่สร้างเมือกฉาบผิวของต่อมไม่ให้ถูกย่อยโดยกรดเกลือ
4. argentaffin (enterochromalfin cells) เป็นเซลล์ที่อยู่บริเวณผิวของ gastric pits ทำหน้าที่

สร้างฮอร์โมนไซโรโทนิน ส่วนของ pyrolic region จะมีต่อม 2 ชนิดคือ mucous neck cell และ argentaffin cells เท่านั้น

ชั้นเซลล์กล้ามเนื้อของกระเพาะอาหารประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ 3 ชั้น ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อเรียบแบบทแยง (inner circular muscle) ชั้นกลางเป็นกล้ามเนื้อแบบวงกลม (outer circular muscle) และชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อทางยาว (outer longitudinal muscle) ระหว่างชั้นกล้ามเนื้อของกระเพาะจะพบเซลล์ประสาทมารวมกันอยู่มากมาย (nerve plexus) ทำหน้าที่รับความรู้สึกเมื่อมีอาหารเข้ามาในกระเพาะ เซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะส่งกระแสประสาทผ่านเส้นประสาทคู่ที่ 10 vagus nerve ไปยังสมองให้สั่งการทำให้เกิดการหดตัวของกระเพาะ นอกจากนี้กระเพาะยังสามารถทำงานได้ด้วยตัวเองโดยผ่าน splanchnic nerve ในระบบ ANS ซึ่งทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับ vagus nerve

การเคลื่อนไหวของกระเพาะ

กระเพาะจะมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาในขณะที่มีการย่อยอาหาร พร้อมกับมีการหลั่งเอนไซม์จากผนังกระเพาะ การเคลื่อนไหวกระเพาะมี 2 แบบ คือ

1. peristaltic movement เป็นการเคลื่อนไหวแบบขย่อน เนื่องจากกล้ามเนื้อเรียบรอบกระเพาะมี

การหดตัวและคลายตัวอย่างเป็นจังหวะโดยเฉพาะกล้ามเนื้อ inner circular muscle และ outer longitudinal muscle การหดตัวแบบนี้มีผลให้อาหารเคลื่อนตัวจากส่วนต้นไปยังส่วนปลาย

2. pendular motility การเคลื่อนตัวแบบแกว่งเหมือนลูกตุ้มนาฬิกา เนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อบาง ๆ ที่อยู่ระหว่างกล้ามเนื้อเรียกว่า internal oblique muscle การหดตัวแบบนี้จะมีผลทำให้อาหารในกระเพาะคลุกเคล้ากับน้ำย่อยทำให้เกิดการย่อยอย่างสมบูรณ์

ในสภาวะปกติกระเพาะจะมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลาคิดเป็นจำนวนครั้ง/นาที ในสัตว์แต่ละชนิดความถี่ในการเคลื่อนตัวของกระเพาะจะมีมากหรือน้อยแตกต่างกันไป นอกจากความถี่จะต่างกันตามชนิดสัตว์แล้วยังมีความแตกต่างกันขึ้นกับระยะเวลากินอาหารด้วย เวลากินอาหารความถี่ของการเคลื่อนไหวของกระเพาะจะสูง เมื่ออิ่มความถี่จะลดลง ถ้ากินอาหารผิดเวลาความถี่ในการเคลื่อนไหวของกระเพาะจะสูงถ้าอาหารถูกย่อยไม่หมด ทำให้ปวดท้องได้

ข.กระเพาะอาหารในสัตว์เคี้ยวเอื้อง

สัตว์เคี้ยวเอื้องเป็นสัตว์ที่มีกระเพาะขนาดใหญ่มีความจุกระเพาะมากเนื่องจากอาหารที่กินส่วนใหญ่เป็นพืชอาหารสัตว์หรืออาหารหยาบมีความฟ่ามสูงไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์จากท่อทางเดินอาหารได้ ดังนั้นจึงต้องมีจุลินทรีย์ในกระเพาะเพื่อช่วยในการย่อยอาหาร ประกอบด้วยแบคทีเรียและโปรโตซัวขนาดเล็ก กระเพาะของสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนทำหน้าที่แตกต่างกัน จึงอาจเรียกว่าเป็นสัตว์กระเพาะรวม ประกอบด้วย กระเพาะรูเมน (กระเพาะหมัก) กระเพาะรังผึ้ง กระเพาะสามสิบกลีบ และกระเพาะแท้

กระเพาะรูเมน กระเพาะรังผึ้ง และ กระเพาะสามสิบกลีบ รวมเรียกว่า กระเพาะอาหารส่วนหน้า (fore stomach) เนื่องจากเยื่อบุผิวของกระเพาะทั้งสามเป็นส่วนเยื่อบุที่ไม่มีต่อมสร้างน้ำย่อยอยู่เลย (non glandular region) เยื่อบุผิวมีชั้นเซลล์พวก stratified squarmous epithelium หลายชั้น กระเพาะรูเมนมีช่องทางติดต่อกับกระเพาะรังผึ้งเรียกว่า rumino-reticulum orifice ส่วนกระเพาะแท้ (abomasum) ผนังด้านในมีลักษณะเหมือนกับสัตว์กระเพาะเดี่ยว

1. กระเพาะรูเมน หรือ กระเพาะผ้าขี้ริ้ว (rumen or pounch) เป็นกระเพาะที่มีขนาดใหญ่ที่สุด

มีขบวนการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ และมีน้ำอยู่มาก ส่วนหน้าของกระเพาะรูเมนติดกับหลอดอาหารและส่วนท้ายต่อกับกระเพาะรังผึ้ง (reticulum) กระเพาะรูเมนวางตัวในช่องท้องโดยด้านหน้าของรูเมนจะติดกับกระบังลมด้านหลังจะมีส่วนต่อไปจนชิดช่องเชิงกราน กระเพาะรูเมนจะอยู่ในตำแหน่งช่องท้องค่อนไปทางด้านซ้ายของตัวสัตว์ ในลูกโคเกิดใหม่ส่วนของกระเพาะรูเมนจะมีขนาดเล็กกว่ากระเพาะแท้ กระเพาะรูเมนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยใช้ส่วน muscular pillars หรือ longitudinal groove แบ่งเป็น dorsal sac และ ventral sac ส่วน dorsal sac เป็นส่วนที่มีขนาดใหญ่ เยื่อบุผนังของกระเพาะส่วนนี้เป็นเยื่อบุผิวพวก stratified squamous epithelium ชนิดไม่มีต่อม ที่ผนังของ dorsal และ ventral sac จะมี papillae มากมายมีหน้าที่สำคัญในการช่วยโบกพัดคลุกเคล้าอาหาร และเกี่ยวข้องกับการดูดซึมโภชนะผ่านผนังกระเพาะรูเมน กล้ามเนื้อของกระเพาะรูเมนมี 2 ชั้นแต่เรียงกันอย่างไม่เป็นระเบียบ

การเคลื่อนที่ของอาหารในกระเพาะรูเมนเกิดจากจังหวะในการบีบตัวของกระเพาะรูเมนเริ่มต้นจากอาหารที่ผ่านหลอดอาหารมาที่ส่วน cardiac ของรูเมน ก็จะเริ่มบีบตัวทั้งแบบ periotaltic movement และ pendulum movement จังหวะการบีบตัวของกระเพาะทำให้อาหารเคลื่อนที่ไปทางด้านซ้ายของ dorsal sac แล้วจะส่งไปทางด้านซ้ายของ ventral sac จากนั้นจึงมาถึงด้านหน้าของ ventral sac อาหารที่แหลกหรืออุ้มน้ำมากจะจมไปใน ventral sac ส่วนอาหารชิ้นใหญ่จะลอยอยู่ใน dorsal sac แล้วเกิดการขยอกอาหารที่มีลักษณะเป็นก้อนกลับขึ้นมาทางหลอดอาหารและเคี้ยวเอื้องในปาก อาหารที่มีลักษณะกึ่งข้นกึ่งเหลว (semi solid) บางส่วนจะไหลผ่านช่องทาง rumino reticulum orifice เข้าไปสู่ omasum ต่อไป การขยอกอาหารกลับขึ้นมาเคี้ยวเอื้องใหม่จะเกิดขึ้นเมื่ออาหารมาสัมผัสกับ internal mucosal fold ที่กั้นระหว่าง ventral sac กับผนังของรูเมนและ reticulum เกิดการบีบตัวของ reticulum ทำให้ก้อนอาหารเข้าไปในหลอดอาหารแต่อาหารกึ่งเหลวจะเข้าไปใน reticulum และผ่านช่อง rumino reticulum orifice

กระเพาะรังผึ้ง (reticulum) เป็นกระเพาะที่มีขนาดเล็กที่สุดมีรูปร่างคล้ายกับขวดรูปชมพู่ด้านหนึ่งติดกับกระเพาะรูเมนส่วนอีกด้านหนึ่งติดกับกระเพาะส่วน omasum ตรงช่อง rumino reticulum orifice ผนังด้านในเป็นชั้นเยื่อเมือกมีเซลล์เยื่อบุพวก stratified squamous epithelium มีลักษณะเป็นสันคล้ายรูปรังผึ้ง กระเพาะส่วนนี้มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการส่งอาหารไปเคี้ยวเอื้องและการส่งอาหารที่ย่อยแล้วไปยังส่วนกระเพาะสามสิบกลีบ

กระเพาะส่วนสามสิบกลีบ (omasum) เป็นส่วนที่ต่อจาก reticulum มีส่วนต่อกับกระเพาะแท้ ที่ช่อง omaso abomasal orifice มีรูปร่างกลมประกอบด้วยแผ่นกล้ามเนื้อเป็นกลีบ ๆ (laminae) ยื่นมาจากด้านบน เยื่อเมือกที่หุ้มแผ่นกล้ามเนื้อจะมี papillae สั้น ๆ เป็นส่วนประกอบช่วยในการบดอาหาร อาหารที่ผ่าน reticulo omasal orifice เข้ามาใน แต่ละกลีบของ laminae

ทำให้เกิดการบดอาหารให้เล็กลง อาหารที่ละลายได้จะเคลื่อนที่ต่อไปใน abomasum อาหารที่ไม่ละลายจะตกอยู่ระหว่างกลีบของ omasum

กระเพาะแท้ (abomasum) เป็นส่วนของกระเพาะส่วนที่มีต่อมสร้างน้ำย่อยที่ชั้นเยื่อเมือกเช่นเดียวกับกระเพาะของสัตว์กระเพาะเดี่ยว กระเพาะแท้จะมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับกระเพาะรูเมนเมื่อสัตว์เจริญเติบโตขึ้น กระเพาะแท้ในสัตว์เคี้ยวเอื้องแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ fundic region และ pyloric region ส่วน fundic region ชั้นเยื่อเมือกจะมีลักษณะเป็นกลีบ (fold) ประมาณ 12 กลีบ ส่วน pyloric region ผนังจะคล้ายกับในสัตว์กระเพาะเดี่ยว สำหรับแพะ แกะ สามารถพบส่วน cardiac region ได้

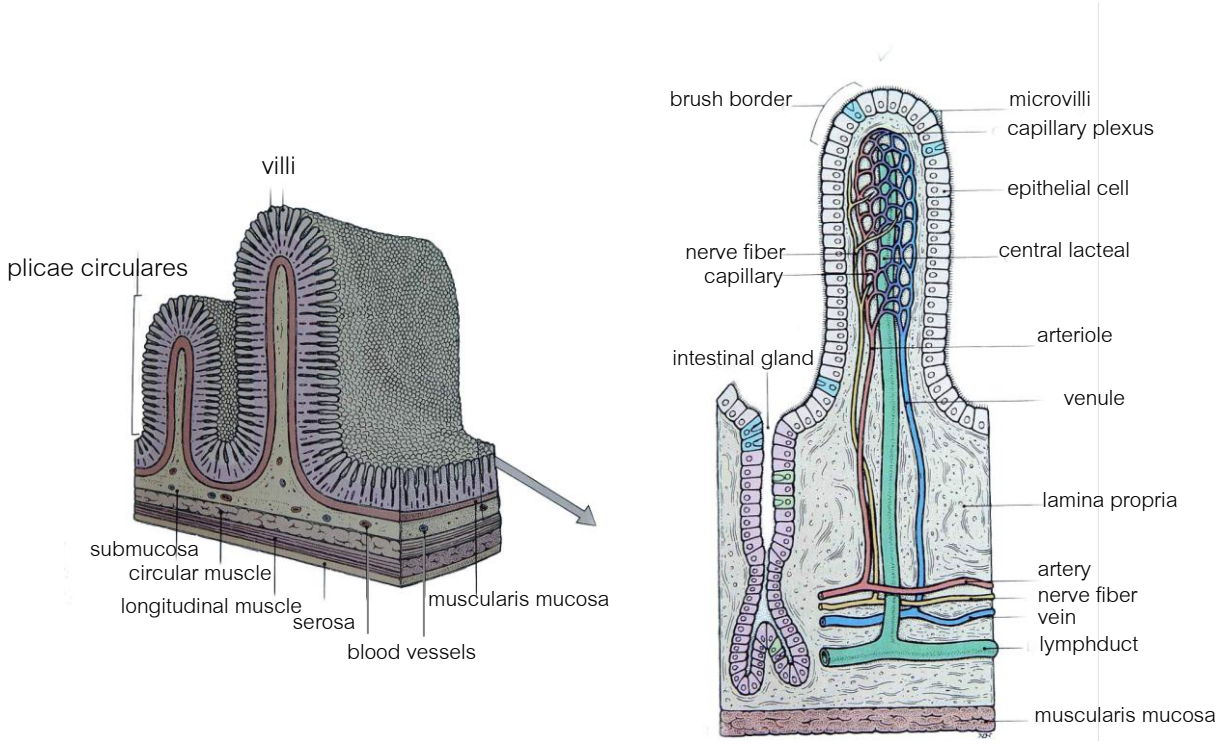
5.ลำไส้เล็ก (small intestine)

ลำไสเล็กเป็นส่วนของท่อทางเดินอาหารที่เชื่อมต่อระหว่างกระเพาะอาหารส่วน pylorus และลำไส้ใหญ่ส่วน caecum ความยาวของลำไส้เล็กในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป สามารถแบ่งส่วนของลำไส้เล็กออกเป็น 3 ส่วนคือ ลำไส้เล็กตอนต้น (duodenum) ลำไส้เล็กตอนกลาง (jejunum) และลำไส้เล็กตอนปลาย (ileum) ลำไส้เล็กส่วนต้นมีลักษณะคล้ายรูปตัวยู ยึดติดกับผนังช่องท้องด้วยเยื่อยึดลำไส้สั้น ๆ (mesentary) บริเวณลำไส้เล็กตอนต้นจะมีช่องเปิดของท่อน้ำดี และท่อจากตับอ่อนเพื่อเป็นทางผ่านของน้ำดีและเอนไซม์จากตับอ่อน ผนังของลำไส้เล็กทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งน้ำย่อยหรือเอนไซม์ เช่น lactase, moltase, sucrase, lipase, amylase และ dipeptidase นอกจากหน้าที่ผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารแล้ว ยังทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่งฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร คือ ฮอร์โมนซิครีติน (secretin) ฮอร์โมนโคเลซีสโตไคนิน (cholecystokinin ; CCK) และฮอร์โมนโมติลิน (motilin) ที่หลั่งมาจากผนังลำไส้เล็กส่วนต้น ทำหน้าที่ดูดซึมโภชนะต่าง ๆ วิตามิน และแร่ธาตุ และทำให้อาหารผ่านเข้าไปในลำไส้ใหญ่ เป็นต้น

โครงสร้างของลำไส้เล็กประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 4 ชั้น เช่นเดียวกับส่วนอื่น ๆ ของท่อทางเดินอาหาร ชั้นในสุดคือชั้นเยื่อเมือกประกอบด้วยเนื่อเยื่อ 3 ชั้นย่อย ๆ รวมกัน คือเซลล์เยื่อบุที่มีรูปร่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมสั้น ๆ บางส่วนของเซลล์เยื่อบุผิวจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นต่อมเดี่ยว(goblet cell) ทำหน้าที่สร้างน้ำเมือก ตรงปลายของเซลล์เยื่อบุผิวรูปสี่เหลียมจะมีโครงสร้างเป็นลักษณะขนเล็ก ๆ เรียกว่า brush border ของ microvilli เพื่อทำหน้าที่เป็นพื้นที่ผิวของลำไส้ช่วยในการดูดซึมโภชนะ ถัดจากชั้นของเซลล์เยื่อบุเป็นชั้น lamina propia จากนั้นเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบบาง ๆ 2 – 3 ชั้น ตลอดชั้นเยื่อเมือกจะมีโครงสร้างที่เรียกว่า วิลไล (villi) มีลักษณะคล้ายขนยื่นเข้าไปในช่องว่างของลำไส้ ระหว่างวิลไลจะมีแอ่งรูปทรงกระบอกเล็กๆแทรกอยู่ เรียกว่า crypt of lieberkuhn เยื่อบุส่วนนี้จะทำหน้าที่สร้างน้ำเมือกและหลั่งน้ำย่อย

ชั้นใต้เยื่อเมือกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวก loose connective tissue เป็นบริเวณที่มีปมประสาทและเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่ ปมประสาทจะมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบรอบลำไส้เล็ก ชั้นกล้ามเนื้อของลำไส้เล็กเป็นชั้นกล้ามเนื่อเรียบ 2 ชั้น เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กช่วยในการเคลื่อนที่ของอาหารและการย่อยอาหาร กล้ามเนื้อเรียบชั้นในเป็นกล้ามเนื้อวงแหวนและด้านนอกเป็นกล้ามเนื้อตามยาว

ชั้นนอกสุดเป็นชั้นเซโรซ่า (serosa) ประกอบด้วยเยื่อบุผิวชนิด simple squamous epithelium ชั้นนี้มีลักษณะเหนียวมาก เพื่อเป็นการลดการเสียดสีของลำไส้กับอวัยวะอื่น ๆ ในช่องท้อง



ภาพที่ 10.4 โครงสร้างของลำไส้เล็ก

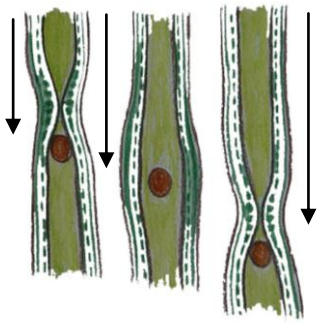
ดัดแปลงจาก : Ganong และคณะ, 1993

การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็ก

การเคลื่อนไหวของลำไส้เล็กเกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่เป็นส่วนประกอบเพื่อช่วยให้อาหารเคลื่อนตัวผ่านไปยังส่วนอื่นของระบบทางเดินอาหาร และ ช่วยให้อาหารคลุกเคล้ากับน้ำย่อย ลักษณะของการหดตัวมี 2 แบบ

1.peristaltic movement เป็นการหดตัวเพื่อผลักดันอาหารให้ผ่านไปตามความยาวของลำไส้ เกิดจากการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบที่อยู่รอบก้อนอาหารเกิดการหดตัว แต่ส่วนที่มีอาหารอยู่กล้ามเนื้อจะคลายตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอาหารแบบลูกคลื่นเพื่อผลักดันอาหารไปส่วนท้ายของลำไส้ การหดตัวแบบนี้จะช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับระบบประสาทอัตโนมัติและการหลั่งฮอร์โมน ลักษณะการเคลื่อนที่นี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งลำไส้

2.rhythemic segmentation เป็นการหดตัวของลำไส้เพื่อคลุกอาหารกับน้ำย่อย ลักษณะการหดตัวของลำไส้จะเกิดเป็นช่วง ๆ



ภาพที่ 10.5 การเคลื่อนไหวแบบ peristalic movement

6.ลำไส้ใหญ่ (large intestine)

ลำไส้ใหญ่ แบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ ส่วนไส้ติ่ง(caecum) เป็นท่อปลายตันติดกับลำไส้เล็กส่วนปลาย ในสุกรและม้าส่วน caecum จะมีการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ ความยาวและรูปร่างของไส้ติ่งในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะต่างกันไป ส่วน colon เป็นส่วนของลำไส้ใหญ่ที่ต่อจาก caecum แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ascending colon, transvers colon และ descending colon ส่วนของ rectum เป็นส่วนสุดท้ายของลำไส้ใหญ่มีลักษณะเป็นท่อตรง มีขนาดเล็กกว่าส่วนอื่น

หน้าที่สำคัญของลำไส้ใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย ในสัตว์เลี้ยงพวกสัตว์เคี้ยวเอื้องอาหารที่ไม่ถูกย่อยจะถูกแบคทีเรียที่อยู่ในลำไส้ใหญ่ย่อยและใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้จะเกี่ยวข้องกับการทำให้อาหารที่อยู่ภายในเคลื่อนตัวมาที่ส่วนปลายของลำไส้ใหญ่เพื่อรอเวลาที่จะขับออกจากร่างกายในรูปของอุจจาระ (feces)

การเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่

การเคลื่อนไหวของลำไส้ใหญ่โดยอาศัยการบีบตัวของกล้ามเนื้อแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. segmentation movement เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อลำไส้ใหญ่เพื่อช่วยในการคลุกเคล้าใน

ส่วนของ colon ซึ่งจะทำให้มีการดูดซึมน้ำและแร่ธาตุได้เร็วขึ้น

2. peristatic movement เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อให้อาหารที่อยู่ภายในเคลื่อนตัวต่อไป

ยังลำไส้ใหญ่ตรง (rectum) เพื่อรอการขับออกนอกร่างกาย

3. mass peristalsis movement เป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อเฉพาะส่วน colon ที่เกิดหดตัวขึ้น

พร้อม ๆ กันเป็นบริเวณกว้างเพื่อดันให้อาหารที่ไม่ย่อยหรือก้อนอุจจาระเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็วไปยัง rectum การหดตัวนี้จะเกิดขึ้นตอนถ่ายอุจจาระเท่านั้น

การถ่ายอุจจาระ (defecation)

อุจจาระ (feces) มีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ น้ำประมาณ 3 ส่วนและของแข็งประมาณ 1 ส่วน ในส่วนของแข็งประกอบด้วยอาหารที่ไม่ย่อย สารอนินทรีย์ เชื้อแบคทีเรียที่ตายแล้ว เซลล์ของเยื่อบุระบบทางเดินอาหาร น้ำย่อย น้ำเมือกของระบบทางเดินอาหาร และน้ำดี เป็นต้น สีของอุจจาระส่วนใหญ่เป็นสีของเม็ดสีในน้ำดี และกลิ่นเกิดจากสารต่าง ๆ ที่ได้จากการย่อยอาหารโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ การถ่ายอุจจาระเป็นหน้าที่ของลำไส้ใหญ่ส่วน rectum และกล้ามเนื้อหูรูดชนิด internal anal sphincter (กล้ามเนื้อเรียบ) และกล้ามเนื้อหูรูดชนิด external anal sphincter ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อลาย การถ่ายอุจจาระเป็นขบวนการที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาทเมื่อมีอุจจาระมาสะสมในส่วนของ rectum มาก ๆ ผนังของ rectum จะขยายตัวมากขึ้น ซึ่งจะไปกระตุ้นระบบประสาทรับความรู้สึกให้ส่งกระแสประสาทไปยังสมองโดยผ่านไขสันหลัง สมองจะสั่งการให้มีการหดตัวของกล้ามเนื้อท้องและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการหายใจออก ทำให้ความดันในช่องท้องและช่องอกสูงขึ้น มีผลให้ internal anal sphincter คลายตัวเกิดการขับ

อุจจาระออกมาได้ การทำงานงานของ internal anal sphincter จะเป็นแบบ involuntary control ส่วน external anal sphincter เป็นการทำงานแบบ voluntary control

7.ทวารหนัก (anus)

ทวารหนักเป็นส่วนปลายของระบบทางเดินอาหารทำหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายอุจจาระ (defecation) บริเวณนี้มีกล้ามเนื้อหูรูด 2 ชนิด คือ internal anai sphincter และ external anai sphincter

อวัยวะที่ช่วยในการย่อยอาหาร

1.ตับ (liver)

ตับเป็นอวัยวะหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร ซึ่งประกอบด้วยต่อมมีท่อเรียงตัวกันอยู่มากมาย โดยทั่วไปอาจจัดได้ว่าตับเป็นอวัยวะที่มีขนาดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของร่างกาย ในสัตว์กินเนื้อเป็นอาหารขนาดของตับมีค่าประมาณ 3-5 % ของน้ำหนักตัว สัตว์กินเนื้อและพืชเป็นอาหารจะมีขนาดรองลงมา คือ 2-3 % ของน้ำหนักตัว แต่สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีขนาดของตับที่เล็กที่สุดเท่ากับ 1-1.5 % ของน้ำหนักตัว ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมทุกชนิดในขณะที่เป็นลูกสัตว์หรือสัตว์ที่กำลังเจริญเติบโตตับจะมีขนาดใหญ่กว่าสัตว์ที่โตเต็มที่แล้ว เนื่องจากเมื่อสัตว์โตเต็มที่จะมีการเสื่อมสลายตัวของเซลล์ตับ เนื้อตับจะมีสีน้ำตาลแดง มีลักษณะอ่อนนุ่ม ตับมีตำแหน่งอยู่ในช่องท้องด้านหน้าเยื้องไปทางขวาติดกับเยื่อกระบังลม ในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดเซลล์ตับ (hepatic cell) ทำหน้าที่หลั่งน้ำดี (bile) น้ำดีที่ผลิตจากเซลล์ตับจะออกจากท่อ (hepatic duct) ไปรวบรวมเก็บไว้ในถุงน้ำดี (gall bladder) จากนั้นจะมีท่อน้ำดีต่อไปที่ cystic duct สู่ common bile duct เป็นท่อยาวต่อไปเปิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น ม้าเป็นสัตว์ที่ไม่มีถุงน้ำดีสำหรับเก็บน้ำดี แต่น้ำดีที่ผลิตจากเซลล์ตับจะหลั่งออกจากเซลล์ตับผ่าน hepatic duct เข้าไปใน common bile duct ที่เป็นท่อน้ำดีที่ส่งผ่านน้ำดีจากถุงน้ำดีไปเปิดที่ลำไส้เล็กส่วนต้นเลย

น้ำดีเป็นของเหลวสีเหลืองที่ผลิตจากเซลล์ตับ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กรดน้ำดี (bile acid) และเกลือของน้ำดี (bile salt) นอกจากนี้ยังพบโปรตีนมิวซิน คลอเลสเตอรอล ฟอสฟอลิปิด และพวกอิเลคโตรไลท์ เช่น Cl^{-}, Ca^{++}, Fe^{++}ในน้ำดีด้วย สารสีเหลืองในน้ำดีคือสาร biriverdin และ bilirubin เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับการย่อยไขมัน ทำให้ไขมันเกิดการแตกตัวและแขวนลอยกระจายอยู่ทั่วไปเพื่อให้น้ำย่อยจากตับอ่อน (pancreatic lipase) สามารถเข้าย่อยสลายได้ง่าย สีเหลืองของน้ำดีเกิดจาก heme ของเม็ดเลือดแดงที่ถูกทำลายที่ม้าม เมื่อเม็ดเลือดแดงถูกทำลายเซลล์ตับจะจับเฮโมโกลบินไว้และแยกสลายโมเลกุลออกได้เป็น pyrole ring ซึ่งเป็นสารสีเหลือง ในกรณีที่

เซลล์ตับเกิดอักเสบหรือถูกทำลายความสามารถในการเปลี่ยน สีของน้ำดีจากเม็ดเลือดแดงจะลดลง มีผลให้การควบคุมการหลั่งน้ำดีผิดปกติ น้ำดีจะไม่เข้าไปช่วยย่อยในขบวนการย่อยไขมัน แต่จะกระจายไปในกระแสโลหิตและปรากฏตามปาก ตา ชั้นเยื่อเมือก ทำให้เกิดสภาพด่างเหลืองหรือดีซ่าน ซึ่งเป็นผลจากตับอักเสบ

หน้าที่ของตับ มีดังนี้

1. ผลิตน้ำดีเพื่อช่วยในการย่อยไขมันในส่วนลำไส้เล็ก
2. เกี่ยวข้องกับขบวนการเมตาโบลิซึมของโปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน เช่น การสร้างยูเรีย

การเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นไกลโคเจน การเปลี่ยนไกลโคเจนให้เป็นน้ำตาล (glycolysis) และเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไขมัน

3.ทำหน้าที่ทำลายสารพิษจากร่างกาย (detoxification) เช่น การเปลี่ยนรูปของแอลกอฮอล์ให้เป็นน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์

4.มีการสร้างสารพวก prothrombin ที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการแข็งตัวของเลือด เซลล์ตับจะสร้าง

สาร prothrombin มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับไวตามินเคที่มีในร่างกาย

5.เกี่ยวข้องกับการทำลายเม็ดเลือดที่หมดอายุ และเป็นแหล่งสะสมธาตุเหล็กไว้ใช้ในร่างกายต่อไป

6.เป็นแหล่งสร้างเม็ดเลือดในขณะที่สัตว์ยังเป็นตัวอ่อนอยู่ในท้องแม่

7.ทำหน้าที่สร้างเกลือของกรดน้ำดี (bile salt)

2. ตับอ่อน (pancreas)

ตับอ่อนจัดเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่เป็นทั้งต่อมมีท่อ (exocrine gland) และไม่มีท่อ (endocrine gland) เนื้อเยื่อส่วนที่เป็นต่อมมีท่อเป็นเนื้อเยื่อส่วนใหญ่ของตับอ่อนทำหน้าที่ผลิตน้ำย่อย (pancreatic juice) สำหรับย่อยโปรตีน คาร์โบไฮเดรท และไขมัน โดยมีท่อเปิด (pancreatic duct) อยู่ที่ลำไส้เล็กส่วนต้นใกล้กับท่อเปิดของท่อน้ำดี เอนไซม์ที่สำคัญ ได้แก่ lipase, phospholipase และ deoxyribonuclease เป็นต้น เนื้อเยื่อส่วนที่เป็นต่อมไร้ท่อจะผลิตฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมระดับของกลูโคสในเลือด คือฮอร์โมนอินซูลิน (insulin) และกลูคากอน (glucagon) ต่อมมีท่อในตับอ่อนจะหลั่งน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารตลอดเวลาภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน secretin ความเป็นกรดของอาหารที่เคลื่อนมาจากกระเพาะส่วนปลายและการกระตุ้นทางระบบประสาทฮอร์โมน secretin ที่ผลิตจากชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กเมื่อมีอาหารที่มีฤทธิ์เป็นกรดมากระตุ้น secretin ที่หลั่งจากลำไส้เล็กจะซึมผ่านไปทางกระแสเลือด

ทำให้เซลล์ของตับอ่อนผลิตและหลั่งน้ำย่อย (pancreatic juice) นอกจากนี้ยังมีผลให้ตับอ่อนหลั่งฮอร์โมน pancreozymin รวมทั้งมีการขับน้ำย่อยจากตับอ่อนมายังลำไส้เล็กด้วย

ฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหาร

ฮอร์โมนในระบบทางเดินอาหารเป็นฮอร์โมนประเภทโปรตีน ทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำย่อยของกระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก ตับอ่อน ถุงน้ำดี และเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของระบบทางเดินอาหาร ผลิตจากเซลล์ชั้นเยื่อเมือกของส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินอาหาร ฮอร์โมนที่สำคัญได้แก่ gastrin, secretin, cholecystokinin และ motilin

gastrin เป็นฮอร์โมนที่ผลิตจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการหลั่งกรดเกลือจากเซลล์เยื่อบุของกระเพาะ ทำให้เอนไซม์เปปซิโนเจนเปลี่ยนเป็นเปปซิน มีส่วนกระตุ้นให้ชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารเจริญเติบโต กระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนจากตับอ่อน และมีส่วนกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหูรูดในส่วนต่อระหว่างหลอดอาหารและกระเพาะหดตัว (cardiac sphincter) เพื่อป้องกันการย้อนกลับของอาหารเข้าสู่หลอดอาหาร

การหลั่งฮอร์โมน gastrin จากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหารมีผลจากการที่มีอาหารประเภทโปรตีน (เปปไทด์และกรดอะมิโน) เข้ามาในส่วนของกระเพาะอาหาร การกระตุ้นจากระบบประสาทรับความรู้สึก vagus nerve และการขยายตัวของผนังกระเพาะส่วนต้นเมื่ออาหารเคลื่อนเข้าสู่กระเพาะ

ฮอร์โมน cholecystokinin หรือ pancreozymin เป็นโปรตีนฮอร์โมนชนิดหนึ่งที่หลั่งออกมาจากชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กตอนต้น ทำหน้าที่กระตุ้นให้กล้ามเนื้อเรียบของถุงน้ำดีหดตัวและน้ำดีหลั่งจากถุงน้ำดีเข้าสู่ลำไส้เล็กตอนต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน และช่วยเพิ่มฤทธิ์ของฮอร์โมนซีครีติน การหลั่งฮอร์โมน cholecystokinin เป็นผลจากการมีอาหารพวกไขมันและกรดอะมิโนเข้ามาในลำไส้เล็กตอนต้น

ฮอร์โมนซีคริติน (secretin) เป็นฮอร์โมนโปรตีนที่หลั่งจากชั้นเยื่อเมือกของลำไส้เล็กตอนต้น ทำหน้าที่กระตุ้นให้ท่อน้ำดีและต่อมมีท่อของตับอ่อนหลั่งเอนไซม์ที่มีฤทธิ์เป็นด่างออกมาเพื่อทำลายฤทธิ์ของกรดเกลือที่ปนมากับอาหารจากกระเพาะอาหาร ทำให้สภาพของอาหารที่เข้ามาในลำไส้มีความเป็นกรดลดลง นอกจากนี้ยังมีผลต่อการเคลื่อนไหวของกระเพาะและช่วยยับยั้งการหลั่งกรดเกลือจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร

การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนซีครีตินเกิดขึ้นจากความเป็นกรดของอาหารที่มาจากกระเพาะ และผลผลิตจากการย่อยอาหารโปรตีนในกระเพาะอาหาร การหลั่งฮอร์โมนซีครีตินจะลดลงเมื่อความเป็นกรดของอาหารที่เข้ามาสู่ลำไส้เล็กลดลง

สรีรวิทยาการย่อยอาหาร (physiology of digestion)

สรีรวิทยาของการย่อยอาหารเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของระบบย่อยอาหาร ที่ทำหน้าที่ในการย่อยอาหารที่สัตว์ได้รับเข้าไป อาหารเมื่อเข้าสู่ร่างกายทางปากจะผ่านระบบทางเดินอาหารที่มีอวัยวะย่อยอาหารและอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร มีเอนไซม์จากท่อทางเดินอาหารหรือเอนไซม์จากจุลินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารช่วยทำให้เกิดขบวนการต่าง ๆ เพื่อให้อาหารเปลี่ยนแปลงรูปร่างจนกระทั่งมีขนาดเหมาะสมที่จะสามารถดูดซึมไปใช้ประโยชน์ได้ในเซลล์ส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้ ขบวนการย่อยอาหารแบ่งได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

1.การย่อยโดยวิธีกล (mechanical digestion) เป็นขบวนการทำให้โมเลกุลของอาหารมีขนาดเล็กลงเพื่อที่จะให้อาหารมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเข้าย่อยโดยเอนไซม์หรือน้ำย่อยต่อไป การย่อยโดยวิธีกล ได้แก่ การเคี้ยว (mastication) อาหารในปาก การบดอาหารในส่วนของกระเพาะบด (gizzard) ของสัตว์ปีก การบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบ (peristatic movement) ที่อยู่ล้อมรอบหลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้เล็ก และลำไส้ใหญ่ สำหรับในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะรวมถึงขบวนการในการเคี้ยวเอื้อง (rumination) ด้วย

2.การย่อยโดยวิธีเคมี (chemical digestion) เป็นการย่อยอาหารโดยอาศัยเอ็นไซม์จากส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะย่อยอาหาร และอวัยวะที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เอนไซม์อะไมเลส (amylase) ในน้ำลาย เอนไซม์จากเยื่อบุกระเพาะอาหาร (gastric juice) เอนไซม์จากตับอ่อน (pancreatic juice) และเอนไซม์จากลำไส้เล็ก (intestinal juice) เป็นต้น

3.การย่อยโดยจุลินทรีย์ (microbial digestion) เป็นการย่อยอาหารโดยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัวที่อาศัยอยู่ในส่วนของกระเพาะรูเมนและลำไส้ใหญ่ การย่อยอาหารแบบนี้อาจเรียกว่าเป็นการหมักอาหาร (fermentation) โดยจุลินทรีย์จะมีน้ำย่อยหรือเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรทเชิงซ้อน พวกเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ให้เป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยวและสัตว์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ขบวนการย่อยอาหารอาจแบ่งออกได้ตามลักษณะของระบบทางเดินอาหารได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ขบวนการย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยว ทั้งกลุ่มของสัตว์ที่กินเนื้อเป็นอาหารและสัตว์ที่กินเนื้อและธัญพืชเป็นอาหาร เช่น สุนัข แมว สุกร ม้า กระต่าย และสัตว์ปีก เป็นต้น

2. ขบวนการย่อยอาหารในสัตว์กระเพาะรวม ซึ่งได้แก่สัตว์เคี้ยวเอื้องที่กินพืชอาหารสัตว์เป็น
อาหารหลัก เช่น โค กระบือ แพะ แกะ เป็นต้น

การย่อยอาหารในปาก ในสัตว์กระเพาะเดี่ยวการย่อยอาหารในปากเกิดจากการย่อยโดยวิธีกล
และวิธีเคมี เมื่ออาหารถูกนำเข้าปากอาหารจะถูกเคี้ยวทำให้มีขนาดเล็กลงมีการคลุกเคล้าอาหารผสมกับน้ำลายเพื่อให้ชิ้นอาหารอ่อนนุ่ม และสะดวกในการกลืน ในสัตว์บางชนิด เช่น สุกร สุนัข และม้า น้ำลายมีเอนไซม์อะไมเลสหรือไทอาลินทำหน้าที่ในการย่อยคาร์โบไฮเดรทในอาหารได้บางส่วน

ในสัตว์กระเพาะรวม น้ำลายจะไม่มีเอนไซม์ย่อยคาร์โบไฮเดรทแต่ในลูกสัตว์จะมีเอนไซม์ที่ใช้ย่อยไขมันในอาหาร คือ เอนไซม์ pregastric lipase ทำหน้าที่ย่อยไขมันในกลุ่มบิวทีริก เอนไซม์นี้จะหมดไปเมื่อหย่านมลูกสัตว์ สำหรับการเคี้ยวอาหารเพื่อให้มีการขนาดเล็กลงในสัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีการเคี้ยวอาหารที่มีลักษณะแตกต่างกับสัตว์กระเพาะเดี่ยวเนื่องจากเป็นการบดเคี้ยวตามแนวนอนมีการคลุกเคล้าอาหารกับน้ำลายเพื่อให้อาหารเป็นก้อนและกลืนได้ง่าย นอกจากนี้ยังมีขบวนการเคี้ยวเอื้องเกิดขึ้นในปากด้วย

การย่อยอาหารในกระเพาะ กระเพาะอาหารในสัตว์กระเพาะเดี่ยวจะมีลักษณะการย่อยเช่นเดียวกับการย่อยที่เกิดขึ้นในกระเพาะแท้ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง เนื่องจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะส่วนนี้จะมีต่อมมีท่อทำหน้าที่ในการผลิตเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร (gastric juice) โดยเฉพาะเอนไซม์ที่ย่อยโปรตีน เช่น pepsin และ rennin และเอนไซม์ที่ย่อยไขมัน เช่น lipase ที่มีมากในสัตว์กินเนื้อแต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้องมีน้อย นอกจากการย่อยไขมันที่เกิดขึ้นได้น้อยเนื่องจากกระเพาะมีสภาพความเป็นกรด นอกจากนี้ยังไม่มีเอนไซม์ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรท ในกระเพาะจะมีสภาพเป็นกรดเนื่องจากมีการหลั่งกรดเกลือจากชั้นเยื่อเมือกของกระเพาะอาหาร กรดเกลือจะมีส่วนกระตุ้นให้เอ็นไซม์เปปซินและเรนนินทำงานได้เนื่องจากเอ็นไซม์ที่ย่อยโปรตีนที่หลั่งออกมาจากต่อมมีท่อในกระเพาะอาหารจะอยู่ในสภาพที่ยังทำงานไม่ได้ (inactive enzyme) คือ pepsinogen และ prorennin เอนไซม์ pepsin จะย่อยโปรตีนได้เป็น proteose, peptone, peptide และกรดอะมิโน ส่วน rennin เป็นเอนไซม์ที่มีมากในกระเพาะของลูกสัตว์ที่กินนมเป็นอาหาร rennin จะทำปฏิกิริยากับเคซีน (casein) ซึ่งเป็นโปรตีนในน้ำนม โดยการกระตุ้นของแคลเซียมอิออนได้ calcium paracasein ที่มีลักษณะเป็นก้อน ทำให้น้ำนมที่มีลักษณะเป็นของเหลวเกิดตกตะกอนและเคลื่อนที่ช้าลงเอนไซม์ rennin จึงเข้าย่อยโปรตีนในน้ำนมเพื่อใช้ประโยชน์ได้

casein + rennin ⟶ paracasein (ละลายน้ำได้)

paracasein + Ca^{++} ⟶ calcium paracasein (ละลายน้ำไม่ได้)

การย่อยอาหารในกระเพาะของสัตว์กระเพาะรวม

กระเพาะส่วนหน้าของสัตว์เคี้ยวเอื้องที่ประกอบด้วยกระเพาะรังผึ้ง กระเพาะรูเมน และกระเพาะสามสิบกลีบ เป็นกระเพาะส่วนที่มีเยื่อบุผิวที่ไม่มีต่อมมีท่อปรากฏอยู่จึงไม่มีเอนไซม์ที่ผลิตจากร่างกายสัตว์สำหรับใช้ย่อยอาหาร การย่อยอาหารในส่วนกระเพาะส่วนหน้าทั้งสามจึงเป็นการย่อยอาหารโดยใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมน กระเพาะรูเมนเป็นส่วนของกระเพาะที่มีความจุประมาณ 70 – 80 % ของความจุกระเพาะทั้งหมด การย่อยอาหารในกระเพาะรูเมนเกิดจากการย่อยโดยวิธีกลและวิธีเคมี การย่อยโดยวิธีกลเป็นการย่อยที่เกิดจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อกระเพาะรูเมนที่มีผลให้เกิดการเคลื่อนไหวของกระเพาะ และการบีบตัวและเคลื่อนไหวของอาหารทำให้อาหารมีขนาดเล็กลง การบีบตัวของกระเพาะรูเมนยังมีส่วนช่วยในการขยอกอาหารเพื่อกลับไปเคี้ยวเอื้องใหม่ในปากด้วย สำหรับการย่อยโดยวิธีเคมีที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนเกิดจากผลของเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะรูเมนทั้งแบคทีเรียและโปรโตซัว อาหารที่เข้ามาในกระเพาะรูเมนทั้งกลุ่มของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรท จะเกิดการย่อยทางเคมีโดยเอนไซม์ที่ผลิตจากจุลินทรีย์ได้ผลผลิตเป็นกรดไขมันระเหยได้ 3 ชนิด คือ กรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนเข้าไปในเลือดไปยังตับจากนั้นจึงถูกนำไปใช้ยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเพื่อถูกใช้เป็นพลังงานต่อไป กรดโปรปิโอนิกจะถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสซึ่งอาจถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลในนมหรือนำไปสร้างเป็นไขมันในร่างกาย กรดอะซิติกและกรดบิวทิริกส่วนใหญ่จะถูกนำไปสร้างเป็นแหล่งพลังงานของร่างกาย โดยส่วนส่วนของกรดอะซิติกจะถูกนำไปสร้างเป็นไขมันในน้ำนมด้วย สำหรับการย่อยโปรตีนที่เกิดขึ้นในกระเพาะรูเมนนอกจากบางส่วนของกรดอะมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีนจะถูกนำไปสร้างเป็นกรดไขมันระเหยได้ และการนำไปสร้างเป็นเซลล์ของจุลินทรีย์แล้ว เมื่อจุลินทรีย์ผ่านเข้าไปในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กจะถูกย่อยเป็นกรดอะมิโนและดูดซึมไปใช้ประโยชน์แก่ร่างกายสัตว์ได้ แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจากการย่อยโปรตีนและไนโตรเจนที่ไม่ใช่โปรตีนนอกจากจะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนในจุลินทรีย์แล้ว บางส่วนยังถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปที่ตับและเปลี่ยนเป็นยูเรียได้ บางส่วนของยูเรียจะถูกขับออกจากร่างกายทางปัสสาวะ บางส่วนจะหมุนเวียนกลับไปใช้ประโยชน์ในกระเพาะรูเมนโดยผ่านทางน้ำลาย บางส่วนของกรดอะมิโนที่เป็นผลผลิตจากการย่อย

โปรตีนโดยจุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนจะถูกดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปใช้ประโยชน์ได้โดนตรง นอกจากนี้จุลินทรีย์ในกระเพาะรูเมนยังสามารถที่จะสร้างไวตามินบีรวมและไวตามินเคได้ด้วย

การย่อยอาหารในลำไส้เล็ก การย่อยอาหารที่เกิดขึ้นในลำไส้เล็กของสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์กระเพาะรวมมีความคล้ายคลึงกันมาก การย่อยอาหารในลำไส้เล็กเป็นการย่อยโดยวิธีกลจากการบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบของลำไส้เล็ก และการย่อยโดยวิธีเคมีที่เกิดจากเอนไซม์ที่ผลิตจากเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กและเอนไซม์จากตับอ่อน โภชนะที่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรท ไขมัน ไวตามิน และแร่ธาตุ น้ำย่อยที่สำคัญ ได้แก่ maltase ย่อยน้ำตาล maltose ได้เป็นน้ำตาลกลูโคส 2 โมเลกุล น้ำย่อย lipase ย่อยไขมันให้เป็นกรดไขมันอิสระและโมโนกลีเซอไรด์ น้ำย่อย trypsin ย่อยโปรตีนให้เป็นเปปโตน โปรตีโอส โพลีเปปไทด์ และกรดอะมิโน ในส่วนของลำไส้เล็กตอนต้นที่มีท่อเปิดของท่อน้ำดีซึ่งหลั่งน้ำดีเพื่อช่วยในการย่อยไขมัน

การย่อยอาหารในลำไส้ใหญ่ ผนังของลำไส้ใหญ่ของสัตว์กระเพาะเดี่ยวและสัตว์กระเพาะรวมจะไม่มีการสร้างน้ำย่อยเพื่อย่อยอาหารแต่อย่างใด หน้าที่โดยตรงของลำไส้ใหญ่คือการขับถ่ายและการดูดซึมน้ำกลับเข้าสู่ร่างกาย ในลำไส้ใหญ่ของสัตว์กระเพาะรวมและสัตว์กระเพาะเดี่ยวที่สามารถกินได้ทั้งพืชและสัตว์ที่มีการพัฒนาของส่วนลำไส้ใหญ่ตอนต้นเป็นส่วนที่เกิดการหมักจะมีจุลินทรีย์อาศัยอยู่ ส่วนใหญ่จุลินทรีย์จะผลิตเอนไซม์เพื่อย่อยโปรตีนและคาร์โบไฮเดรท แต่ผลผลิตที่ได้จากการย่อยสามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยกว่าการย่อยในกระเพาะรูเมน นอกจากนี้ยังมีการสังเคราะห์ไวตามินบีรวม และไวตามินเคจากจุลินทรีย์ด้วยเช่นกัน

การดูดซึมโภชนะ

การดูดซึมโภชนะเป็นขบวนการที่เกิดขึ้นที่เซลล์เยื่อบุผิวของชั้นเยื่อเมือกในระบบทางเดินอาหารหลังจากที่อาหารถูกย่อยให้มีโมเลกุลขนาดเล็กลง จนกระทั่งสามารถที่จะผ่านผนังเซลล์เยื่อบุผิวของระบบทางเดินอาหารได้ โดยทั่วไปโภชนะของอาหารที่จะถูกดูดซึมได้ต้องละลายอยู่ในของเหลวที่อยู่ระหว่างเซลล์ (interstitial fluid) ก่อน กลไกที่เกี่ยวข้องกับการดูดซึมอาหารมีหลายกลไก มีทั้งกลไกที่ต้องใช้พลังงานและไม่ใช้พลังงาน กลไกการเคลื่อนย้ายตัวผ่านผนังเซลล์เมมเบรนของโภชนะที่สำคัญ ได้แก่

กลไกที่ไม่ใช้พลังงานหรือขบวนการ passive transportได้แก่

1. ขบวนการ pinocytosis หรือ phagocytosis หรือ endocytosis เป็นกลไกการขนส่งสารที่

มีโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์โดยโมเลกุลของสารนั้นเบียดดันเยื่อผนังเซลล์เข้าไปหรือโมเลกุลนั้นถูกเยื่อผนังเซลล์และไซโตพลาสซึมของเซลล์โอบล้อมจนกระทั่งโมเลกุลของสารนั้นหลุดเข้าไปในเซลล์

ในลักษณะถุงเล็ก ๆ (vesicle) การดูดซึมแบบนี้จะต้องการพลังงานจาก ATP โภชนะที่มีการดูดซึมลักษณะนี้ได้แก่การดูดซึมโภชนะในนมน้ำเหลือง

2.ขบวนการ osmosis เป็นการดูดซึมโภชนะโดยโภชนะเคลื่อนที่ไปพร้อมกับโมเลกุลของน้ำที่ละลายตัวอยู่ จากโมเลกุลของสารหรือโภชนะละลายอยู่จะเคลื่อนผ่านผนังเซลล์เมมเบรนของเยื่อบุผิวของระบบทางเดินอาหารทางรูผนังเซลล์เยื่อบุทางเดินอาหาร (membrane pore) เป็นการดูดซึมโดยไม่ใช้ ATP

3.ขบวนการ diffusion (การแพร่) เป็นขบวนการ passive transport หรือขบวนการดูดซึมสาร

โดยมีการเคลื่อนตัวของโมเลกุลของโภชนะต้านความเข้มข้นของสาร การเคลื่อนตัวจะเคลื่อนจากที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำกว่า (electrical gradient) ขบวนการนี้ไม่ต้องการพลังงานในการขนส่งสารและไม่ต้องการตัวพา (carrier) เช่น การดูดซึมกรดไขมันและคลอเรสเตอรอลผ่านส่วนไขมันของเยื่อผนังเซลล์เยื่อบุ

4.ขบวนการ facilitated diffusion เป็นการขนส่งโภชนะโดยอาศัยตัวพาหรือตัวช่วยขนส่งสาร

(carrier) ที่เป็นสารประกอบทางเคมี เช่น โคเอนไซม์ต่าง ๆ (coenzyme) ตัวนำจะมีความจำเพาะต่อโมเลกุลหรือสารที่จะนำผ่านผนังเซลล์ (specificity) หรือกล่าวว่าตัวนำจะมี binding site กับสารหรือโมเลกุลที่จะนำผ่านผนังเซลล์ นอกจากนี้ตัวพา (carrier) อาจจะมีขีดจำกัดในการเกาะกับโมเลกุลที่จะส่งผ่าน (saturation) หรือมีการแก่งแย่งกันระหว่างตัวนำสารแต่ละชนิดก็ได้ (competition)

2. ขบวนการ active transport เป็นขบวนการผ่านของโภชนะที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่ผนังเซลล์

เมมเบรนโดยใช้ ATP และตัวพา (carrier) นอกจากนี้จะต้องใช้เอนไซม์ ATPase ด้วย ซึ่งขนส่งสารจากที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เช่น การดูดซึมน้ำตาลที่ผนังเยื่อบุลำไส้เล็ก การดูดซึมกรดอะมิโน และการขนส่ง Na^{+}ออกจากเซลล์

หลังจากที่โภชนะของอาหารเช่น กลูโคส กรดอะมิโน และกรดไขมัน ถูกดูดซึมผ่านผนังเซลล์เยื่อบุของระบบทางเดินอาหาร เช่น กระเพาะอาหารหรือวิลไลของลำไส้เล็กแล้วจะผ่านเข้าระบบไหลเวียนโลหิตหรือระบบน้ำเหลืองเพื่อเดินทางต่อไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายต่อไป กรณีการดูดซึมที่กระเพาะรวม (กระเพาะรูเมน เรคติคิวลัม และโอมาซัม) มีการดูดซึมผลผลิตที่เกิดจากการหมักอาหารโดยจุลินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก (acetic acid) กรดโปรปิโอนิก (propionic acid) กรดบิวทีริก (butyric acid) กรดวาลิวริก (valeric acid) ผลผลิตดังกล่าวจะถูกดูดซึมที่ผนังเซลล์เยื่อบุกระเพาะรูเมน ผ่านเข้าระบบไหลเวียนโลหิตไปที่ตับ (portal system) สำหรับการดูด

ซึมโภชนะที่ผนังเซลล์เยื่อบุของลำไส้เล็กจะมี 2 ทาง คือดูดซึมเข้าเส้นเลือดดำฝอย และเส้นน้ำเหลืองฝอยที่อยู่ ที่แกนกลางของวิลไลที่ลำไส้ โภชนะที่ดูดซึมผ่านผนังเซลล์เยื่อบุของลำไส้เข้าระบบไหลเวียนโลหิตโดยผ่าน hepatic portal vein ได้แก่ น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน เกลือแร่ และไวตามินที่ละลายน้ำ จาก hepatic portal vein โภชนะที่ดูดซึมไปจะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ตับส่วน liver sinusoids จากนั้นจะเข้าสู่ hepatic vein ซึ่งส่งเลือดดำเข้าสู่หัวใจห้องบนขวา สำหรับโภชนะที่ดูดซึมผ่านทางเส้นน้ำเหลือง ได้แก่ กรดไขมัน กลีเซอรอล และไวตามินชนิดที่ละลายในไขมัน กรดไขมันที่มีสายสั้น ๆ จะไปรวมตัวเป็นไตรกลีเซอไรด์ในเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กจะผ่านเข้าสู่ hepatic portal vein ไปรวมตัวกับกลีเซอรอลเข้าสู่ขบวนการไกลโคไลซีสและวัฏจักรเครบส์ต่อไป ส่วนกรดไขมันสายยาว ๆ ที่ต้องรวมตัวเป็นไขมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ที่ผนังเซลล์เยื่อบุของลำไส้ (reesterification) จะผ่านเข้าเส้นน้ำเหลืองฝอยที่แกนกลางของวิลไลในรูปของ chylomicron เข้าสู่ cisternachyli จากนั้นเข้าสู่ thoracic duct และระบบเส้นเลือดดำเข้าสู่หัวใจทางด้านบนขวาต่อไป

การเมตาโบลิซึมของโภชนะ

หลังจากที่โภชนะถูกนำเข้าสู่เซลล์ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โภชนะจะมีเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีหลาย ๆ อย่างทั้งขบวนการสร้าง (anabolism) และขบวนการทำลาย (catabolism) ทั้งสองขบวนการมีผลต่อการดำรงชีพและการให้ผลผลิตต่าง ๆ ของร่างกาย โภชนะในอาหารทั้งคาร์โบไฮเดรท ไขมัน และโปรตีนเป็นโภชนะที่สามารถให้พลังงานแก่ร่างกายได้ คาร์โบไฮเดรทเป็นโภชนะที่ให้พลังงานที่มีราคาถูกกว่าไขมันและโปรตีน คาร์โบไฮเดรทที่ถูกย่อยแล้วส่วนใหญ่ดูดซึมผ่านผนังลำไส้ในรูปของน้ำตาลกลูโคส ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานโดยผ่านขบวนการไกลโคไลซีส และวัฏจักรเครบส์ น้ำตาลที่มีมากเกินความต้องการใช้พลังงานของร่างกายจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไกลโคเจนเก็บสะสมไว้ที่เวลล์ตับและกล้ามเนื้อ หรือถูกเปลี่ยนเป็นไขมันเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ในสัตว์กระเพาะรวมคาร์โบไฮเดรทที่ย่อยในกระเพาะรูเมนจะให้ผลผลิตคือกรดไขมันระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดโปรปิโอนิก และกรดบิวทิริก ซึ่งจะดูดซึมผ่านผนังกระเพาะรูเมนไปสู่เลือดแล้วนำไปสร้างเป็นแหล่งพลังงานสำหรับร่างกายได้โดยผ่านทางวัฏจักรเครบส์ บางส่วนถูกสร้างเป็นน้ำตาล ไขมันในร่างกาย และไขมันในน้ำนม เป็นต้น

ไขมันส่วนใหญ่เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกย่อยที่ลำไส้เล็ก ไขมันที่เกินความต้องการจะถูกเก็บสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อไขมันตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกายและที่เซลล์ตับ สำหรับกรดอะมิโนซึ่งเป็นโมเลกุลที่เล็กที่สุดของโปรตีน หลังจากที่ดูดซึมเข้ากระแสโลหิตจะถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีนในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายนอกจากนั้นจะถูกสร้างเป็นเอนไซม์ และฮอร์โมนต่าง ๆ

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยอาหาร

1. ส่วนประกอบของอาหาร ถ้าอาหารมีเยื่อใยสูงการย่อยได้จะต่ำโดยเฉพาะถ้าอาหารมีเยื่อใย

พวกลิกนินมากจะมีผลให้การย่อยได้ลดลง

2. อายุของสัตว์ อายุของสัตว์จะมีผลต่อการย่อยได้เนื่องจากระบบทางเดินอาหารมีการพัฒนา

สมบูรณ์แบบมากขึ้น โดยส่วนของเอ็นไซม์ในการย่อยอาหารจะหลั่งมากยิ่งขึ้น

3. รูปแบบของอาหาร อาหารที่ให้สัตว์มีการเตรียมหรือแปรรูปให้มีโครงสร้างของโภชนะเปลี่ยน

แปลงไปหรือไม่ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอาหาร เช่น การสับให้สั้นลง ลดละเอียด จะทำให้การย่อยได้สูงขึ้น

4. ชนิดของสัตว์ สัตว์เคี้ยวเอื้องจะมีระบบย่อยอาหารที่ใช้ประโยชน์จากอาหารได้มากกว่าสัตว์

กระเพาะเดี่ยว

5. ปริมาณไขมันในอาหาร อาหารที่มีไขมันสูงจะมีผลโดยตรงต่อการย่อยได้ทำให้การย่อยได้ลด

ลง

บทที่ 11
ระบบต่อมไร้ท่อ
Endocrine system

ระบบต่อมไร้ท่อเป็นระบบในร่างกายที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกาย ควบคู่ไปกับการทำงานของระบบประสาท มีหน้าที่ในการผลิตสารชีวเคมีหรือสารอินทรีย์เรียกว่าฮอร์โมน (hormone) ฮอร์โมนที่ผลิตได้จะหลั่งเข้าสู่ระบบไหลเวียนของเลือด เพื่อไปทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกายในลักษณะของการกระตุ้น หรือยับยั้งการทำงานของอวัยวะ อวัยวะที่ฮอร์โมนเข้าไปทำหน้าที่เรียกว่าอวัยวะเป้าหมาย(target organ) กลไกต่างๆในร่างกายที่เกี่ยวข้องกับระบบต่อมไร้ท่อได้แก่ การสืบพันธุ์ การตั้งท้อง การคลอด การย่อยอาหาร และการดูดซึมอาหาร การสร้างพลังงาน การทำงานของระบบทางเดินอาหาร การควบคุมปริมาณและส่วนประกอบของของเหลวในร่างกาย และการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ต่อมไร้ท่อสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือต่อมไร้ท่อที่ทำหน้าที่ของต่อมไร้ท่อเพียงอย่างเดียว เช่นต่อมใต้สมอง ต่อมไทรอยด์ และต่อมพาราไทรอยด์เป็นต้น ต่อมไร้ท่อที่ทำหน้าที่มากกว่า 1 อย่างเช่น ต่อมเพศ ตับอ่อน และไต เป็นต้น โดยทั่วไปบริเวณต่อมไร้ท่อจะมีเส้นเลือดฝอยมาหล่อเลี้ยงมากมาย ฮอร์โมนที่หลั่งจากต่อมใต้สมองจึงหลั่งเข้าสู่เลือดได้โดยง่าย

ประเภทของฮอร์โมน

ฮอร์โมนสามารถแบ่งออกตามโครงสร้างทางเคมีได้ 3 ชนิดคือ

1.ฮอร์โมนที่เป็นเปปไทด์หรือฮอร์โมนที่เป็นโปรตีน(peptides hormone หรือ protein hormone) มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีและมีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น ฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมใต้สมอง และสมองส่วนไฮโปธาลามัส

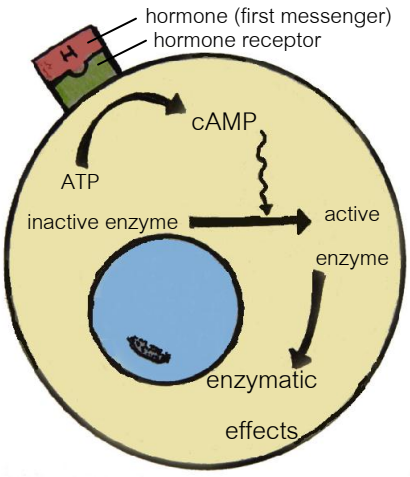
2.ฮอร์โมนที่เป็นอนุพันธ์ของโปรตีนหรืออนุพันธ์ของกรดอะมิโน (protein derivativeหรือ amino acid derivative) เช่น ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์

3.ฮอร์โมนที่เป็นสเตอร์รอยด์ (steroid hormone) มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไขมัน มีขนาดโมเลกุลเล็ก เช่นฮอร์โมนที่ได้จากอัณฑะ หรือรังไข่ และฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก เป็นต้น

การทำงานของฮอร์โมน

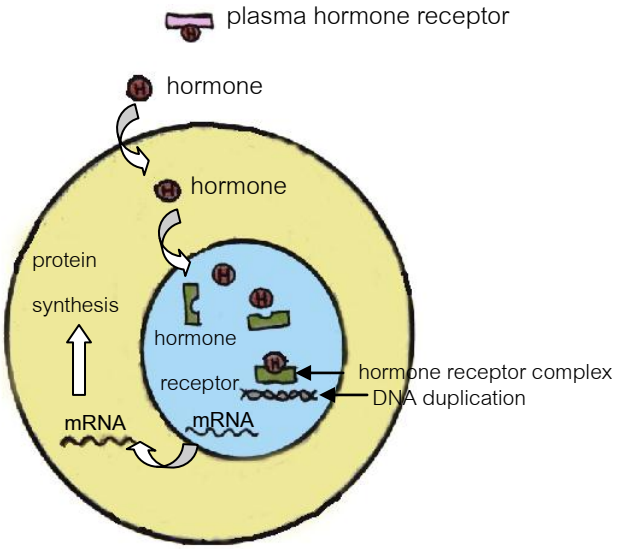
ฮอร์โมนแต่ละชนิดอาจมีผลเฉพาะต่ออวัยวะเป้าหมายใดหรือเนื้อเยื่อใดเพียงเนื้อเยื่อเดียว เช่นฮอร์โมน FSH หรืออาจมีผลต่อเนื้อเยื่อโดยทั่วไปของร่างกายก็ได้ เช่นฮอร์โมน GH แต่กลไกในการเข้าทำงานที่อวัยวะเป้าหมายสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1.ฮอร์โมนที่มีผลให้เซลล์ที่อวัยวะเป้าหมายมีการสังเคราะห์สารที่เป็นตัวส่งข่าวสารตัวที่สอง (secondary messenger) เพื่อเข้าไปทำงานแทนฮอร์โมนเช่น cAMP (cyclic adenosine monophosphate) ฮอร์โมนที่มีกลไกการเข้าทำงานในลักษณะนี้ได้แก่ฮอร์โมนที่เป็นโปรตีนและเปปไทด์ เป็นต้น



ภาพที่ 11.1 การทำงานของโปรตีนฮอร์โมน

2.ฮอร์โมนที่ซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และเข้าไปทำงานด้วยตัวของมันเองที่นิวเคลียสโดยตรง ได้แก่ฮอร์โมนในกลุ่มของสเตอร์รอยด์



ภาพที่ 11.2 การทำงานของฮอร์โมนสเตอรอยด์

3. ฮอร์โมนที่ออกฤทธิ์ที่ผนังเซลล์ ทำให้ผนังเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงการควบคุมการเข้าออกของสารที่ผนังเซลล์ เช่นฮอร์โมนอินซูลิน

ต่อมไร้ท่อที่สำคัญในร่างกาย

ต่อมไร้ต่อมที่สำคัญได้แก่ต่อมใต้สมอง ต่อมไทรอยด์ ต่อมพาราไทรอยด์ ต่อมหมวกไต ลูกอัณฑะ รังไข่ รก มดลูก ไต ตับอ่อน และเซลล์เยื่อบุของกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก เป็นต้น

1. ต่อมใต้สมอง (pituitary gland หรือ hypophysis)

ต่อมใต้สมองเป็นต่อมไร้ท่อที่ตั้งอยู่ที่ฐานสมองในแอ่งกระดูก sella turcica ติดต่อกับสมองส่วนไฮโปธาลามัสทาง pituitary stalk สามารถแบ่งต่อมใต้สมองออกเป็น 3 ส่วนคือต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary gland) ต่อมใต้สมองส่วนกลาง (intermediate lobe) และต่อมใต้สมองส่วนท้าย (posterior pituitary gland)

ก. ต่อมใต้สมองส่วนหน้า (anterior pituitary gland หรือ adenohypophysis) เป็นเนื้อสมองที่เจริญมาจากส่วน Rathke's pocket สมองส่วนหน้าจะมีเส้นเลือดมาติดต่อกับสมองส่วนไฮโปธาลามัสเรียกว่า portal hypophyseal vessels เส้นเลือดมี 2 แบบคือแบบ long portal vessels และ แบบ short portal vessels ต่อมใต้สมองส่วนหน้าประกอบด้วยเซลล์เรียงตัวต่อกันเป็นแถว มีเส้นเลือดแดงฝอยและเส้นเลือดดำฝอยเชื่อมต่อกันเป็นแอ่งเลือด (sinusoid) และประสานกันเป็นตาข่าย เซลล์ภายในต่อมใต้สมองส่วนหน้าจะผลิตฮอร์โมนและเก็บสะสมไว้ภายในเซลล์ การปลดปล่อยฮอร์โมนออกจากเซลล์ใช้ขบวนการ exocytosis สามารถแบ่งประเภทของเซลล์ภายในต่อมตามการย้อมติดสีด่างและกรดได้เป็น 2 ชนิด

1.เซลล์ที่ย้อมติดสี (granular chromophrobes) เป็นกลุ่มของเซลล์ที่ย้อมติดสีกรด (acidophils) ประมาณ 40 % ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน growth hormone (GH) และฮอร์โมน prolactin ส่วนเซลล์ที่ย้อมติดสีด่าง(basophile) พบได้ประมาณ 10 % ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน TSH, LHและ FSH เป็นต้น

2.เซลล์ที่ย้อมไม่ติดสี(agranular chromophobes) เป็นกลุ่มเซลล์ที่ย้อมไม่ติดทั้งสีกรดและด่าง ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน ACTH

ต่อมใต้สมองส่วนหน้าสังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนที่สำคัญ 6 ชนิดคือ

1.follicle stimulating formone (FSH) เป็นฮอร์โมนประเภทโปรตีนที่มีอวัยวะเป้าหมายคืออวัยวะสืบพันธุ์ทั้งสัตว์เพศผู้และสัตว์เพศเมีย FSH เป็นฮอร์โมนที่มีทำให้ถุงไข่บนรังไข่มีการ

พัฒนาเปลี่ยนแปลงจากถุงไข่ระยะแรก(primary follicles)เป็นถุงไข่ที่เจริญเติบโตเต็มที่ (graafian follicles) ซึ่งเป็นถุงไข่ที่พร้อมจะเกิดการตกไข่ (ovulation) ในขณะที่ถุงไข่มีการพัฒนาจะมีการสังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนเอสโตรเจน(estrogen) ซึ่งเป็นฮอร์โมนประเภทสเตอร์รอยด์ มีผลต่อการแสดงออกของลักษณะเพศเมียและการแสดงอาการเป็นสัด(heat)เมื่อระดับเอสโตรเจนในเลือดสูงขึ้น จะมีผลไปยับยั้งย้อนกลับในการหลั่งฮอร์โมน FSH ขณะเดียวกันจะกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมน LH เพื่อทำให้ถุงไข่เกิดการตกไข่

สำหรับในสัตว์เพศผู้ FSH จะมีผลให้เยื่อบุผนังของท่อสร้างเซลล์อสุจิมีการพัฒนาและเปลี่ยนเป็นเซลล์อสุจิ ในการพัฒนาเพื่อเป็นเซลล์อสุจิที่สมบูรณ์หรือเซลล์อสุจิที่เจริญเติบโตเต็มวัยจำเป็นต้องอาศัยฮอร์โมน testosterone และ ฮอร์โมน LH หรือ ICSH(Interstitial cell stimulating hormone) ด้วย

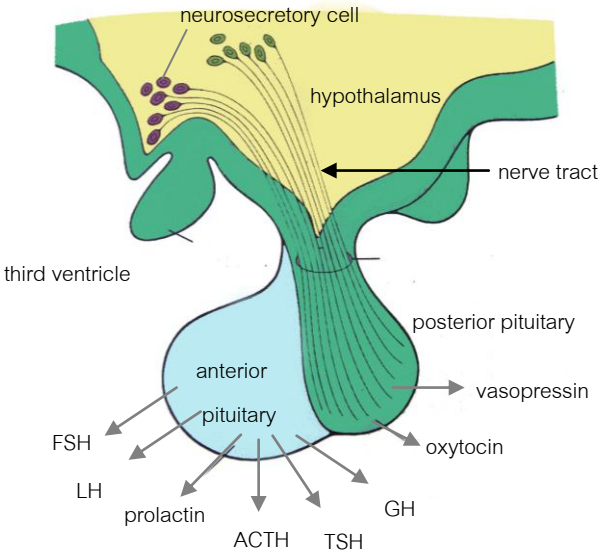
กลไกในการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน FSH เป็นกลไกแบบยับยั้งย้อนกลับในระดับสมองส่วนไฮโปธาลามัสและต่อมใต้สมอง โดยใช้ระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนเอสโตรเจนในเลือดเป็นตัวควบคุม

2. Lutenizing hormone (LH) หรือ Interstitial cell stimulating hormone(ISCH) เป็นโปรตีนหรือเปปไทด์ที่หลั่งออกมาจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า LH จะมีการทำงานที่สัมพันธ์กับ FSH การหลั่ง LH จะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับ FSHในเลือดลดต่ำลง หรือเมื่อระดับเอสโตรเจนในเลือดสูงขึ้น LH จะมีผลให้ถุงไข่ที่เจริญพัฒนาเต็มที่แล้วเกิดการตกไข่ เพื่อให้เซลล์ไข่เดินทางไปสู่ท่อนำไข่เพื่อรอการปฏิสนธิจากเซลล์อสุจิ LH ยังเกี่ยวข้องกับการพัฒนาของคอร์ปัส ลูเตียม (corpus luteum)จากถุงไข่ที่เกิดการตกไข่แล้ว เพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน (progesterone) ซึ่งเป็นฮอร์โมนสเตอร์รอยด์ที่ทำหน้าที่ในการพัฒนาของตัวอ่อนในมดลูกให้เจริญเติบโตและมีชีวิตอยู่รอดจนกระทั่งคลอด โดยการเตรียมความพร้อมของมดลูกและระบบสืบพันธุ์ส่วนอื่น นอกจากนี้โปรเจสเตอโรนยังเกี่ยวข้องกับการป้องกันไม่ให้ถุงไข่อื่นมีการเจริญเติบโตและมีการตกไข่เกิดขึ้นในขณะที่สัตว์มีการตั้งท้อง การมีระดับโปรเจสเตอโรนที่สูงขึ้นในเลือดจะมีผลทำให้เกิดการยับยั้งย้อนกลับ (negative feed back) ต่อฮอร์โมน FSH และ LHที่หลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าและฮอร์โมนที่ควบคุมการหลั่ง FSH และ LHจากสมองส่วนไฮโปธาลามัส

ในสัตว์เพศผู้ LH หรือ ICSH ทำหน้าที่ในการกระตุ้นกลุ่มเซลล์ที่อยู่ระหว่างท่อสร้างเซลล์อสุจิ (interstitial cells) โดยเฉพาะเลย์ดิกเซลล์ (leydig cell) ซึ่งทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ฮอร์โมน testosterone ที่เป็นฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการแสดงออกของลักษณะเพศผู้ และการพัฒนาของเซลล์สืบพันธุ์เพศผู้ในท่อสร้างเซลล์อสุจิ

กลไกในการควบคุมการหลั่ง LH หรือ ICSH เป็นการกระตุ้นแบบยับยั้งย้อนกลับโดยใช้ระดับของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนในเลือด โปรเจสเตอโรนที่สูงขึ้นในเลือดจะมีผลให้สมองส่วนไฮ

โปธาลามัสหยุดหลั่งฮอร์โมนที่ควบคุมการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้า (releasing hormone พวก LH-RH หรือ Gn-RH) ซึ่งมีผลให้ต่อมใต้สมองส่วนหน้าไม่หลั่ง LH



ภาพที่ 11.3 ฮอร์โมนที่ควบคุมการทำงานของต่อมใต้สมองส่วนหน้า

3.prolactin(LTH หรือ lactogenic hormone, luteotropin, luteotropic hormone) เป็นโปรตีนฮอร์โมน มีผลต่อเต้านมโดยตรง รวมทั้งมีผลต่อคอร์ปัส ลูเตียมบนรังไข่ ฮอร์โมนจะมีการผลิตและหลั่งออกมามากเมื่อสัตว์มีการตั้งท้องและระยะหลังคลอดทำให้มีการสร้างน้ำนมสำหรับใช้เลี้ยงลูกอ่อน หน้าที่ของฮอร์โมนโปรแลคตินมีเฉพาะในสัตว์เพศเมียเท่านั้น จะกระตุ้นให้เซลล์เต้านมมีการพัฒนาขยายขนาด สร้างและเก็บสะสมน้ำนมภายในเต้านม เพื่อเลี้ยงลูกอ่อน นอกจากนี้ยังมีผลทำให้คอร์ปัส ลูเตียมบนรังไข่คงสภาพอยู่ไม่ฝ่อตัว เพื่อทำหน้าที่สังเคราะห์ฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนไปตลอดระยะการตั้งท้อง

กลไกในการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนโปรแลคติน ในสัตว์เพศเมียที่อยู่ในระยะผสมพันธุ์ต่อมใต้สมองจะหลั่งฮอร์โมนออกมาเพื่อกระตุ้นเต้านมให้มีการพัฒนา และเตรียมความพร้อมในการเลี้ยงลูก ในสัตว์ที่ไม่ตั้งท้องหรือผสมไม่ติด ไฮโปธาลามัสจะหลั่ง PIF (prolactin inhibiting factor) มาที่ต่อมใต้สมองส่วนหน้าเพื่อยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนโปรแลคติน

4. thyroid stimulating hormone (TSH) เป็นฮอร์โมนที่เป็นโปรตีนมีผลโดยตรงต่อการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ TSH มีหน้าที่กระตุ้นให้เซลล์ในฟอร์ลิเคิล (follicles) ของต่อมไทรอยด์ขยายใหญ่ (hypertrophy)และมีการเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น (hyperplasia) ทำให้มีการ

สังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ คือฮอร์โมนไทร๊อกซิน (thyroxin) และไทโรโกลบูลิน (thyroglobulin)

การควบคุมการหลั่งฮอร์โมน TSH เป็นกลไกการยับยั้งย้อนกลับที่ระดับสมองส่วนไฮโปธาลามัสและต่อมใต้สมองส่วนหน้า โดยระดับไทร๊อกซิน (T_4) triiodotyronine (T_3) ที่สูงขึ้นในเลือดจะยับยั้งการหลั่งฮอร์โมนจากสมองส่วนไฮโปธาลามัส คือ TRH และฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าคือ TSH

5. adrenocorticotropic hormone (ACTH) เป็นโปรตีนฮอร์โมนที่สังเคาระห์หรือผลิตและหลั่งจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า มีหน้าที่กระตุ้นต่อมหมวกไตส่วนนอกในชั้น zona fasciculata และ zona reticularis ให้ผลิตและหลั่งฮอร์โมนกูลโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoid) ทำหน้าที่ในการควบคุมการใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงาน หน้าที่สำคัญของ ACTH คือควบคุมการสังเคราะห์และการหลั่งฮอร์โมนกูลโคคอร์ติคอยด์จากต่อมหมวกไตส่วนนอก ทำให้เซลล์ของต่อมหมวกไตขยายขนาด(hypertrophy)และเพิ่มจำนวนเซลล์ (hyperplasia)ลดปริมาณการสะสมไขมัน คลอเรสเตอรอลและการสะสมไวตามินซีที่ต่อมหมวกไต และเกี่ยวข้องกับการรักษาสมดุลของของเหลวในร่างกาย

กลไกที่ควบคุมการหลั่ง ACTH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า เป็นกลไกแบบยับยั้งย้อนกลับในระดับต่อมใต้สมองและสมองส่วนไฮโปธาลามัส โดยระดับกูลโคคอร์ติคอยด์ในเลือด นอกจากนี้ยังมีผลจากฮอร์โมน epinephrin , norepinephrin, vasopressin และ oxytocin รวมทั้ง CRF (corticotrophin releasing factor)

6. growth hormone (GH) หรือ somototrophin (STH) เป็นโปรตีนฮอร์โมน GH ของสัตว์แต่ละชนิดจะมีฤทธิ์เฉพาะต่อสัตว์ชนิดนั้นๆเท่านั้น GH มีหน้าที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของสัตว์โดยเฉพาะการเพิ่มการสังเคราะห์โปรตีนของเซลล์ในส่วนต่างๆของร่างกาย (somatic cell) โดยเฉพาะเซลล์กระดูกและกล้ามเนื้อ มีผลต่อเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรทและไขมัน โดยจะไปทำให้ระดับกลูโคสในเลือดสูงขึ้น เนื่องจากตับปลดปล่อยกลูโคสออกมามาก GH มีฤทธิ์ในการยับยั้งการนำกลูโคสเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งเป็นหน้าที่ที่ตรงกันข้ามกับฤทธิ์ของฮอร์โมนอินซูลิน จึงเรียก GH อีกชื่อหนึ่งว่า anti-insulin effect สำหรับการมีผลต่อเมตาโบลิซึมของไขมัน GH จะไปเพิ่มการสลายไขมันเพื่อเป็นพลังงาน จึงมีผลให้มีการสร้างคีโตนบอดี้(ketone body) สูงขึ้น อาจเรียกผลของGH ว่าเป็น ketogenic action GH ยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของกระดูกยาว โดยไปออกฤทธิ์ที่ epiphyseal cartilage ของกระดูกยาว ทำให้ปลายบนและปลายล่างของกระดูกยาวขยายออก นอกจากนี้ยังไปเพิ่มเนื้อกระดูก (matrix) และเพิ่มจำนวนเส้นใยคอลลาเจน (collagenous fiber) ที่ส่วนปลายกระดูกยาวด้วย

ข.ต่อมใต้สมองส่วนกลาง(intermediate lobe)เนื้อสมองของต่อมใต้สมองส่วนกลางพบได้ในสัตว์มีกระดูกสันหลัง มีหน้าที่หลั่งฮอร์โมน melanocyte หรือ melanophore-stimulating hormone(MSH) MSH ทำหน้าที่ควบคุมเม็ดสีที่ผิวหนัง

ค.ต่อมใต้สมองส่วนท้าย(posterior pituitary gland) เป็นสมองที่ทำหน้าที่เป็นแหล่งเก็บสะสมฮอร์โมนจากสมองส่วนไฮโปธาลามัส ที่สร้างจากเซลล์ประสาทในส่วน supraoptic และ paraventricular nucleus หลังจากที่เซลล์สังเคาระห์ฮอร์โมนแล้วจะส่งฮอร์โมนมาตามเส้นใยประสาท(axon) เพื่อเก็บไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนท้ายที่เซลล์ชนิดพิเศษเรียกว่า pituicytes ต่อมใต้สมองส่วนท้ายมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า neurohypophysis จึงอาจจัดว่าต่อมใต้สมองส่วนท้ายเป็นส่วนของเส้นประสาทที่มาจากสมองส่วนไฮโปธาลามัส (hypothalamohypophyseal tract) เมื่อได้รับคำสั่งจากไฮโปธาลามัสต่อมใต้สมองส่วนท้ายจะหลั่งฮอร์โมนที่เก็บสะสมไว้ออกมาเพื่อเข้าสู่กระแสเลือด ฮอร์โมนที่เก็บสะสมไว้ที่ต่อมใต้สมองส่วนท้ายได้แก่ ฮอร์โมน antidiuretic hormone (ADH) และ ฮอร์โมน oxytocin หรือ vasopressin

1.ฮอร์โมน ADH หรือ vasopressin เป็นเปปไทด์ฮอร์โมนมีโครงสร้างคล้ายกับฮอร์โมนออกซิโตซิน ในสัตว์เลี้ยงมี 2 ชนิดคือ arginine vasopressin พบในสัตว์เลี้ยงโดยทั่วไป ส่วน lysine vasopressin เป็นฮอร์โมนที่พบในสุกร ทั้งสองชนิดมีฤทธิ์เหมือนกัน หน้าที่ของฮอร์โมน ADH คือดูดซึมน้ำกลับที่หลอดไตในส่วนปลาย (distal convoluted tubule)เพื่อลดอัตราการขับถ่ายน้ำปัสสาวะออกจากร่างกาย เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการดูดซึมกลับของยูเรียที่หลอดไตรวม (collecting ducts) มีผลให้ผนังเซลล์เมมเบรนของท่อไตมีความสามารถในการดูดซึมกลับยูเรียมากขึ้น

กลไกในการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน ADH จะเกิดขึ้นเมื่อร่างกายเกิดสภาวะขาดน้ำ (dehydration) ความเข้มข้นของเลือดจะสูงขึ้น ทำให้ความดันออสโมซีสของเลือดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นให้ osmoreceptor ที่สมองส่วนไฮโปธาลามัสทำงานและสั่งการให้มีการหลั่งฮอร์โมน ADH ออกมาจากต่อมใต้สมองส่วนท้าย หน้าที่ของฮอร์โมนออกซิโตซินเกี่ยวข้องกับการหลั่งน้ำนม โดยจะมีผลให้กล้ามเนื้อเรียบ (myoepithelial cell) ที่อยู่รอบๆalveoli ของต่อมน้ำนมบีบตัวทำให้เกิดการไหลของน้ำนมออกจากท่อนม การหลั่งน้ำนมเป็นรีเฟล็กส์ ที่เกิดขึ้นจากระบบประสาทและระบบฮอร์โมน กระตุ้นให้กล้ามเนื้อมดลูก (myometrium) บีบตัวขณะเกิดการคลอด เพื่อผลักดันให้ลูกอ่อน(fetus)ออกจากมดลูก กระตุ้นให้เกิดการบีบตัวของกล้ามเนื้อมดลูกเพื่อให้เซลล์อสุจิที่หลั่งเข้าไปในระบบสืบพันธุ์ขณะทำการผสมพันธุ์เคลื่อนที่ไปถึงท่อนำไข่ได้ และเกี่ยวข้องกับการหลั่งฮอร์โมนโปรแลคตินเพื่อให้แม่สัตว์มีการผลิตน้ำนมเพื่อเตรียมพร้อมให้แก่ลูกอ่อน

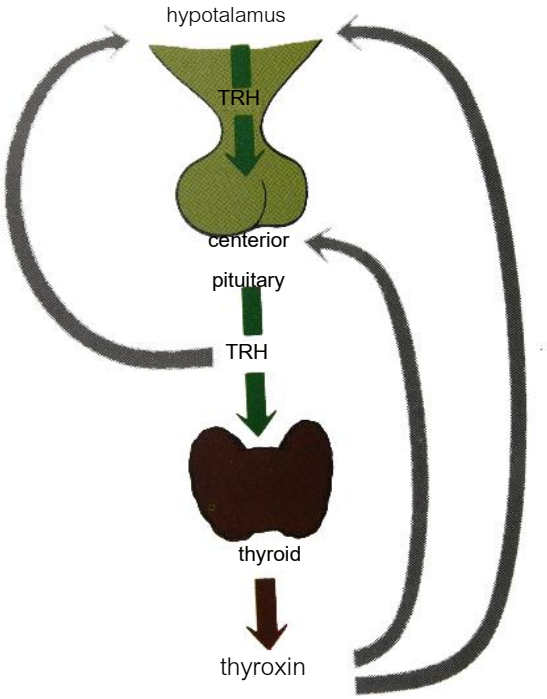
การควบคุมการหลั่งออกซิโตซิน เป็นการควบคุมแบบ positive feed back การกระตุ้นการหลั่งฮอร์โมนเริ่มจากการกระตุ้นประสาทรับความรู้สึกต่างๆ เช่น ประสาทตา ประสาทหู และ

ประสาทรับสัมผัส เมื่อประสาทรับความรู้สึกได้รับการกระตุ้นจะส่งกระแสความรู้สึกไปยังสมองส่วนไฮโปธาลามัส ทำให้เซลล์ประสาทบริเวณ supraoptic และ paraventricular nucleus ส่งกระแสประสาทไปกระตุ้นต่อมใต้สมองส่วนท้ายให้หลั่งออกซิโตซินออกมาสู่กระแสเลือดเพื่อไปยังอวัยวะเป้าหมายคือเต้านม และกล้ามเนื้อเรียบที่ระบบอวัยวะสืบพันธุ์

2.ต่อมไทรอยด์ (thyroid gland)

ต่อมไทรอยด์เป็นต่อมคู่ มีตำแหน่งอยู่แต่ละข้างของหลอดลมใกล้กับกล่องเสียง โดยทั่วไปอาจจะมีเนื้อต่อมที่เป็นตัวเชื่อมกลีบทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเรียกว่า isthmus ต่อมไทรอยด์แต่ละข้างจะมีเยื่อหุ้มเรียกว่า capsules ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มาหุ้มโดยรอบ ภายในจะมีส่วนยื่นเรียกว่า septa หรือ trabecular ทำหน้าที่แบ่งเนื้อต่อมออกเป็นกลีบเล็กๆ เพื่อเป็นทางผ่านของเส้นเลือด เส้นประสาทและเส้นน้ำเหลือง แต่ละกลีบของเนื้อต่อมไทรอยด์ประกอบด้วยเซลล์เดี่ยวๆเรียงกันเป็นรูปวงกลมหรือรูปไข่เรียกว่า ฟอร์ลิเคิล (follicle หรือ acini) ซึ่งเป็นหน่วยเล็กที่สุดของต่อม ทำหน้าที่สังเคราะห์และหลั่งฮอร์โมนไทร๊อกซิน (thyroxin) รอบๆฟอร์ลิเคิลจะมีเส้นเลือดฝอยแทรกอยู่ทั่วไป เซลล์เดี่ยวๆที่ประกอบเป็นฟอร์ลิเคิลจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเซลล์รูปลูกบากศ์ (cuboidal) เป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมทรงสูงหรือรูปแท่ง (columnar) ในขณะที่เซลล์กำลังทำหน้าที่หลั่งฮอร์โมน การสังเคราะห์ฮอร์โมนจะเกิดขึ้นในเซลล์ แต่หลังจากสังเคราะห์แล้วจะเก็บสะสมฮอร์โมนไว้ในช่องว่างของฟอร์ลิเคิล

ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์มี 2 ชนิดคือ ไทร๊อกซิน(thyroxin) หรือ tetraiodothyronin (T_4) และ triiodothyronine (T_3) ฮอร์โมนทั้งสองชนิดนี้จะมีธาตุไอโอดีนเป็นส่วนประกอบหลัก ซึ่งได้มาจากอาหารในรูปไอโอไดด์ (iodide,I^-) iodide จากอาหารที่มากับเลือดโดยเกาะมากับโปรตีนในเลือด (protein bound iodine)จะเข้าสู่ต่อมไทรอยด์โดยเซลล์เดี่ยวๆที่ประกอบเป็นฟอร์ลิเคิลจะดึง iodide ไว้ ภายในฟอร์ลิเคิล iodide จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไอโอดีน (iodine)โดยขบวนการออกซิเดชั่น ธาตุไอโอดีนจะไปเกาะกับกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) ทำให้เกิดเป็นสารประกอบพวก MIT (monoiodothyronine) หรือ DIT (diiodothyrinine) จากนั้นจึงเกิดการรวมตัวกันของ MIT กับ DIT หรือ DIT กับ DIT ได้เป็น triiodothyronine หรือ thyroxin ซึ่งจะถูกนำไปเก็บสะสมไว้ที่colloid ตรงช่องว่างของฟอร์ลิเคิล โดยจะอยู่รวมกับโปรตีนไทโรโกลบูลิน (thyroglobulin) เมื่อได้รับการกระตุ้นจาก TSH (thyroid stimulating hormone) จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ฟอร์ลิเคิลจะหลั่งฮอร์โมนออกมาจากช่องว่างเพื่อเข้าสู่กระแสเลือด โดยจะหลั่งออกมาพร้อมกับไทโรโกลบูลินเรียกว่า thyroid binding globulin



ภาพที่ 11.4 ต่อมไทรอยด์

ดัดแปลงจาก : Marder, 1988

ฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์มีหน้าที่ต่างๆเช่นมีผลต่อเมตาโบลิซึมของโภชนะเช่นคาร์โบไฮ-เดรท โดยจะมีผลเพิ่มการดูดซึมของกลูโคสที่ผนังลำไส้ และเพิ่มการเปลี่ยนสารอื่นให้เป็นกลูโคสโดยผ่านขบวนการ gluconeogenesis ทำให้มีปริมาณกลูโคสที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในเซลล์ต่างๆของร่างกายเพิ่มมากขึ้น การหลั่งไทร็อกซินมากจะทำให้เกิดปริมาณน้ำตาลสูงในเลือด (hyperglycemia) และมีผลทำให้มีการขับปัสสาวะที่มีน้ำตาลในปริมาณสูงด้วย (glucouria) มีผลต่อเมตาโบลิซึมของไขมัน โดยการเพิ่มการสร้างเนื้อเยื่อไขมัน เพื่อนำไขมันมาใช้เป็นแหล่งพลังงานในร่างกาย สภาวะนี้จะเกิดขึ้นได้มากถ้าสัตว์ขาดแหล่งคาร์โบไฮเดรทในอาหารมีผลต่อขบวนการเมตาโบลิซึมของโปรตีน ในการหลั่งไทร็อกซินในระดับปกติจะมีผลให้เกิดการสังเคราะห์โปรตีนในร่างกายเพิ่มขึ้น แต่ถ้าฮอร์โมนหลั่งออกมามากกว่าปกติจะมีผลให้เกิดการสลายตัวของโปรตีนในกล้ามเนื้อได้ เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นให้เซลล์มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น หรือเพิ่ม BMR (basal metabolic rate) โดยเฉพาะในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ตับ ไต ตับอ่อน และต่อมน้ำลาย มีผลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาร่างกายในสัตว์ปกติ โดยจะทำงานร่วมกับ GH เกี่ยวข้องกับการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย โดยการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อ และการทำงานของระบบประสาท sympathetic ทำให้เกิดการหดตัวของหลอดเลือดเพื่อลดอัตราการสูญเสียความร้อนออก

จากร่างกายมีผลต่อการเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ ทำให้การสูบฉีดเลือดเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายเพิ่มมากขึ้น

กลไกในการควบคุมการหลั่งฮอร์โมนจากต่อมไทรอยด์ จะถูกควบคุมโดยฮอร์โมนจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า และสมองส่วนไฮโปธาลามัส การหลั่งฮอร์โมนจะเป็นแบบการควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ (negative feed back) โดย TSH จะถูกยับยั้งให้หลั่งน้อยลงเมื่อระดับความเข้มข้นของฮอร์โมนไทร็อกซินในเลือดเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การหลั่ง TSH ยังถูกควบคุมโดย TRH จากสมองส่วนไฮโปธาลามัส ทั้งนี้รวมถึงระดับไอโอไดด์ในเลือดด้วย

3.**ต่อมพาราไทรอยด์** (parathyroid gland)

ต่อมพาราไทรอยด์เป็นต่อมที่อยู่ใกล้กับต่อมไทรอยด์ จำนวนและตำแหน่งของต่อมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ สัตว์บางชนิดต่อมพาราไทรอยด์จะยังคงติดอยู่กับเนื้อของต่อมไทรอยด์ เช่นม้า แต่ในสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสุกร ต่อมพาราไทรอยด์จะมีตำแหน่งอยู่ด้านหน้าของต่อมไทรอยด์ เนื้อของต่อมพาราไทรอยด์จะประกอบด้วยเซลล์ 2 ประเภทคือ chief cell และ oxyphil cell เซลล์ส่วนใหญ่ของต่อมพาราไทรอยด์คือ chief cell ทำหน้าที่ในการหลั่ง parathyroid hormone (PTH) เป็นฮอร์โมนพวกเปปไทด์ มีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบประมาณ 84 ตัว อวัยวะเป้าหมายคือ กระดูก ไต และระบบทางเดินอาหาร ฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์ มีหน้าที่โดยตรงต่อกระดูก ทำให้กระดูกปลดปล่อย Ca^{++} ออกมา ทำให้ Ca^{++} ในเลือดเพิ่มขึ้น การปลดปล่อย Ca^{++} ของกระดูกจะมีผลให้มีการปลดปล่อย PO_4^- ด้วย ทำให้เลือดเกิดสภาวะ hypercalcemia และ hyperphosphatemia นอกจากนี้ยังทำให้มีการดูดซึม Ca^{++} ที่ลำไส้เล็ก โดยเพิ่ม 1,25-dihydroxycholecalciferol และมีผลต่อการเพิ่มการดูดซึมกลับของ Ca^{++} ในส่วนของหลอดไตส่วนปลาย (distal convoluted tubule) ทำให้ Ca^{++} ที่ปนมากับปัสสาวะลดลงเกิดสภาวะ hypocalciuria แต่จะไปเพิ่มการขับออกของ PO_4^- ที่หลอดไตมีผลให้ระดับ PO_4^- ในเลือดลดลง

กลไกการควบคุมการหลั่ง PTH เป็นกลไกแบบยับยั้งย้อนกลับ โดยใช้ระดับความเข้มข้นของ Ca^{++}ในเลือด เมื่อ Ca^{++} ในเลือดสูงขึ้นจะมีผลให้ PTH หลั่งลดลง แต่เมื่อ Ca^{++} ลดลง PTH จะหลั่งออกมามากขึ้น โดยทั่วไปการทำงานของ PTH จะทำงานร่วมกันกับฮอร์โมนแคลซิโทนิน (calcitonin) จากต่อมไทรอยด์

ฮอร์โมนแคลซิโทนิน (calcitonin) เป็นฮอร์โมนที่ผลิตจาก C- cell (parafollicular cell) ที่อยู่ข้างๆฟอร์ลิเคิลในต่อมไทรอยด์ เป็นฮอร์โมนประเภทโพลิเปปไทด์ มีหน้าที่ในการควบคุมระดับแคลเซี่ยมในเลือดเช่นเดียวกับฮอร์โมนจากต่อมพาราไทรอยด์ แต่จะทำงานเมื่อระดับของCa^{++} ในเลือดสูงกว่าปกติ โดยไปยับยั้งการสลายตัวของกระดูกโดยเซลล์ osteoblastsและการดูดซึม Ca^{++}

โดยเซลล์ osteoclast นอกจากนี้ยังมีฤทธิ์ในการเพิ่มการดูดซึมของโมเลกุลน้ำและเกลือแร่ในปัสสาวะเช่น Na^{+} ,Ca^{++} , PO_4^{-} และลดการหลั่งของ HCl ในน้ำย่อย ที่กระเพาะอาหาร

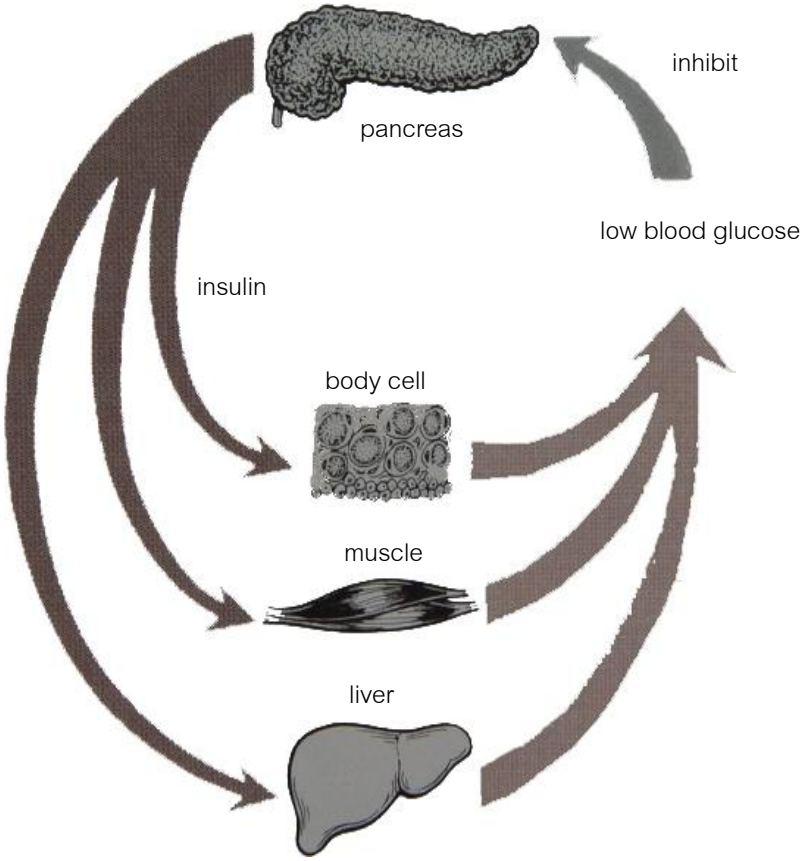
กลไกในการควบคุมการทำงานของแคลซิโทนิน เกิดจากระดับ Ca^{++} ในเลือดที่สูงขึ้น จะมีผลให้ฮอร์โมนแคลซิโทนินถูกหลั่งอกมาจาก C-cell ของต่อมไทรอยด์มากขึ้น โดยไม่ผ่านสมองส่วนไฮโปธาลามัสและต่อมใต้สมอง

4.ตับอ่อน (pancrease)

ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่ในการผลิตฮอร์โมนและน้ำย่อยที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหาร โดยเนื้อเยื่อส่วนที่ผลิตฮอร์โมนคือส่วนของ islets of langerhans เป็นกลุ่มของเซลล์เนื้อเยื่อบุผิวที่กระจายตัวอยู่ระหว่างกระเปาะ (alveoli) และท่อต่างๆของตับอ่อน เซลล์ของ islets of langerhans จะเรียงตัวกันเป็นแถบหรือเป็นเส้น (cord) ที่ไม่สม่ำเสมอ แต่ละแถบจะแยกกันด้วยเส้นเลือดฝอยที่มาหล่อเลี้ยง

เซลล์ของตับอ่อนที่ผลิตฮอร์โมนได้แก่ A-cells หรือ alpha–cells,B-cells หรือ beta-cells , C–cells และ D-cells หรือ delta cells ส่วน B-cells เป็นเซลล์ที่พบมากที่สุด ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน (Insulin) และ ส่วน A -cells เป็นแหล่งผลิตและหลั่งฮอร์โมนกลูคากอน (glucagon) ทั้งอินซูลิน และกลูคากอนเป็นฮอร์โมนประเภทโพลิเปปไทด์ (polypeptide hormone) ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรักษาระดับกลูโคสในเลือด หรือเกี่ยวกับการควบคุมเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรท โดยจะทำงานตรงกันข้าม อินซูลินจะทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้ระดับกลูโคสในเลือดสูงเกินกว่าปกติ โดยนำกลูโคสไปสร้างเป็นไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ การขาดอินซูลินมีผลให้เกิดโรคเบาหวาน (diabetes meletis) ถ้ามีอินซูลินมากเกินไป ทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดต่ำกว่าปกติ (hyperglycemia) สัตว์เกิดการชักได้ง่าย กลูคากอนควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยการกระตุ้นให้มีการสลายตัวของไกลโคเจนที่ตับ การเพิ่มขบวนการสร้างกลูโคสจากสารอื่น (gluconeogenesis) ที่เนื้อเยื่อของตับ การขาดกลูคากอนจะทำให้ร่างกายขาดกลูโคส (hypoglycemia) D-cells ทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนโซมาโทสเตสทิน (somatostatin) เกี่ยวข้องกับการยับยั้งการหลั่งอินซูลินและกลูคากอน C-cells ทำหน้าที่ในการผลิตและหลั่ง pancreatic polypeptides ฮอร์โมนอินซูลินมีหน้าที่ ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดลดลงและยับยั้งการสลายตัวของไกลโคเจนเพื่อให้เป็นกลูโคสในเนื้อเยื่อของตับ ทำให้ระดับกลูโคสในเลือดลดลง เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการดูดซึมกลับของกลูโคสที่ไตในส่วนของ glomerulus และเพิ่มการขนส่งกลูโคสและกรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในขบวนการเมตาโบลิซึม ฮอร์โมนกลูคากอนมีหน้าที่ทำให้ระดับของ

กลูโคสในเลือดสูงขึ้น โดยการกระตุ้นให้มีการสลายตัวของไกลโคเจนที่ตับ และเพิ่มการสลายตัวของไขมัน ทำให้เกิดสารคีโตนในเลือด (ketogenesis)สูงขึ้น



ภาพที่ 11.5 **การทำงานของตับอ่อน**

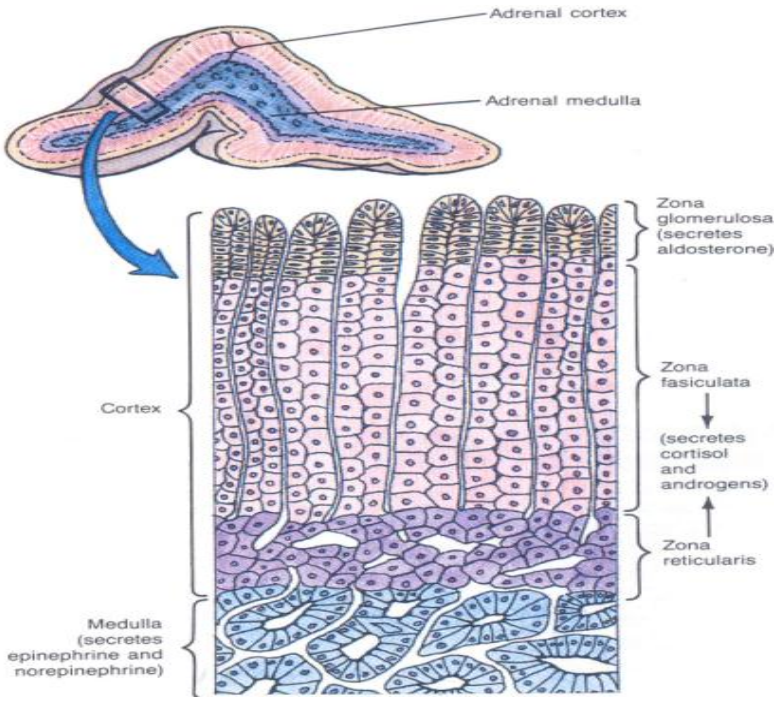
ดัดแปลงจาก : Mader, 1988

5.ต่อมหมวกไต (adrenal glands)

ต่อมหมวกไตมีอยู่ 1 คู่มีตำแหน่งอยู่ที่ด้านหน้าของไตแต่ละข้าง รูปร่าง ขนาด และตำแหน่งของต่อมหมวกไตแตกต่างกันไปตามชนิดของสัตว์ ผิวนอกของต่อมจะมีเปลือกหุ้ม (capsule) ต่อมหมวกไตประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 2 ชั้น ชั้นนอกเรียกว่า cortex ชั้นในเรียกว่า medulla ชั้นนอกจะแบ่งออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นนอกสุดใต้เปลือกหุ้มเรียกว่า zona glomerulosa ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมน mineralocorticoid ชั้นกลางเรียกว่า zona fasiculata ผลิตและหลั่งฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ (glucocorticoid) ชั้นในสุดเรียกว่า zona reticularis ทำหน้าที่ผลิตและหลั่งฮอร์โมนเพศ (sex hormone) ชั้นในของต่อมหมวกไตจะผลิตและหลั่งฮอร์โมนที่สำคัญได้แก่ epinephrin และ norepinephrin

1.ฮอร์โมน mineralocorticoid เป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมนที่ผลิตจากชั้น zona glomerulosa ประกอบด้วยฮอร์โมน aldosterone และ deoxycorticosterone ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมและรักษาสมดุลของน้ำและอิเลคโทรไลท์ของร่างกาย ฮอร์โมน aldosterone เป็นฮอร์โมนส่วนใหญ่ในกลุ่มของฮอร์โมน mineralosterone ทำหน้าที่เพิ่มการดูดซึมกลับของโซเดียม(Na^+) ที่หลอดไตส่วนต้น(distal convoluted tubule) และหลอดไตรวม (collecting duct) โดยแลกกับการขับโปแตสเซี่ยม(K^+)เพื่อเข้าสู่หลอดไต

การหลั่งฮอร์โมน aldosterone เกิดจากสภาวะที่เลือดมีความดันต่ำเนื่องจากการขาดน้ำหรือการมี Na^+ ลดลงในเลือด จะทำให้ juxtaglomerular cells ที่ไตหลั่งสารเรนนิน (renin) ออกมา renin จะเปลี่ยน angiotensin I เป็น angiotensin II เมื่อ angiotensin II ในเลือดสูงจะกระตุ้นให้ต่อมหมวกไตส่วนนอกบริเวณ zona glomerulosa หลั่งฮอร์โมน aldosterone ออกมา เพื่อทำหน้าที่ในการดูดกลับ Na^+ ขบวนการดังกล่าวเรียกว่า renin angiotensin system เมื่อมีระดับ Na^+ สูงขึ้นและมีการดูดกลับน้ำสูงขึ้นทำให้ปริมาณเลือดในร่างกายสูงขึ้น ความดันเลือดจะสูงขึ้นตามมา มีผลในการยับยั้งการหลั่ง renin นอกจาก renin angiotensin system จะทำหน้าที่ในการควบคุมการหลั่งฮอร์โมน mineralocorticoid การหลั่งฮอร์โมนอาจมีผลจากต่อมใต้สมองส่วนหน้าโดยฮอร์โมน ACTH ด้วย



ภาพที่ 11.6 โครงสร้างของของต่อมหมวกไต

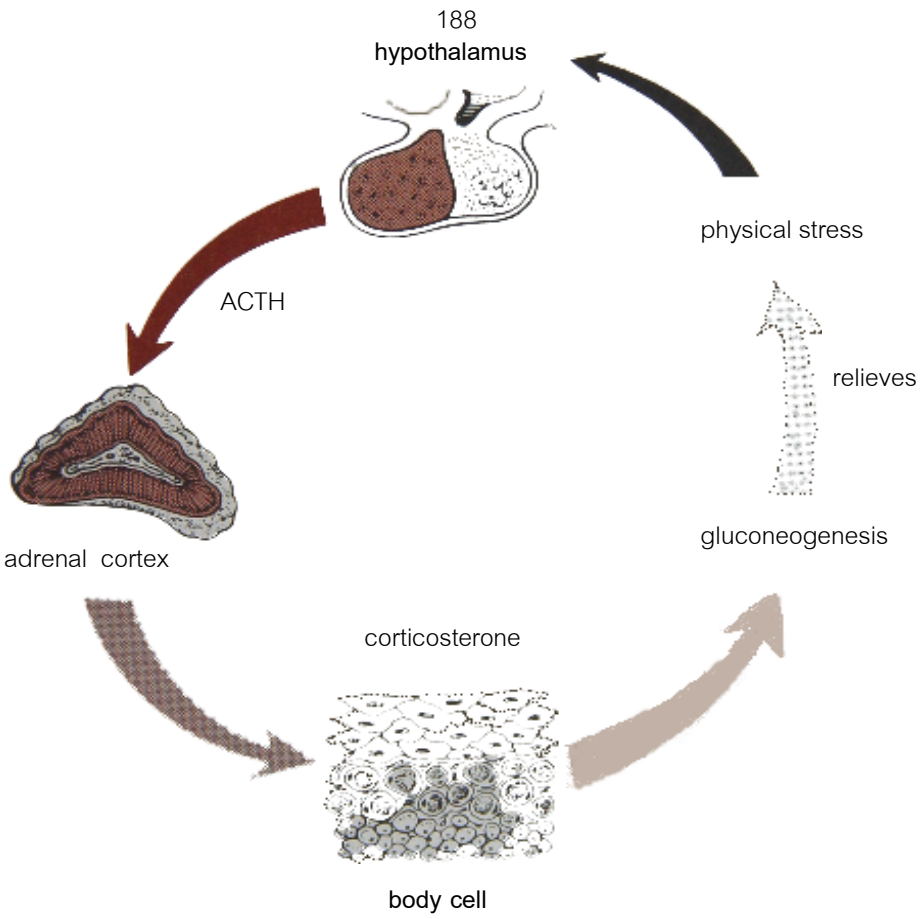
ดัดแปลงจาก Carola, 1992

2.ฮอร์โมน glucocorticoid ผลิตจากเซลล์ในชั้น zona fasciculata และ zona reticularis ประกอบด้วยฮอร์โมนที่สำคัญคือ cortisol , cortisone และ corticosterone มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับเมตาโบลิซึมของคาร์โบไฮเดรท โดยกระตุ้นขบวนการเปลี่ยนสารอื่นให้เป็นกลูโคสและเพิ่มการเปลี่ยนกลูโคสเป็นไกลโคเจนที่ตับ นอกจากนี้ยังมีผลเกี่ยวกับการลดการใช้กลูโคสเพื่อเป็นแหล่งพลังงานภายในเซลล์ ที่เนื้อเยื่อไขมันฮอร์โมนจะมีผลกระตุ้นการสลายไขมันให้เป็นกรดไขมันและเพิ่มการใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานแทนการใช้กลูโคส เกี่ยวข้องกับการลดการสังเคราะห์โปรตีนในเนื้อเยื่อ และเพิ่มการสลายตัวของโปรตีนในเซลล์ ทำให้ร่างกายเตรียมพร้อมต่อการปรับตัวเมื่อเกิดสภาพความเครียด เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการสร้างกลูโคส และกรดไขมัน เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงาน การหลั่งฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์ จะถูกควบคุมโดย ACTH จากต่อมใต้สมองส่วนหน้า เมื่อสัตว์เกิดความเครียด จะมีผลให้ระบบประสาทรับความรู้สึกส่งกระแสประสาทไปยังสมองส่วนไฮโปธาลามัสให้หลั่ง CRH(corticotropin releasing hormone) ไปยังต่อมใต้สมองส่วนหน้า ทำให้หลั่ง ACTH ไปกระตุ้น zona fasciculata และ zona reticularis การควบคุมการหลั่งฮอร์โมนกลูโคคอร์ติคอยด์จากต่อมหมวกไตโดย ACTH จะเป็นการควบคุมแบบยับยั้งย้อนกลับ

3.ฮอร์โมนเพศเช่น androgen และ estrogen หรือ progesteroneที่สร้างโดยเซลล์ในชั้น zona fasciculate และ zona reticularis เกี่ยวข้องกับการควบคุมการพัฒนาระบบสืบพันธุ์ของสัตว์ขณะเป็นลูกอ่อนในท้องแม่

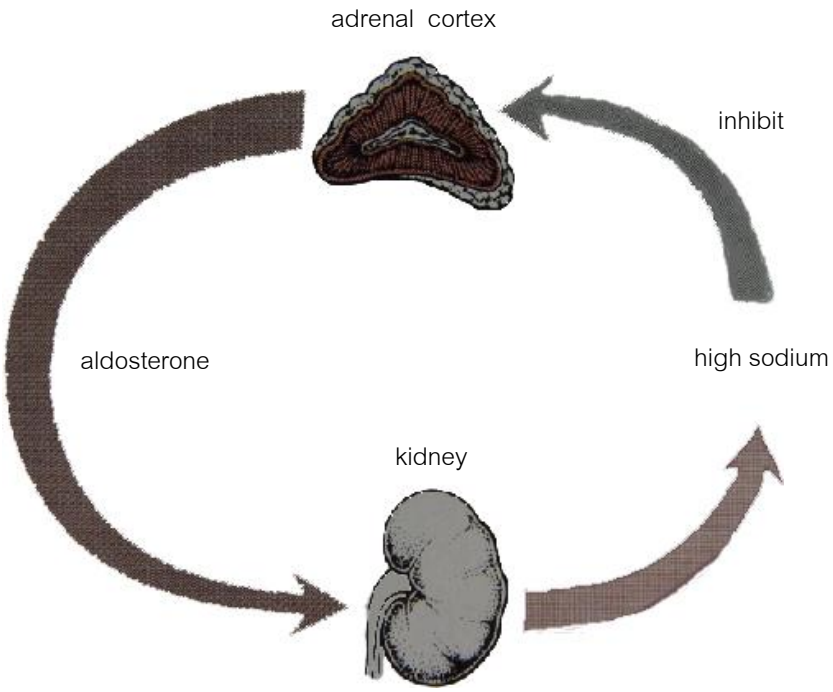
ฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนในได้แก่ฮอร์โมน epinephrin หรือ adrenalin และ norepinephrin หรือ noradrenalin เป็นกลุ่มของฮอร์โมน catecholamine ที่ผลิตจาก chromaffin cells ซึ่งเป็นเซลล์ในปมประสาทของระบบ sympathetic ฮอร์โมน epinephrin มีหน้าที่เพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ ความดันโลหิต และอัตราการไหลของเลือดออกจากหัวใจเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกาย เพิ่มอัตราการเผาผลาญของไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ เพิ่มปริมาณกลูโคสในเลือด และกระตุ้นให้มีการหลั่ง ACTH เพื่อเพิ่มการหลั่งกลูโคคอร์ติคอยด์และเพิ่มขบวนการสร้างกลูโคสจากสารอื่น ส่วนฮอร์โมน norepinephrin มีหน้าที่คือเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจ เพิ่มปริมาณเลือดออกจากหัวใจ และเพิ่มอัตราการเผาผลาญของไกลโคเจน แต่มีฤทธิ์น้อยกว่า epinephrin รวมทั้งทำให้หลอดเลือดหดตัว และเพิ่มความดันเลือด

การหลั่ง epinephrin และ norepinephrin เกี่ยวข้องกับระบบประสาทและสารเคมีบางชนิด โดยเฉพาะเมื่อเกิดความเครียด สัตว์จะหลั่งฮอร์โมน epinephrin ออกมา หรือเมื่อกลูโคสในเลือดต่ำ ถ้าสัตว์อยู่ในสภาวะปกติ norepinephrin จะหลั่งออกมาแทน



ภาพที่ 11.7 การหลั่งฮอร์โมนจากต่อมหมวกไตส่วนนอก

ดัดแปลงจาก : Mader, 1988



ภาพที่ 11.8 การควบคุมการหลั่ง aldosterone

ดัดแปลงจาก : Mader, 1988

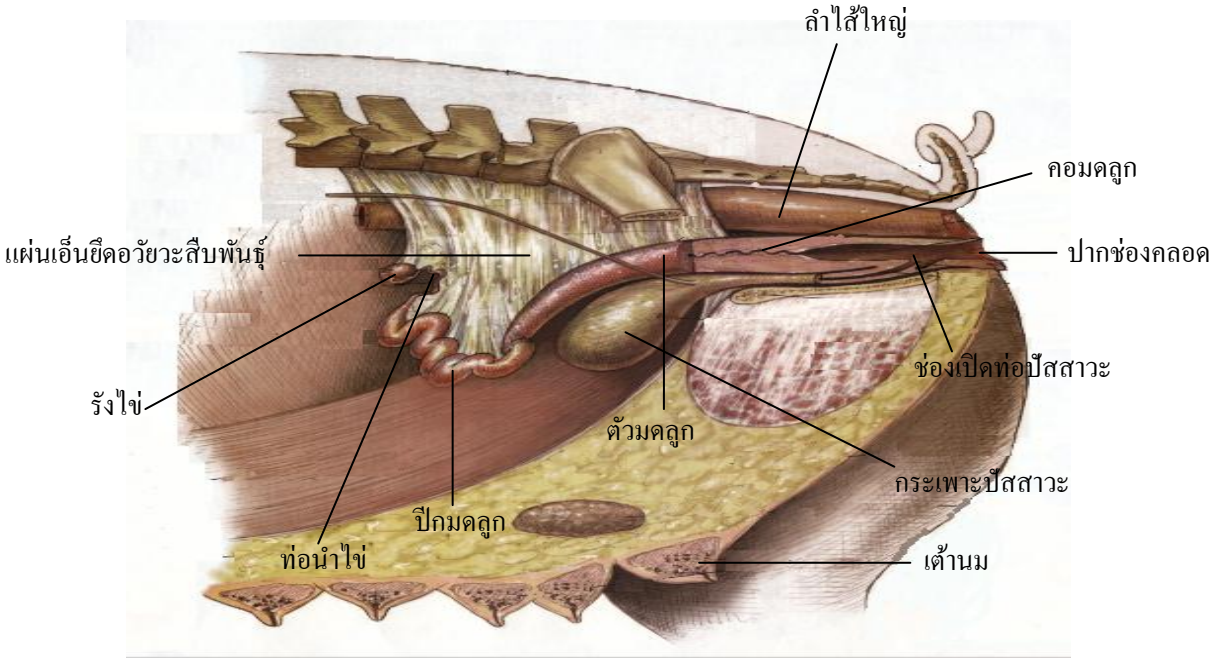
บทที่ 12
ระบบสืบพันธุ์ของสัตว์
(Reproductive systems)

ระบบสืบพันธุ์สัตว์เพศเมีย (female reproductive system)

อวัยวะสืบพันธุ์ในระบบสืบพันธุ์สัตว์เพศเมียประกอบด้วยรังไข่(ovary) ท่อนำไข่ (oviduct) มดลูก (uterus) ช่องคลอด (vagina) และปากช่องคลอด (vulva) อวัยวะสืบพันธุ์เพศเมียทำหน้าที่สำคัญในการผลิตเซลล์ไข่ ผลิตฮอร์โมนเพศได้แก่เอสโตรเจน(estrogen)และโปรเจสเตอโรน (progesterone) นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับการปรับสภาพของระบบสืบพันธุ์ส่วนต่างๆเช่นท่อนำไข่ และมดลูก ให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของตัวอ่อนตลอดระยะเวลาการตั้งท้องจนกระทั่งสัตว์คลอด อวัยวะสืบพันธุ์แขวนลอยในช่องท้องได้ โดยมี แผ่นเอ็น (broad ligament) ยึดโยงอยู่

รังไข่

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมมีรังไข่ 1 คู่ ในสัตว์ปีกมีรังไข่เพียงข้างซ้ายข้างเดียว มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับไตทั้งสองข้าง ทำหน้าที่ผลิตเซลล์ไข่ (ovum) และ ฮอร์โมนเพศ เช่น ฮอร์โมนเอสโตรเจน และฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน สัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างของรังไข่ที่แตกต่างกัน เช่น รังไข่ของโค กระบือ แพะ และ แกะ มีรูปร่างคล้ายเมล็ดถั่วลิสง รังไข่ของสุกรมีลักษณะคล้ายพวงองุ่น และ รังไข่ของม้ามีรูปร่างคล้ายไต เป็นต้น



ภาพที่ 12.1 อวัยวะสืบพันธุ์สุกรเพศเมีย

ที่มา : McCracken และคณะ ,1999

โครงสร้างของรังไข่

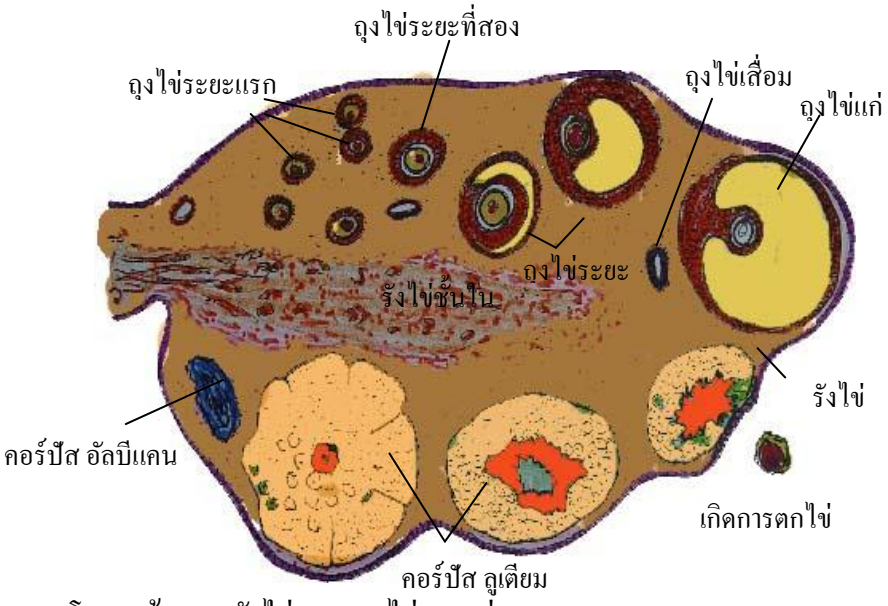
เนื้อเยื่อของรังไข่แบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นนอก (cortex) ประกอบด้วยกระเปาะไข่หรือถุงไข่ (follicle) และ/หรือ คอร์ปัส ลูเตียม (corpus luteum) ในระยะต่างๆกันของการเจริญเติบโต ชั้นใน (medulla) ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (fibroelastic connective tissue) เส้นเลือดและเส้นประสาท รังไข่ชั้นนอกประกอบถุงไข่ซึ่งเป็นส่วนของเนื้อเยื่อชั้นนอกของรังไข่ที่สร้างขึ้นมาหุ้มล้อมรอบเซลล์ไข่ การพัฒนาของถุงไข่บนรังไข่(folliculogenisis) เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอเริ่มเกิดขึ้นเมื่อสัตว์เพศเมียเจริญเติบโตถึงวัยเจริญพันธุ์(puberty) โดยถูกควบคุมจากฮอร์โมนที่ผลิตจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า สมารถแบ่งถุงไข่ในระยะต่างๆของการเจริญเติบโตเป็น 4 ประเภท คือ

ก. ถุงไข่ระยะแรก (primary follicle) เป็นถุงไข่ที่พบมากที่สุดในรังไข่ ประกอบด้วยเซลล์ไข่อ่อนที่ล้อมรอบด้วยเซลล์ชั้นเดียวเรียกว่า กลานูโลซ่าเซลล์ (granulosa cell)

ข. ถุงไข่ระยะที่สอง (secondary follicular) พัฒนาจากถุงไข่ระยะที่หนึ่ง มีชั้นเซลล์หลายๆชั้นรอบเซลล์ไข่ มีชั้นโซนาเพลลูซิด้า (zona pellucida) ปรากฏขึ้น

ค. ถุงไข่ระยะที่สาม (tertiary หรือ vesicular follicle) เป็นถุงไข่ที่มีชั้นเซลล์ที่ล้อมรอบเซลล์ไข่เพิ่มจำนวนชั้นมากขึ้น เริ่มเกิดช่องว่างระหว่างชั้นเซลล์ภายในถุงไข่ (antrum) ชั้นโซนาเพลลูซิด้ารอบเซลล์ไข่ถูกล้อมรอบด้วยชั้นเซลล์โครโรน่า เรดิเอต้า (corona radiata)

ง. ถุงไข่แก่ (graafian follicle) ถุงไข่มีช่องว่างขนาดใหญ่ (antrum) มีของเหลวสะสมอยู่ (follicular fluid) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยฮอร์โมนเอสโตรเจน มีหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการอ่อนตัวของผนังของถุงไข่ ทำให้ถุงไข่แก่แตกและเกิดการตกไข่ได้ง่ายขึ้น เซลล์ไข่จะย้ายตำแหน่งมาชิดอยู่ข้างใดข้างหนึ่งของถุงไข่ด้านใน



ภาพที่ 12.2 โครงสร้างของรังไข่ และถุงไข่ระยะต่างๆ

จำนวนของฤงไข่ที่มีการเจริญเติบโตจนกระทั่งเกิดการตกไข่ของสัตว์แต่ละชนิด ในแต่ละวงรอบการเป็นสัดแตกต่างกันไป ในโค กระบือ และม้า มีจำนวนฤงไข่แก่และพร้อมที่เซลล์ไข่จะเกิดการตกไข่ออกมากได้เพียง 1ใบ เนื่องจากเป็นสัตว์ที่ออกลูกครั้งละตัว ส่วนในสุกรมีการเจริญเติบโตของฤงไข่พร้อมๆกันหลายใบ(ประมาณ 10-25 ใบ) เนื่องจากเป็นสัตว์ที่ออกลูกเป็นครอก หลังจากที่เกิดการตกไข่แล้ว เซลล์ของฤงไข่ที่ยังคงค้างอยู่บนรังไข่ จะเปลี่ยนแปลงเป็นคอร์ปัส ลูเตียม ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ซึ่งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของตัวอ่อนในขณะที่เจริญเติบโตอยู่ในมดลูกของแม่สัตว์ ในกรณีที่เกิดการปฏิสนธิ(fertilization) คอร์ปัส ลูเตียมที่เกิดขึ้นจะคงอยู่บนรังไข่ และทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนต่อไปตลอดระยะการตั้งท้อง กรณีไม่เกิดการปฏิสนธิ คอร์ปัส ลูเตียม จะฝ่อตัวโดยอิทธิพลของฮอร์โมนพรอสตาแกลนดิน (prostaglandin) กลายเป็นรอยแผลสีขาวบนรังไข่ เรียกว่า คอร์ปัส อัลบีแคน (corpus albican)

ท่อนำไข่

ท่อนำไข่มีลักษณะเป็นท่อเล็กๆขดไปมาบนมีโซซาลฟิงซ์ มีโครงสร้างแบ่งเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นนอก(serous membrane) ชั้นกลางเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบ (muscular layer)และชั้นใน (mucous membrane) ผนังด้านในของท่อนำไข่ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดคือ เซลล์ที่มีขน (ciliated cells) และเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการหลั่งของเหลว (glandular cells) ท่อนำไข่ทำหน้าที่ส่งผ่านเซลล์ไข่และเซลล์อสุจิ เกี่ยวข้องกับปรับสภาพภายในช่องว่างของท่อนำไข่ให้เหมาะสมกับการปฏิสนธิ การแบ่งเซลล์ และการเจริญเติบโตของตัวอ่อน ท่อนำไข่แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

ก.ท่อนำไข่ส่วนต้น (infundibulum) มีลักษณะเป็นรูปปากแตร รอบๆปากแตรมีลักษณะหยักคล้ายนิ้วมือ (fimbria) ทำหน้าที่พัดโบกให้เซลล์ไข่ตกลงไปในช่องว่างของท่อนำไข่

ข.แอมพูลา (ampulla) เป็นส่วนของท่อนำไข่ที่มีความหนาและความยาวมากที่สุด มีความยาวเฉลี่ยประมาณครึ่งหนึ่งของความยาวทั้งหมด ตอนปลายของแอมพูลาจะต่อกับส่วนอีสมัสตรงรอยต่อที่เรียกว่า แอมพลูลารี อีสมัส จังชั่น (ampullary isthmus junction) มีหน้าที่ในการชะลอการเดินทางของเซลล์ไข่ ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสในการปฏิสนธิ

ค.อีสมัส (isthmus) เป็นส่วนปลายของท่อนำไข่ที่มีขนาดเล็ก ตอนปลายของอีสมัสติดต่อกับปีกมดลูกตรงส่วน ยูเทอโรทูบูลจังชั่น (uterotubule junction)

การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นในและชั้นกล้ามเนื้อของท่อนำไข่ ถูกควบคุมโดยฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ โดยเฉพาะฮอร์โมนเอสโตรเจน และฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน

มดลูก

มดลูกเป็นบริเวณที่ตัวอ่อนมาฝังตัวและมีการเจริญเติบโตจนกระทั่งคลอด มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ ปีกมดลูก 2 ข้าง (uterine horns) ตัวมดลูก (uterine body) และคอมดลูก (cervix) รูปร่างและลักษณะของส่วนประกอบของมดลูกในสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ขึ้นกับสัดส่วนของส่วนประกอบดังกล่าว เช่น แม่ม้ามีตัวมดลูกขนาดใหญ่กว่าแม่สุกร และแม่แกะ ส่วนแม่สุกรมีปีกมดลูกยาวกว่าแม่โคและแม่ม้า ประเภทของมดลูกแบ่งออกตามส่วนประกอบได้ 4 แบบ คือ

ก.มดลูกแบบดูเพล็กซ์ มีปีกมดลูก 2 ข้าง ปีกมดลูกเชื่อมต่อกับคอมดลูกโดยตรง มีแผ่นกั้นแยกมดลูกและคอมดลูกออกเป็น 2 ข้าง ตัวมดลูกไม่ค่อยพัฒนา มดลูกแบบนี้พบได้ในกระต่าย หนู และหนูกินี (guinea pig)

ข.มดลูกแบบไบคอร์นูเอท มีปีกมดลูกที่ยาวมาก มีลักษณะพับไปพับมาสัตว์ที่มีมดลูกแบบนี้จะมีการตั้งท้องลูกสัตว์ครั้งละหลายๆตัว มีตัวมดลูกที่ไม่เด่นชัด เช่น มดลูกของสุกร

ค.มดลูกแบบไบพาร์ไทร์ มีปีกมดลูก 2 ข้างที่แยกตัวเด่นชัด ปีกมดลูกสั้นกว่ามดลูกแบบไบคอร์นูเอท และมีตัวมดลูกเด่นชัด มดลูกชนิดนี้พบในโค กระบือ แพะ และ แกะ

ค.มดลูกแบบซิมเพล็กซ์ ที่มีตัวมดลูกขนาดใหญ่ ไม่มีปีกมดลูก ตัวมดลูกจะติดต่อโดยตรงกับท่อนำไข่ มดลูกชนิดนี้พบได้ในคนและลิง

โครงสร้างของมดลูกประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกันคือ ชั้นใน (endometrium) ชั้นกลางหรือชั้นกล้ามเนื้อ(myometrium) และชั้นนอก (perimetrium) ชั้นเอ็นโดมีเทรียมประกอบด้วยชั้นเซลล์เยื่อบุผิว (epithelium layer) และต่อมมีท่อ (uterine glands)มากมาย เอ็นโดมีเทรียมมีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการฝังตัวของตัวอ่อน (implantation) การสร้างรก (placentation) และการเจริญเติบโตของตัวอ่อน การเจริญเติบโตของต่อมและท่อต่างๆที่ผนังเอ็นโดมีเทรียมเป็นผลจากฮอร์โมนเอสโตรเจน และ โปรเจสเตอโรน ต่อมที่ผนังเอ็นโดมีเทรียมจะหลั่งของเหลว (uterine milk) ออกมา ซึ่งมีความสำคัญต่อการมีชีวิตอยู่ของตัวอ่อนก่อนการฝังตัวในชั้นเอ็นโดมีเทรียม ชั้นไมโอมีเทรียมเป็นชั้นกล้ามเนื้อเรียบมี 2 ชั้น ชั้นในเป็นกล้ามเนื้อวงแหวน (circular layer) มีลักษณะแข็งและหนา ส่วนกล้ามเนื้อชั้นนอกจะเป็นกล้ามเนื้อทางยาว (longitudinal layer) ระหว่างชั้นกล้ามเนื้อทั้งสองเป็นส่วนของเส้นเลือดและเส้นประสาท การบีบตัวของกล้ามเนื้อเรียบอย่างเป็นจังหวะมีส่วนสำคัญในการส่งผ่านเซลล์อสุจิและการคลอด

ชั้นเพอริมีเทรียม เป็นส่วนชั้นนอกสุดของมดลูก ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนของมดลูก

มดลูกมีหน้าที่สำคัญคือ

ก.เป็นทางผ่านของเซลล์อสุจิเพื่อไปยังจุดที่เกิดการปฏิสนธิในท่อนำไข่ โดยการบีบรัดตัวของกล้ามเนื้อมดลูก

ข.เป็นบริเวณที่เซลล์อสุจิเกิดขบวนการคาพาซิเทชั่น (capacitation) เพื่อเตรียมพร้อมที่จะผสมกับเซลล์ไข่

ค.เป็นบริเวณที่ตัวอ่อนมาฝังตัว และมีการสร้างรก ตัวอ่อนจะเจริญเติบโตจนกระทั่งคลอด

ง.เกี่ยวข้องกับการคลอดและการขับรก โดยเฉพาะส่วนของกล้ามเนื้อมดลูก โดยอิทธิพลของฮอร์โมนเอสโตรเจน ออกซิโตซินและพรอสต้าแกลนดิน

จ.ควบคุมการคงอยู่ของคอร์ปัสลูเตียม บนรังไข่ โดยการผลิตฮอร์โมนพรอสตาแกลนดินเอฟสองอัลฟา ($PGF_{2\alpha}$)

คอมดลูกเป็นส่วนปลายของมดลูก เป็นกล้ามเนื้อที่มีลักษณะคล้ายกับกล้ามเนื้อหูรูด (sphincter like structer) มีผนังหนาแข็งแรง ประกอบด้วยกล้ามเนื้อเรียบ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันพวกคอลลาเจน (collagenous connective tissue) คอมดลูกวางตัวอยู่ในช่องเชิงกรานและเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างช่องคลอดและตัวมดลูก คอมดลูกมีหน้าที่สำคัญ คือ

ก. เกี่ยวข้องกับการส่งผ่านเซลล์อสุจิไปยังมดลูก

ข. เก็บสะสมเซลล์อสุจิที่มีชีวิตบริเวณแอ่งในผนังด้านในของคอมดลูก(cervical crypts)

ค. เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกเซลล์อสุจิที่มีชีวิตและป้องกันไม่ให้ส่งเซลล์อสุจิที่ตายแล้วเข้าไปในมดลูก

ง. ป้องกันสิ่งแปลกปลอมโดยเฉพาะจุลินทรีย์และเชื้อโรคไม่ให้เข้าไปในมดลูก

ช่องทางของคอมดลูกจะถูกปิดตลอดเวลา ยกเว้นในขณะที่เป็นสัด และขณะคลอด ในระยะเกิดการเป็นสัด ผนังในคอมดลูกจะผลิตน้ำเมือกมาก สามารถสังเกตได้จากบริเวณปากช่องคลอด น้ำเมือกผลิตจาก โกลบเลทเซลล์ (goblet cell) ในขณะเป็นสัดน้ำเมือกจะมีลักษณะใสและหนืด แต่ในขณะตั้งท้องน้ำเมือกมีสีขุ่นข้น ทำหน้าที่ในการป้องกันการติดเชื้อจากช่องคลอด ในระหว่างการคลอดกล้ามเนื้อคอมดลูกจะอ่อนตัวและขยายใหญ่มาก ทำให้ช่องว่างในคอมดลูกมีขนาดใหญ่ และตัวอ่อนสามารถเคลื่อนตัวผ่านออกไปได้ การอ่อนตัวของกล้ามเนื้อคอมดลูกเกิดจากอิทธิพลของฮอร์โมนรีแลคซินจากคอร์ปัส ลูเตียม

ช่องคลอด

ช่องคลอดเป็นช่องทางที่เชื่อมต่อระหว่างปากช่องคลอด (vulva) กับคอมดลูก มีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อยืดตัวได้ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ช่องคลอดตอนลึก และช่องคลอดตอนตื้น หรือวาจิเนลเวสทิบลู (vaginal vestibule) โดยใช้จุดเปิดของท่อปัสสาวะ (external urethral

orifice) ที่อยู่ทางตอนล่างช่วงปลายของช่องคลอดเป็นจุดแบ่ง ในสัตว์บางชนิดบริเวณนี้ อาจพบเยื่อพรหมจรรย์หรือไฮเมน (vestigial hymen) ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการผสมพันธุ์ของสัตว์เพศผู้ถ้าเยื่อนี้เจริญดี ส่วนของเวสทิบลูในโคมีความยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ผนังของเวสทิบลูด้านในมีต่อมบาร์โทลิน (bartholin glands) ซึ่งทำหน้าที่ขับน้ำเมือกที่มีลักษณะเหนียวเฉพาะเวลาเป็นสัดจะมีการผลิตน้ำเมือกมากขึ้น ช่องคลอดประกอบด้วยเยื่อบุผิว ชั้นกล้ามเนื้อ และชั้นเซอโรซ่า ชั้นเยื่อบุผิวช่องคลอดจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือขนาดตามอิทธิพลของฮอร์โมนจากรังไข่ หน้าที่สำคัญของช่องคลอด คือ

ก. เป็นส่วนที่รองรับองคชาตของสัตว์เพศผู้ในขณะที่มีการผสมพันธุ์
ข. แหล่งสะสมเซลล์อสุจิเมื่อมีการหลั่งน้ำเชื้อในสัตว์บางชนิด เช่น โค และแกะ
ค. เป็นทางผ่านของเซลล์อสุจิเพื่อไปยังมดลูก และท่อนำไข่
ง. เป็นแหล่งดูดซับของเหลวที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื้อ
จ. เป็นทางออกของรก และตัวอ่อน

ปากช่องคลอดเป็นส่วนประกอบของระบบสืบพันธุ์ส่วนนอกสุด ประกอบด้วย แคมใหญ่ (labia majora) และ แคมเล็ก (labia minora) มีส่วนประกอบคือ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยืดหยุ่นได้ กล้ามเนื้อเรียบรวมทั้งมีต่อมน้ำมันที่ผิวหนังมากมาย (sebaceous glands) ปากช่องคลอดมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะตามวงรอบการเป็นสัด ในขณะเกิดการเป็นสัดปากช่องคลอดจะมีการขยายใหญ่ มีการบวมและมีสีแดงเรื่อ ลักษณะดังกล่าวสังเกตได้ชัดในสุกรที่เป็นสัด

ปุ่มกระสันต์เป็นปุ่มที่อยู่ตอนล่างด้านท้ายของเวสทิบลู มีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นความรู้สึกทางเพศ เนื่องจากที่ปุ่มกระสันต์จะมีปลายประสาทรับความรู้สึกมาหล่อเลี้ยงมากมาย และพบว่าเซลล์ที่เป็นต้นกำเนิดของปุ่มกระสันต์ เป็นเซลล์ชนิดเดียวกันกับที่จะเจริญไปเป็นส่วนขององคชาติในสัตว์เพศผู้

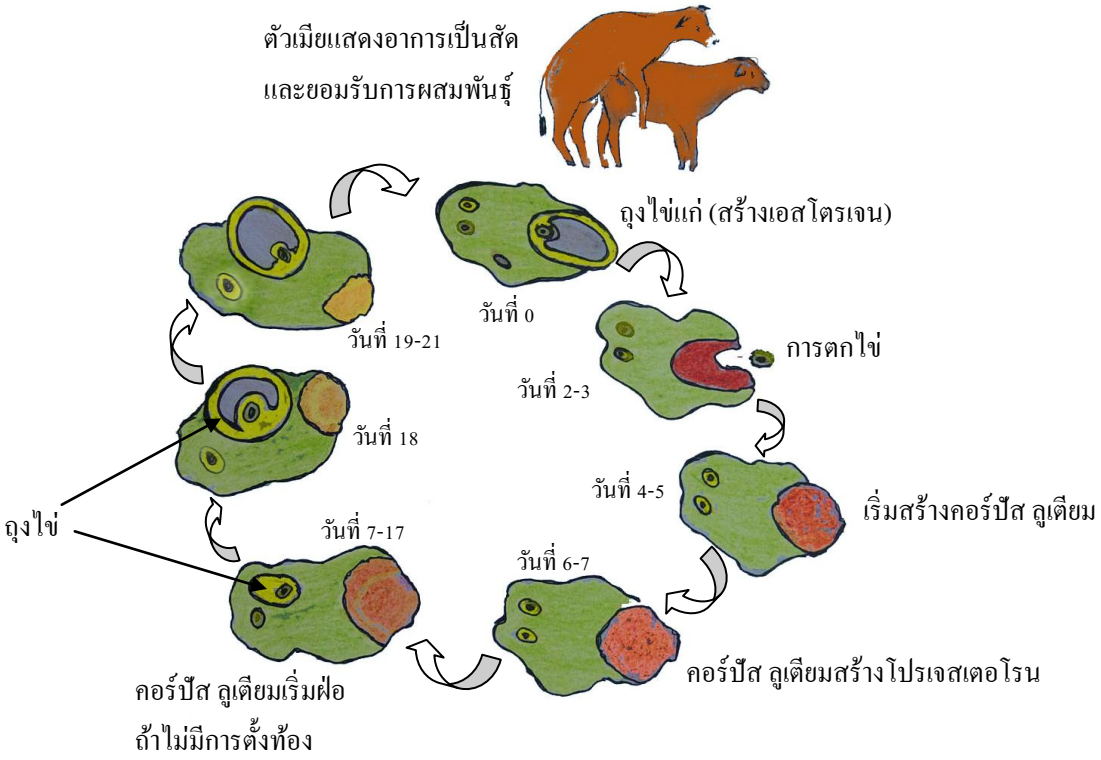
เมื่อสัตว์เพศเมียมีอายุถึงวัยเจริญพันธุ์ สมองส่วนไฮโปธาลามัสจะหลั่งฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการพัฒนาของระบบสืบพันธุ์คือ เอฟเอสเอช และแอลเอช ฮอร์โมนจะมาที่รังไข่ มีผลให้เซลล์ไข่ และถุงไข่มีการพัฒนา(folliculogenesis) จากถุงไข่ระยะแรกเป็นถุงไข่แก่ที่พร้อมจะเกิดการตกไข่ ขณะที่เกิดการพัฒนาของถุงไข่ จะมีการสร้างฮอร์โมนเอสโตรเจนในช่องว่างของถุงไข่ เอสโตรเจนเป็นสเตอรอยฮอร์โมนที่มีผลให้สัตว์เพศเมียแสดงอาการเป็นสัดออกมา เพื่อยอมรับการผสมพันธุ์จากสัตว์เพศผู้ โดยมีการแสดงพฤติกรรมการเป็นสัด ซึ่งเกิดขึ้นอย่างเป็นวงรอบ เรียกว่าวงรอบการเป็นสัด(estrus cycle) วงรอบการเป็นสัดแบ่งออกเป็น 4 ระยะคือ

1.ระยะโปรเอสตรัส (proestrus)เป็นระยะก่อนการเป็นสัด ภายในรังไข่จะมีคอร์ปัส ลูเตียมที่กำลังฝ่อตัว ระดับของฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนจะลดลง และเริ่มมีการพัฒนาของถุงไข่ใบใหม่ ฮอร์โมนเอสโตรเจนเริ่มสูงขึ้นในเลือด ส่วนต่างๆของระบบสืบพันธุ์เริ่มมีการตื่นตัว สัตว์เพศเมียเริ่มมองหาเพศผู้เพื่อการผสมพันธุ์

2.ระยะเอสตรัส (estrus) เป็นระยะที่ระบบสืบพันธุ์มีการตื่นตัวอย่างมาก เนื่องจากอิทธิพลของฮอร์โมนเอสโตรเจนที่เกิดขึ้นมากภายในถุงไข่ สัตว์เพศเมียมีการแสดงพฤติกรรมการเป็นสัดเกิดขึ้น สัตว์เพศเมียจะยืนนิ่งยอมรับการผสมพันธุ์จากสัตว์เพศผู้ ระยะนี้ระดับของเอสโตรเจนในเลือดจะสูงขึ้นมาก

3.ระยะเมทเอสตรัส(metestrus) เป็นระยะที่เอสโตรเจนในเลือดเริ่มลดลง เนื่องจากมีการตกไข่เกิดขึ้นและมีการสร้างคอร์ปัส ลูเตียมจากถุงไข่ที่คงค้างอยู่บนรังไข่ ระดับฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนเริ่มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับผนังเอ็นโดมีเทรียมเจริญพัฒนาเพื่อรองรับการฝังตัวของตัวอ่อน

4.ระยะไดเอสตรัส (diestrus) เป็นระยะที่คอร์ปัส ลูเตียมเจริญเติบโตมาก มีการหลั่งฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนเพิ่มมากขึ้น ต่อมมีท่อและเซลล์เยื่อบุในชั้นเยื่อเมือกของเอ็นโดมีเทรียมจะเจริยเพื่อมากขึ้น



ภาพที่ 12.3 วงรอบการเป็นสัดในโค

นอกจากนี้ฮอร์โมน เอสโตรเจนยังมีผลให้สมองส่วนไฮโปธาลามัสหลั่งฮอร์โมนเอฟเอสเอชลดลง ขณะเดียวกันแอลเอชจะมีผลให้เกิดการตกไข่ เซลล์ไข่จะเดินทางในส่วนของท่อนำไข่ เพื่อรอการปฏิสนธิจากเซลล์อสุจิ ส่วนของฉุงไข่ที่คงค้างอยู่บนรังไข่จะทำหน้าที่สร้างฮอร์โมนโปรเจสเตอโรน ซึ่งทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการมีชีวิตอยู่รอดของตัวอ่อนขณะเจริญเติบโตในมดลูก กรณีที่เซลล์ไข่ที่ตกลงมาในท่อนำไข่ไม่ได้รับการผสมจากเซลล์อสุจิ คอร์ปัส ลูเตียมจะสลายตัวโดยอิทธิพลของฮอร์โมนพรอสต้าแกลนดินเอฟสองแอลฟ่า ที่ผลิตจากเอ็นโดมีเทรียมของมอลูก ระดับฮอร์โมนโปรเจสเตอโรนจะลดลง ซึ่งมีผลให้สมองส่วนไฮโปธาลามัสหลั่งฮอร์โมนหลั่งฮอร์โมนเอฟเอสเอช และแอลเอชออกมา การพัฒนาของฉุงไข่ในวงรอบต่อไปจึงเกิดขึ้นตามมา กรณีที่ไข่ที่ตกมาในท่อนำไข่ได้รับการผสมจากเซลล์อสุจิ ในท่อนำไข่จะเกิดเป็นตัวอ่อน จากนั้นตัวอ่อนจะมีการพัฒนาเป็นลำดับเริ่มจากการคลีเวท(clevage) การเปลี่ยนแปลงของเซลล์เพื่อเจริญเป็นอวัยวะต่างๆ(differentiation) และการเจริญเติบโตของลูกอ่อน(fetus growth) ขณะที่ตัวอ่อนเจริญเติบโตในท้องแม่จะมีการสร้างรกเพื่อทำหน้าที่แทนอวัยวะหลายๆอย่างของตัวอ่อน ในขณะที่ตัวอ่อนกำลังพัฒนาร่างกาย ระยะเวลาตั้งแต่เซลล์ไข่ผสมกับเซลล์อสุจิในขบวนการปฏิสนธิจนกระทั่งลูกสัตว์คลอด เรียกว่าระยะเวลาการตั้งท้อง(gestation period) สัตว์แต่ละชนิดจะมีระยะเวลาการตั้งท้องที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่มาเกี่ยวข้องเช่น จำนวนลูกอ่อนในท้อง เพศของลูกและอายุของแม่เป็นต้น

การคลอดเป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเมื่อลูกอ่อนในท้องเจริญเติบโตเต็มที่และพร้อมที่จะออกมาภายนอกได้ ก่อนคลอดแม่สัตว์จะแยกตัวออกจากฝูง หาที่เงียบๆ เพื่อคลอดลูกสัตว์ สัตว์ที่ออกลูกเป็นครอกจะทำรังเพื่อเตรียมคลอด ระยะก่อนคลอดระดับโปรเจสเตอโรนจะลดต่ำลง เอสโตรเจนและพรอสต้าแกลนดินจะสูงขึ้นเล็กน้อย ฮอร์โมนรีแลคซินจากรังไข่จะมีผลให้เอ็นเชิงกรานคลายตัวเพื่อให้ลูกสัตว์คลอดออกมาได้ง่ายขึ้น แม่สัตว์จะมีการเบ่งเป็นจังหวะและระยะในการเบ่งจะถี่ขึ้นเรื่อยๆ ในขั้นตอนแรกจะมีการบีบตัวของกล้ามเนื้อมดลูกเพียงอย่างเดียว จนกระทั่งมีการแตกของถุงน้ำอันแรกที่มีของเหลวสีเหลือง ลูกสัตว์จะเคลื่อนตัวผ่านมาที่คอมดลูก จากนั้นจะมีการบีบตัวของกล้ามเนื้อท้องร่วมกับกล้ามเนื้อมดลูกในขั้นตอนที่สองของการคลอด โดยมีอิทธิพลของฮอร์โมนออกซิโตซินจากต่อมใต้สมองส่วนท้าย ขั้นตอนที่สามของการคลอดคือการขับรกออก กล้ามเนื้อมดลูกจะบีบตัวอย่างเป็นจังหวะสลับไปมาจากปีกมดลูกมาที่คอมดลูกและจากคอมดลูกไปที่ปีกมดลูก ลักษณะการบีบตัวนี้จะช่วยให้รกหลุดออกจากเอ็นโดมีเทรียมได้ง่าย หลังจากที่ลูกสัตว์คลอกออกมาแม่สัตว์จะอยู่ใกล้ๆ และช่วยพยุงให้ลูกสัตว์ยืนขึ้นเพื่อให้ลูกได้กินนมน้ำเหลือง ที่เป็นอาหารสำคัญสำหรับลูกสัตว์ หลังจากที่รกถูกขับออกจากร่างกายตัวแม่ ส่วนของมดลูกจะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้มีความพร้อมในการสืบพันธุ์ในวงรอบการเป็นสัดรอบต่อไป เรียกขบวนการดังกล่าวว่า การกลับเข้าอู่ของมดลูก เป็นการบีบตัวของมดลูกเพื่อลดขนาดของเซลล์ในชั้นเอ็นโดมีเทรียมและชั้นไมโอมีเทรียม

ระบบสืบพันธุ์สัตว์เพศผู้(Male reproductive organs)

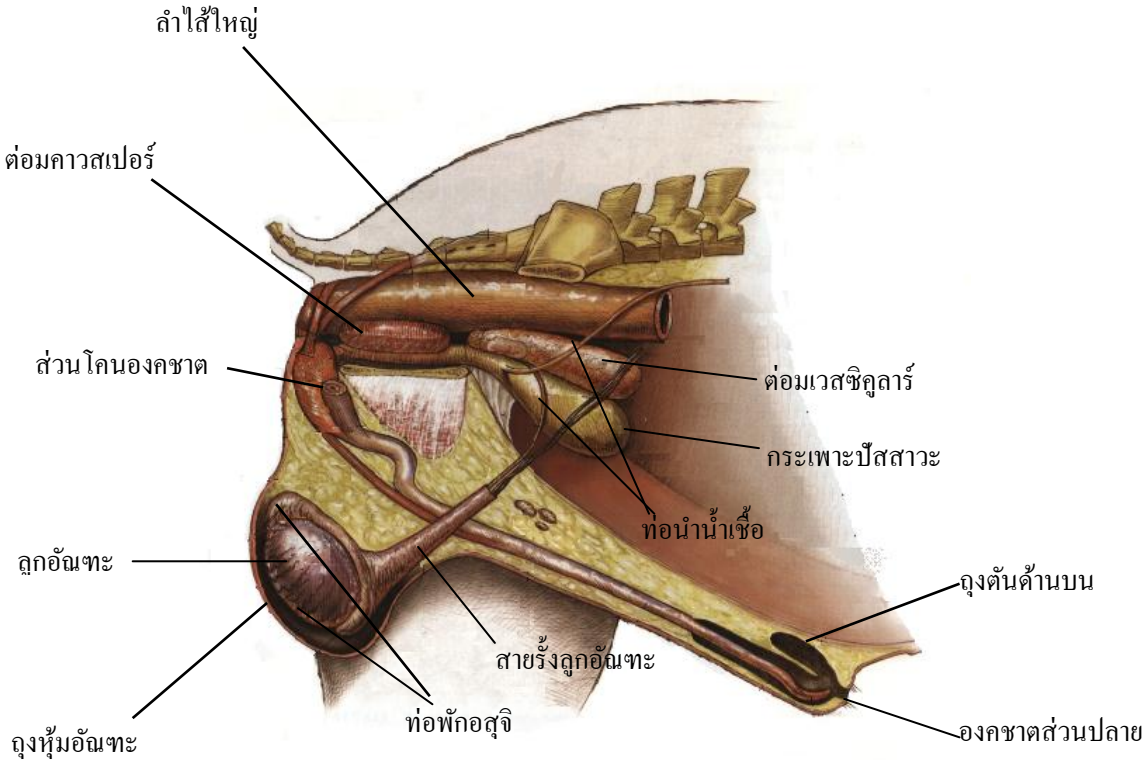
ระบบสืบพันธุ์สัตว์เพศผู้มีหน้าที่สร้างเซลล์สืบพันธุ์ และ ฮอร์โมนเพศผู้ ส่วนประกอบของระบบสืบพันธุ์ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดจะคล้ายคลึงกัน ประกอบด้วยอวัยวะสืบพันธุ์ส่วนต่างๆ คือ อัณฑะ (testis) 1 คู่ ระบบท่อส่งน้ำเชื้อ (duct system) ต่อมร่วม (accessory glands) และอวัยวะที่ใช้ในการผสมพันธุ์ (copulatory organ) เป็นต้น

ถุงหุ้มอัณฑะ

ถุงหุ้มอัณฑะ (scrotum) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มลูกอัณฑะเพื่อป้องกันอันตรายจากภายนอก และช่วยควบคุมอุณหภูมิของลูกอัณฑะ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อหลายชั้น เนื้อเยื่อชั้นนอกสุด เป็นชั้นหนังกำพร้า (epidermis) ชั้นถัดลงไปเป็นชั้นของหนังแท้ (dermis) ชั้นของทูนิกา ดาโตส (tunica dartos) ซึ่งเป็นชั้นกล้ามเนื้อ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่รวมกันอยู่อย่างหลวมๆ ทำหน้าที่สำคัญในการควบคุมอุณหภูมิของลูกอัณฑะ และแบ่งแยกอัณฑะแต่ละข้างออกจากกันตรงส่วนก้นกระเปาะของทูนิกา ดาโตส ชั้นถัดเข้าไปเป็นชั้นทูนิกา วาจินาลิส (tunica vaginalis) เป็นชั้นที่มีเนื้อเยื่อหนา ไม่มีความยืดหยุ่น มีเส้นเลือดดำและเส้นเลือดแดงมาหล่อเลี้ยงมากมาย ถัดจากทูนิกา วาจินาลิสเข้าไปเป็นชั้นของทูนิกา อาลบูจิเนีย (tunica albuginea) ระหว่างทูนิกาวาจินาลิส และทูนิกาอาลบูจิเนียจะมีของเหลวใส่หล่อลื่นอยู่ ชั้นทูนิกาอาจบูจิเนีย เป็นชั้นที่อยู่ติดกับเนื้ออัณฑะ ทำหน้าที่ห่อหุ้มให้อัณฑะคงรูปอยู่ได้

อัณฑะ

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยกเว้น ช้าง อัณฑะจะอยู่ภายในถุงหุ้มอัณฑะอยู่ภายนอกร่างกาย เนื้ออัณฑะเจริญพัฒนามาจากส่วนของเจนนิเทิล รีจ (genital ridge) ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ใกล้กับเนื้อเยื่อที่เจริญไปเป็นไต ก่อนคลอดลูกอัณฑะจะถูกดึงลงมาอยู่ในถุงหุ้มอัณฑะโดยอาศัยกลไกของกลูเบอร์นาคูลัม (gubernaculum testis) อัณฑะมีหน้าที่ ผลิตเซลล์เซลล์อสุจิ (sperm) และผลิตฮอร์โมนเพศผู้ (androgen) ในสัตว์เลี้ยงแต่ละชนิดอัณฑะจะมีรูปร่าง ขนาด และตำแหน่งบนร่างกายที่แตกต่างกันไป เช่น ในโคมีอัณฑะคล้ายรูปไข่ (ovoid) ห้อยอยู่บริเวณใต้ท้อง ในสุกรอัณฑะจะมีตำแหน่งค่อนมาทางข้างหลังใต้ทวารหนัก และอยู่ชิดกับลำตัว



ภาพที่ 12.4 อวัยวะสืบพันธุ์สุกรเพศผู้

ที่มา : McCracken และ คณะ, 1999

เนื้ออัณฑะ (testicular parenchyma) ประกอบด้วยท่อสร้างเซลล์อสุจิ (seminiferous tubules) และเซลล์ที่อยู่ระหว่างท่อสร้างเซลล์อสุจิ (interstitial cells) เช่น เลย์ดิกเซลล์ (leydig

cell) ทำหน้าที่ผลิตฮอร์โมนเพศผู้ นอกจากนี้มีเส้นเลือด เส้นน้ำเหลือง และเส้นประสาทที่มาหล่อเลี้ยงเนื้ออัณฑะด้วย ท่อสร้างเซลล์อสุจิแต่ละท่อจะมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก มีความยาวมาก และมีปลายเปิดที่ท่อร่างแห (rete testis)

ท่อสร้างเซลล์อสุจิประกอบด้วยเซลล์ 2 ประเภท คือ เซลล์ที่จะเจริญไปเป็นเซลล์อสุจิ (spermatogenic cell) และเซลล์พี่เลี้ยง (sertoli cell หรือ nutrient cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ทำหน้าที่ผลิตของเหลว ใช้หล่อเลี้ยงเซลล์อสุจิโดยถูกใช้เป็นแหล่งพลังงาน และช่วยพยุงตัวอสุจิให้ลอยอยู่ในช่องว่างของท่อสร้างเซลล์อสุจิได้

ท่อพักอสุจิ

ท่อพักอสุจิเป็นท่อยาวขนาดเล็กๆ อยู่ใต้ชั้นของทูนิกา วาจินาลิส เชื่อมต่อระหว่างท่อร่างแหและท่อนำอสุจิ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (caput epididymis) เป็นท่อที่ต่อมาจากท่อร่างแห (rete testis) ของอัณฑะ ประกอบด้วยท่อเล็กๆ 6-20 ท่อ โดยรวมกันอยู่ที่ขั้วอัณฑะด้านหนึ่ง ในโคส่วนหัวของท่อพักอสุจิจะอยู่บริเวณส่วนปลายด้านบนของอัณฑะ และมีลักษณะคล้ายรูปตัวยู (u-shape) , ส่วนลำตัว (corpus epididymis) เป็นท่อพักส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างท่อพักอสุจิส่วนหัวและท่อพักอสุจิส่วนหาง โดยทั่วไปจะมีลักษณะขดไปมาไม่มากนัก และแนบยาวติดตามความยาวของลูกอัณฑะ และส่วนหาง (cauda epididymis) เป็นส่วนของท่อพักอสุจิที่เชื่อมต่อระหว่างท่อพักอสุจิส่วนลำตัว และท่อนำน้ำเชื้อ

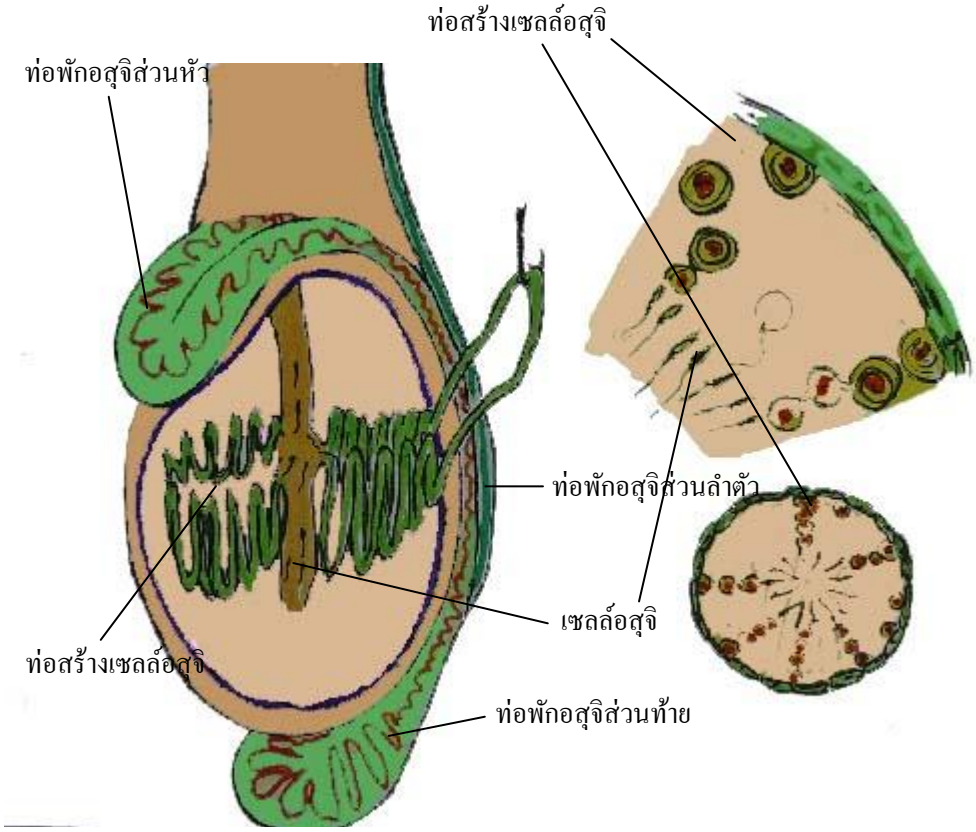
โครงสร้างของท่อพักอสุจิ ประกอบด้วยชั้นเยื่อบุผิวภายในมีเยื่อบุผิวที่มีขน ชนิดของเซลล์เยื่อบุจะแตกต่างกันไปตามส่วนของท่อพัก ท่อพักอสุจิส่วนหัวเป็นบริเวณที่มีเซลล์ที่มีลักษณะขนยาวเกือบเต็มช่องว่างในท่อ แต่ท่อพักอสุจิส่วนหางที่มีเซลล์ที่มีขนสั้นอยู่ทั่วไป เนื้อเยื่อชั้นกลางคือกล้ามเนื้อเรียบ และชั้นนอกคือ ชั้นเซอโรซ่า ท่อพักอสุจิ มีหน้าที่ คือ

ก.ลำเลียงเซลล์อสุจิจากอัณฑะเพื่อส่งผ่านไปยังท่อนำน้ำเชื้อ ระยะเวลาที่ใช้ในการลำเลียงเซลล์อสุจิ จะแตกต่างกันไปในสัตว์แต่ละชนิด และ ความถี่ในการรีดเก็บน้ำเชื้อ

ข.ทำให้น้ำเชื้อมีความเข้มข้น เยื่อบุผิวของท่อพักอสุจิทำหน้าที่ดูดน้ำและของเหลวออกจากส่วนผสมที่ได้จากท่อสร้างเซลล์อสุจิ ความสามารถในการดูดน้ำของแต่ละส่วนของท่อพักอสุจิแตกต่างกันไป โดยเฉพาะท่อพักอสุจิส่วนหัวและตอนต้นของท่อพักอสุจิส่วนลำตัว ประมาณกันว่าจะสามารถทำให้น้ำเชื้อเข้มข้นขึ้นได้ประมาณ 40 เท่า

ค.เป็นแหล่งสะสมเซลล์อสุจิ โดยจะถูกเก็บสะสมไว้ที่ท่อพักอสุจิส่วนท้ายเป็นส่วนใหญ่ในพ่อแกะ ถ้านับเฉพาะเซลล์อสุจิที่อยู่นอกอัณฑะประมาณ ร้อยละ 15 เก็บไว้ที่ท่อพักอสุจิส่วนหัว ร้อยละ 4 เก็บไว้ที่ท่อพักอสุจิส่วนลำตัว และร้อยละ 68 ถูกเก็บไว้ที่ท่อพักอสุจิส่วนหาง

ง.เป็นแหล่งที่เซลล์อสุจิเจริญเต็มวัย ทำให้มีความสามารถในการผสมติดสูงขึ้น ในสุกร พบว่า ตัวอสุจิในท่อพักอสุจิส่วนหาง มีความสามารถในการผสมติดสูงกว่าตัวอสุจิในท่อพักอสุจิส่วนลำตัว



ภาพที่ 12.5 ระบบท่อในส่วนอัณฑะของโค

ดัดแปลงจาก : Garner and Hafez., 1987

เป็นท่อที่เชื่อมต่อระหว่างท่อพักอสุจิส่วนหางและท่อปัสสาวะส่วนต้น ท่อนำน้ำเชื้อจะเข้าสู่ช่องท้องทางช่องขาหนีบ (inguinal canal) โดยรวมอยู่ในโครงสร้างของสายรั้งลูกอัณฑะ (spermatic cord) ซึ่งประกอบด้วย เส้นเลือด เส้นประสาท ท่อน้ำเหลือง กล้ามเนื้อครีมาสเตอร์ (cremaster muscle) และท่อนำน้ำเชื้อ ส่วนประกอบทั้งหมดจะรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม โดยมีชั้นของทูนีกา วาจีนาลีส ที่ล้อมรอบเนื้ออัณฑะห่อหุ้มอยู่ ท่อนำน้ำเชื้อเมื่อเข้าสู่ช่องท้องจะต้องแยกตัวออกจากส่วนอื่น แล้วเข้าต่อกับท่อปัสสาวะส่วนต้น ตอนปลายของท่อปัสสาวะขยายตัวโป่งออกเป็นกระเปาะ เรียกว่า แอมพูลา (ampulla) เชื่อกันว่าถูกใช้เป็นที่เก็บสะสมเซลล์อสุจิได้สำหรับสัตว์บางชนิด หน้าที่สำคัญของท่อนำน้ำเชื้อ คือ เกี่ยวข้องกับส่งผ่านเซลล์อสุจิไปยังท่อปัสสาวะเมื่อจะมีการหลั่งน้ำเชื้อ

ในการสร้างเซลล์อสุจินั้นอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิของลูกอัณฑะต้องต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกายเล็กน้อย และควรมีอุณหภูมิที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ร่างกายจึงต้องมีกลไกในการควบคุมอุณหภูมิของลูกอัณฑะ เพื่อให้ขบวนการสร้างเซลล์อสุจิในอัณฑะดำเนินไปได้ สายรั้งลูกอัณฑะและถุงหุ้มอัณฑะเป็นส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมอุณหภูมิของลูกอัณฑะ คือ

ก.กลไกการระเหยของน้ำที่ผิวของถุงหุ้มอัณฑะ โดยต่อมเหงื่อที่มีอยู่ทั่วไปที่ผิวของถุงหุ้มอัณฑะ ทำหน้าที่สำคัญในการระบายความร้อนจากลูกอัณฑะ โดยการขับเหงื่อ หรือน้ำออกมา

ข.กลไกการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อชั้นในทูนิกา ดาโตส โดยกล้ามเนื้อเล็กๆที่กระจายอยู่โดยรอบในชั้นของทูนิกา ดาโตส เมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงกว่าปกติ กล้ามเนื้อในส่วนนี้จะขยายตัวหรือคลายตัว ทำให้พื้นที่ผิวของถุงหุ้มอัณฑะเพิ่มมากขึ้น ถุงหุ้มอัณฑะจะบางลง ทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น และลูกอัณฑะจะห้อยยานอยู่ห่างจากลำตัวมากขึ้น

ค.กล้ามเนื้อครีมาสเตอร์ในส่วนของสายรั้งลูกอัณฑะ เป็นส่วนที่ช่วยทำให้อัณฑะมีอุณหภูมิคงที่ได้โดยการยืดหรือหดตัว ให้ลูกอัณฑะเข้าชิดหรือห่างจากลำตัวได้ โดยเฉพาะในพ่อม้ามีกล้ามเนื้อที่สำคัญคือ อินเทอร์เนอร์ ครีมาสเตอร์ (internal cremaster) ทำหน้าที่ช่วยดึงหรือหย่อนตัวให้ลูกอัณฑะเข้าชิดหรือห่างจากลำตัวได้

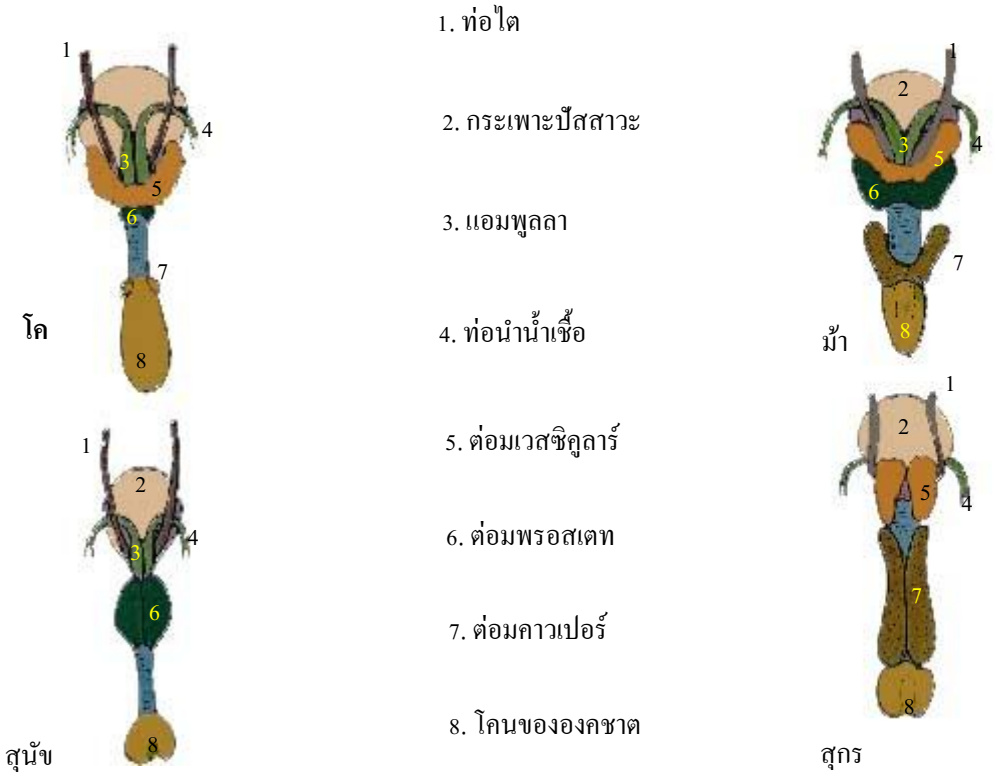
ง.กลไกการขดวนเวียนไปมาของเส้นเลือดที่มาหล่อเลี้ยงลูกอัณฑะ โดยเส้นเลือดดำที่นำเลือดเข้าสู่ร่างกายเป็นเส้นเลือดที่มีขนาดใหญ่ และมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิร่างกาย แต่เส้นเลือดแดงที่นำเลือดออกจากร่างกายมาหล่อเลี้ยงลูกอัณฑะ เป็นเส้นเลือดแดงขนาดเล็กที่กระจายอยู่และถูกล้อมรอบเส้นเลือดดำ ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากเส้นเลือดแดงที่ออกจากร่างกายไปให้เส้นเลือดดำ การลดความร้อนดังกล่าวทำให้เส้นเลือดแดงที่เข้าไปหล่อเลี้ยงเนื้ออัณฑะมีอุณหภูมิลดลงพอเหมาะกับอุณหภูมิของอัณฑะ ส่วนเส้นเลือดดำที่เข้าสู่ร่างกาย จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิร่างกาย เนื่องจากรับความร้อนที่ถ่ายเทมาจากเส้นเลือดแดง

ต่อมร่วม

ต่อมร่วม หมายถึง ส่วนของระบบสืบพันธุ์สัตว์เพศผู้ที่ทำหน้าที่ในการผลิตของเหลว หรือน้ำคัดหลั่งที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเชื้อ มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของเซลล์อสุจิ ประกอบด้วยต่อมที่สำคัญ 3 ต่อม คือ ต่อมเวสซิคูลาร์ (vesicular gland) ต่อมพรอสเตท (prostate gland) และต่อมคาวสเปอร์ (cowper's gland) ในสัตว์แต่ละชนิด ขนาด ตำแหน่ง ลักษณะและรูปร่าง ของต่อมร่วมจะแตกต่างกันไป

ต่อมเวสซิคูลาร์ หรือ ต่อมเซมินอล เวสซิเคิล (seminal vesicle) เป็นต่อมคู่ขนาบอยู่ทั้งสองข้างของท่อนำน้ำเชื้อตอนปลาย ขนาดและรูปร่างของต่อมนี้ในสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป ในโคและสุกรต่อมนี้จะมีลักษณะเป็นก้อนๆเล็กๆรวมกันอยู่ ต่อมเวสซิคูลาร์ผลิตน้ำคัดหลั่งที่ประกอบด้วยน้ำตาลฟรุกโตส (fructose) ซอร์บิทอล (sorbital) อินโนซิตอล (inositol) และเออร์โกไธโอนิน (ergothionine) เป็นต้น

ต่อมพรอสเตท มีลักษณะเป็นต่อมเดี่ยวอยู่โดยรอบของท่อปัสสาวะ อาจแบ่งได้เป็น 2 สวน คือ ส่วนที่อยู่รอบท่อปัสสาวะ ซึ่งนับเป็นส่วนนอกหรือส่วนลำตัวของต่อม และส่วนที่อยู่ใต้ชั้นกล้ามเนื้อของท่อปัสสาวะ ต่อมนี้ทำหน้าที่สำคัญในการผลิตน้ำคัดหลั่งที่มีประจุอนินทรีย์สูง (inorganic ion) เช่น โซเดียมไอออน แคลเซี่ยมไอออน และคลอไรด์ไอออน เป็นต้น



ภาพที่ 12.6 ส่วนประกอบของต่อมร่วมในช่องเชิงกรานเมื่อมองจากด้านบน

ดัดแปลงจาก : Meijier and Van Vlissingen., 1993

ต่อมคาวสเปอร์ เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า ต่อมบลูโบยูรีธรัล (bulbourethral gland) เป็นต่อมคู่ที่อยู่ด้านบนของท่อปัสสาวะ ในพ่อโคต่อมนี้จะถูกปกคลุมด้วยกล้ามเนื้อบลูโบสปองจิโอซัส (bulbospongiosus muscle) เชื่อกันว่าทำหน้าที่ในการผลิตน้ำคัดหลั่งเพื่อขับปัสสาวะที่ค้างอยู่ใน

ท่อปัสสาวะก่อนที่มีการหลั่งน้ำเชื้อ จัดว่าเป็นการทำความสะอาดท่อปัสสาวะก่อนที่จะมีการหลั่งน้ำเชื้อจริง ในสุกรต่อมนี้จะมีขนาดใหญ่มาก วางตัวอยู่บนท่อปัสสาวะส่วนต้น ทำหน้าที่สำคัญในการผลิตเม็ดสาคู (gel-like component) ซึ่งช่วยป้องกันการไหลกลับของน้ำเชื้อ จากระบบสืบพันธุ์เพศเมียหลังจากมีการหลั่งน้ำเชื้อ ในสุกรสามารถใช้ความแตกต่างของต่อมนี้ในการแยกสุกรที่ตอนจากสุกรที่ไม่ได้ตอนได้เมื่อล้วงคลำผ่านทางทวารหนัก

ท่อปัสสาวะ

ท่อปัสสาวะเป็นท่อยาวในโครงสร้างขององคชาตใช้เป็นทางผ่านของเซลล์อสุจิขณะมีการผสมพันธุ์ ทำหน้าที่สำคัญของท่อปัสสาวะคือการขับน้ำปัสสาวะและการหลั่งน้ำเชื้อ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ท่อปัสสาวะส่วนต้น หรือส่วนพิววิกค์ (pelvic urethra) เป็นส่วนของท่อปัสสาวะที่วางตัวบนพื้นกระดูกเชิงกราน ท่อปัสสาวะส่วนนี้จะมีกล้ามเนื้อหนาห่อหุ้มอยู่ และเป็นบริเวณที่มีการรวมกันระหว่างน้ำคัดหลั่งจากต่อมร่วม และเซลล์อสุจิจากท่อนำน้ำเชื้อก่อนที่จะมีการหลั่งน้ำเชื้อ (ejaculation) เรียกว่า ขบวนการอิลมิสชั่น (emission) ส่วนถัดมาคือ ท่อปัสสาวะส่วนกลาง (bulk of urethra) เป็นส่วนของท่อปัสสาวะที่อยู่ในส่วนขององคชาติ ซึ่งมีลักษณะโค้งงอ ส่วนที่สาม คือ ท่อปัสสาวะส่วนปลายซึ่งอยู่ในส่วนขององคชาติเช่นกัน

องคชาตและหนังหุ้ม

องคชาต (penis) เป็นส่วนของอวัยวะที่ใช้ในการผสมพันธุ์ (copulatory organ) ซึ่งทำหน้าที่ในการหลั่งน้ำเชื้อและปัสสาวะ ในสัตว์เศรษฐกิจยกเว้น สุนัข ส่วนองคชาตจำเป็นจะต้องมีการแข็งตัวก่อน จึงจะสอดใส่เข้าไปในช่องคลอดของสัตว์เพศเมีย และหลั่งน้ำเชื้อได้ การแข็งตัวขององคชาตเกิดจากการขยายตัวของส่วนที่เป็นโพรงขององคชาต เนื่องจากการคั่งของเลือดที่มาหล่อเลี้ยง ร่วมกับการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ส่วนโคนขององคชาต และส่วนที่เป็นโพรงขององคชาต ส่วนประกอบที่เป็นโพรง (cavernous body) ขององคชาตที่ห่อหุ้มล้อมรอบท่อปัสสาวะเป็นส่วนที่ ทำให้เกิดเป็นรูปร่างขององคชาตขึ้นมาแบ่งออกเป็น 3 ส่วนสำคัญคือ

ก.คอร์ปัส คาเวอร์โนซุ่ม พินิส (corpus carvernosum penis) เป็นโพรงใหญ่ซึ่งมีตำแหน่งอยู่ด้านบนของท่อปัสสาวะ ส่วนนี้จะขยายตัวได้มากเมื่อมีเลือดมาคั่ง

ข.คอร์ปัส สปองจิโอซุ่ม พินิส (corpus spongiosum penis) เป็นโพรงอยู่ตอนล่างของท่อปัสสาวะโดยรอบ ขยายตัวเมื่อมีเลือดมาคั่งเช่นเดียวกับ คอร์ปัส คาเวอร์โนซุ่ม พินิส แต่อัตราการขยายตัวน้อยกว่า

ค.คอร์ปัส สปองจิโอซุ่ม แกลนดิส (corpus spongiosum glandis) เป็นส่วนของโพรงที่เจริญมาจากเนื้อเยื่อใต้ผิวหนังขององคชาต ส่วนที่ไม่ติดกับหนังหุ้ม ส่วนนี้เฉพาะในสัตว์บางชนิดเท่านั้น เช่น ในพ่อม้า

องคชาตแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนโคน (root) ส่วนลำตัว (body) และส่วนปลายขององคชาต (glans penis) ส่วนปลายขององคชาตเป็นบริเวณที่มีปลายเปิดของท่อปัสสาวะปรากฏอยู่ บริเวณส่วนปลายขององคชาตมีหนังหุ้มองคชาต (prepuce) ปกคลุมอยู่ แบ่งออกได้สองส่วน คือ หนังส่วนที่ติดกับองคชาต (penile prepuce) และหนังส่วนที่ยื่นพ้นองคชาต (prepenile prepuce) บริเวณหนังหุ้มองคชาตของสุกรมีถุงตันเจริญอยู่ภายใน เป็นบริเวณที่มีการสะสมน้ำปัสสาวะและเศษเยื่อบุผิว ทำให้เกิดการหมักหมม และเป็นแหล่งแพร่เชื้อโรค องคชาตในส่วนอิสระสามารถสังเกตเห็นได้ เมื่อสัตว์มีการตื่นตัวทางเพศ ทำให้องคชาตแข็งตัว และยืดยาวออกมาแต่ส่วนหนังหุ้มองคชาตร่นไปอยู่ด้านหลัง ในการผสมพันธุ์เมื่อสัตว์เพศผู้ก่อนการหลั่งน้ำเชื้อมีการผสมกันระหว่างเซลล์อสุจิจากท่อนำน้ำเชื้อ และของเหลวหรือน้ำคัดหลั่งจากต่อมร่วมที่ท่อปัสสาวะส่วนต้น และเกิดการหลั่งน้ำเชื้อในระบบสืบพันธุ์เพศเมีย

บทที่ 13
ระบบรับความรู้สึก
Sensory system

ระบบรับความรู้สึกเป็นระบบที่ร่างกายสร้างขึ้นมา เพื่อทำหน้าที่ในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นร่างกาย มีผลให้สัตว์สามารถปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และมีชีวิตอยู่รอดได้ ในสัตว์เลี้ยงทุกชนิดมีอวัยวะที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการรับความรู้สึก เรียกว่าอวัยวะรับความรู้สึก หรืออวัยวะรับสัมผัส (sensory organ) ทำหน้าที่รับความรู้สึกที่ได้จากการกระตุ้นของสิ่งเร้า รวมทั้งเกี่ยวข้องกับการตอบสนองต่อสิ่งเร้าโดยการทำงานร่วมกับระบบประสาท

อวัยวะรับความรู้สึกมีลักษณะพื้นฐานที่สำคัญประกอบด้วยเซลล์รับความรู้สึก หรือตัวรับความรู้สึก (sensory cell) ที่เป็นส่วนของปลายประสาทรับความรู้สึกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไปเพื่อทำหน้าที่รับความรู้สึกต่างๆ และสามารถส่งกระแสประสาทได้ ส่วนของอวัยวะรับความรู้สึกที่ทำหน้าที่รับความรู้สึก หรือรับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าต่างๆ ทั้งสิ่งเร้าภายในและภายนอกร่างกาย เรียกว่าตัวรับความรู้สึก(receptor) โดยทั่วไปตัวรับความรู้สึกเป็นส่วนของปลายของเส้นประสาทรับความรู้สึกที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างไป เพื่อทำหน้าที่พิเศษ หลังจากที่ได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าจะ

ส่งกระแสประสาทไปที่สมอง เพื่อให้สมองแปลความและส่งกระแสประสาทสั่งการมาที่อวัยวะเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า อวัยวะรับความรู้สึกในร่างกายสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. อวัยวะรับความรู้สึกทั่วๆไป (general sensory organ) ได้แก่ ผิวหนัง กล้ามเนื้อ ข้อต่อต่างๆในร่างกายและอวัยวะภายใน เป็นต้น

2.อวัยวะรับความรู้สึกพิเศษ (special sensory organ) ได้แก่ ตา ลิ้น จมูก และหู เป็นต้น

ชนิดของความรู้สึกที่ร่างกายสามารถรับรู้ได้ จึงอาจแบ่งออกได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.ความรู้สึกทั่วๆไป เป็นความรู้สึกจากส่วนนอกของร่างกายเช่นความรู้สึกที่ผิวหนัง หรือความรู้สึกจากอวัยวะภายในร่างกายเช่นความรู้สึกจากการสัมผัส ความรู้สึกเจ็บปวด ความรู้สึกจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความร้อน ความหนาว และการเปลี่ยนแปลงท่าทาง หรือการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอวัยวะในร่างกาย

2.ความรู้สึกพิเศษ ได้แก่การมองเห็นภาพ การได้ยินเสียง การได้รับรสชาดอาหาร การได้รับกลิ่น และการรับรู้สมดุลของร่างกาย

ตัวรับความรู้สึกที่เป็นส่วนของร่างกายที่ใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างร่างกายกับภายนอก สามารถแบ่งออกตามตำแหน่งในร่างกาย และแบ่งออกตามสิ่งที่มากระตุ้น ดังนี้

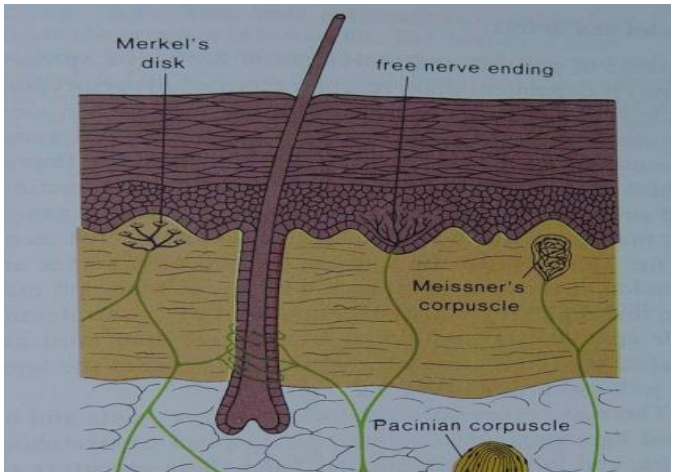
1.การแบ่งประเภทตัวรับความรู้สึกตามตำแหน่งในร่างกาย อาจแบ่งตัวรับความรู้สึกเป็นความรู้สึกจากการสัมผัส ความเจ็บปวด ความร้อน ความเย็น หรือตัวรับความรู้สึกจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น

ก.ตัวรับความรู้สึกที่ตอบสนองต่อการกระตุ้นจากภายนอกของร่างกาย (exteroreceptor)เช่นตัวรับความรู้สึกสัมผัส การเจ็บปวด อุณหภูมิ

ข.ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อแรงกด ตัวรับความรู้สึกจากการเจ็บปวดและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในร่างกาย(interoreceptor)

ค.ตัวรับความรู้สึกที่รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าที่มาจากระยะไกล(teloreceptor)เช่นตัวรับแสง และเสียง

ง.ตัวรับความรู้สึกที่เกี่ยวกับตำแหน่งของส่วนต่างๆของร่างกาย(propioceptor)



2.การแบ่งประเภทของตัวรับความรู้สึกตามสิ่งที่มากระตุ้นได้แก่

ก.ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง(mechanoceptor)เป็นตัวรับความรู้สึกที่พบได้ตามผิวหนัง กล้ามเนื้อ หรือที่ผนังอวัยวะภายใน เช่น meissner's corpuscles, paccinian corpuscle, muscle spindles และ golgi tender organ เป็นต้น

ข.ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemoreceptor) เป็นตัวรับความรู้สึกรับกลิ่นที่พบในโพรงจมูก

ค.ตัวรับความรู้สึกเกี่ยวกับแสง(photoreceptor) พบในเรตินาของลูกตา ใช้รับแสงและเปลี่ยนเป็นกระแสประสาทส่งไปสมองเพื่อให้ตอบสนอง

ง.ตัวรับความรู้สึกที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ(thermoreceptor)

จ.ตัวรับความรู้สึกที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงความดัน(bororeceptor) พบได้ที่ผนังของหลอดเลือดแดง

ฉ.ตัวรับความรู้สึกที่ตอบสนองต่อการถูกทำลายของเนื้อเยื่อ(nocceptor)

การมองเห็นภาพ (sensory of vision)

การมองเห็นภาพเกี่ยวข้องกับอวัยวะรับสัมผัสพิเศษคือลูกตา และโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็น ลูกตาเป็นส่วนของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นที่สำคัญ มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีตำแหน่งอยู่ในเบ้าตาหรือกระบอกตา (orbit) มีกล้ามเนื้อยึดลูกตาอยู่ ทำให้ลูกตากลอกไปมาได้ ด้านหน้าของลูกตาเป็นส่วนที่เปิดสู่ภายนอก ส่วนที่เหลือถูกปกคลุมด้วยกระบอกตา เนื้อเยื่อลูกตาแบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น

1.ชั้นนอกสุด หรือ ชั้นสเกอรา (sclera) ส่วนใหญ่เป็นส่วนตาขาว ตาดำเป็นส่วนที่คลุมตาขาวอยู่เรียกว่า แก้วตาหรือกระจกตา (cornea) ซึ่งเป็นทางผ่านของแสงเพื่อเข้าสู่ตาชั้นใน ตาขาว

ประกอบด้วย fibrous tissues เป็นส่วนที่ทำให้ลูกตามีรูปร่างและคงรูปอยู่ได้ รวมทั้งช่วยป้องกันโครงสร้างภายในของลูกตา ผิวด้านหลังของตาขาวมีเส้นประสาทตา (optic nerve) แทงทะลุเข้ามาในกระบอกตา กระจกตาจะปกคลุมม่านตา (iris)ไว้ ส่วนนี้จะไม่มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงแต่จะมีเซลล์ประสาทและ transparent fibrous coat เป็นส่วนประกอบ

2.ชั้นกลาง หรือชั้น choriod เป็นชั้นเยื่อบางๆเป็นบริเวณที่มีเส้นเลือดที่มาหล่อเลี้ยงลูกตา แบ่งออกได้เป็น 3 ชั้น คือ choroids, ciliary body และ iris

ก.ชั้นchoroids เป็นชั้นที่มีเส้นเลือดมาหล่อเลี้ยงลูกตาอยู่ถัดจากชั้นสเกอราเข้ามาทางด้านใน

ข.ชั้นciliary body ประอบด้วยกล้ามเนื้อลูกตา (ciliary muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ช่วยในการบีบเลนส์ตา เพื่อปรับให้การมองเห็นภาพชัดเจนขึ้น และเป็นส่วนที่หนาที่สุดของชั้นกลาง

ค.ม่านตา (iris) เป็นส่วนที่อยู่หน้าเลนส์ตา มีสีดำ น้ำตาล ทำหน้าที่ในการปรับแสงให้เข้าสู่ตาทางรูเล็กๆเรียกว่ารูม่านตา (pupil) ซึ่งอยู่ตรงกลางม่านตา ขนาดของรูม่านตาถูกควบคุมด้วยกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ circular muscle และ sphincter pupillae เป็นกล้ามเนื้อที่เรียงต่อกันเป็นวงกลม และกล้ามเนื้อที่เรียงตัวกันเป็นรัศมีโดยรอบเรียกว่า radial muscle ถ้าแสงมากรูม่านตาจะเล็กถ้าแสงน้อยรูม่านตาจะขยายใหญ่ขึ้น เพื่อให้แสงเข้าสู่ลูกตามากขึ้น

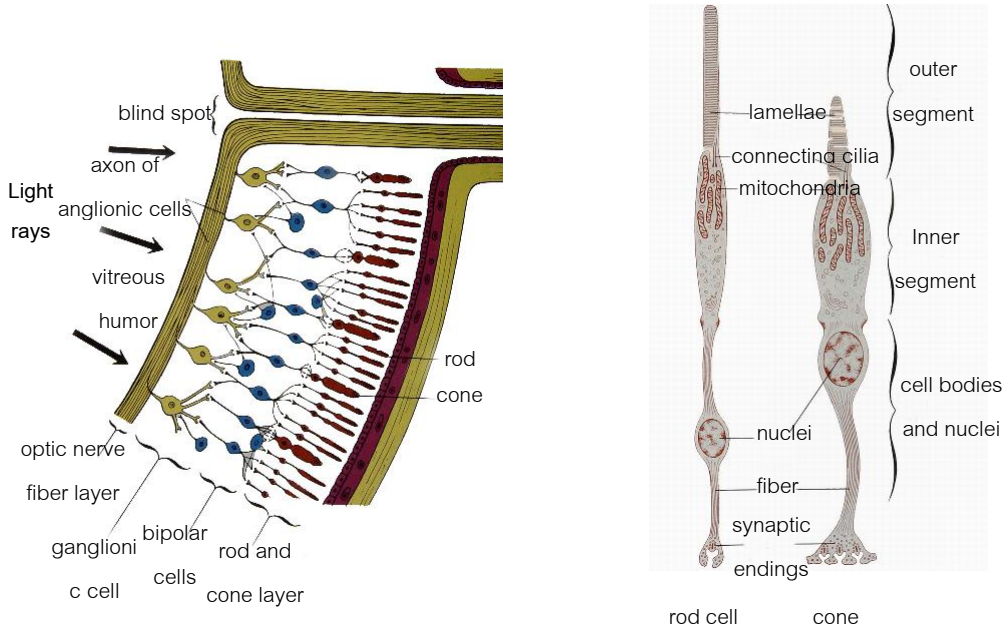
3.เรตินา่(retina) เป็นชั้นในสุดของลูกตาทำหน้าที่รับภาพและทำให้เกิดภาพ ประกอบด้วยเซลล์รูปแท่ง (rod cells) และเซลล์รูปกรวย(cone cells) ซึ่งเป็นตัวรับความรู้สึก(receptor cell) หรือเป็นตัวรับแสง นอกจากนี้ยังมีเซลล์ประสาทชนิด 2 ขั้ว (bipolar neuron) ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยเพื่อส่งไปที่ ganglion cell มีปมประสาทรับกระแสประสาทจากเซลล์ 2 ขั้วส่งไปที่เส้นประสาทตา(optic nerve) เรตินา่มีโครงสร้างสำคัญ 3 ชั้นคือ

ก.muscula lutea หรือ yellow spot เป็นบริเวณที่มีสีค่อนข้างเหลืองตรงกลางเรียกว่า central fovea เป็นจุดที่มีเฉพาะเซลล์รูปกรวยมากกว่าเซลล์รูปแท่ง หรือบางครั้งอาจไม่มีเซลล์รูปแท่งอยู่เลย จึงเป็นจุดที่ทำให้มีการมองเห็นภาพชัดที่สุด

ข.optic disc เป็นส่วนที่มีใยประสาท (axon) มารวมกัน บริเวณนี้รับภาพไม่ได้เนื่องจากไม่มีเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวย เรียกบริเวณนี้ว่า blind spot

ค.photoreceptor cell เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่รับแสงได้แก่ เซลล์รูปแท่ง(rod cell)และเซลล์รูปกรวย(cone cell) ภายในเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยมีสารเคมีที่ไวต่อแสง เมื่อถูกแสงจะแตกตัวได้สารที่มีผลกระตุ้นให้เซลล์ผลิตไฟฟ้าได้ เซลล์รูปแท่งเป็นเซลล์รับความรู้สึกที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมกระจายอยู่ทั่วไปในเรตินา่ ยกเว้นบริเวณกึ่งกลางของ yellow spot ทำหน้าที่เกี่ยวกับการมองเห็นภาพในที่มีแสงสว่างน้อย หรือกรมองเห็นในเวลากลางคืน ภายในเซลล์รูปแท่งมีสารเคมีชื่อโรด๊อพซิน (rhodopsin หรือ visual purple) เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง การรับแสงของเซลล์รูปแท่ง

ขึ้นกับปริมาณของโรด๊อพซินที่แตกตัวเป็นอ๊อพซิน (opsin) และ สโคท๊อพซิน (scotopsin) เซลล์รูปกรวยเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการรับสี จะทำงานได้ดีต้องมีแสงมาก และเกี่ยวข้องกับการมองเห็นในเวลากลางวัน



ภาพที่ 13.2 เซลล์รับความรู้สึกในลูกตา
ดัดแปลงจาก: Carola, 1992

4. เลนส์ (lens) เป็นโครงสร้างของเส้นใยโปรตีน (protein fiber) ชั้นต่างๆมาเรียงตัวต่อกันในลักษณะคล้ายกลีบหัวหอม มีลักษณะโปร่งใส ถูกยึดด้วย suspensory ligament มีตำแหน่งอยู่หลังม่านตาและรูม่านตา เลนส์ตาทำหน้าที่หักเหแสงที่ผ่านเข้ามาในรูม่านตา เลนส์ในลูกตาเป็นเลนส์นูน ทำให้เกิดภาพด้านหลังของเลนส์เป็นภาพกลับหัว

5.ช่องว่างในลูกตา ภายในลูกตามีช่องขนาดใหญ่ 2 ช่อง โดยเลนส์ตาจะเป็นตัวแบ่งช่องภายในลูกตา ช่องที่อยู่หน้าเลนส์ (anterior cavity) เป็นช่องที่มีของเหลวใสคล้ายกับน้ำในไขสันหลัง เรียกว่า aqueous humor ที่เป็นของเหลวที่มีดัชนีการหักเหของแสงใกล้เคียงกับน้ำ ทำหน้าที่ให้เรตินาเรียบชิดกับ choroids เพื่อเพิ่มความคมชัดของภาพที่เกิดขึ้น รักษาความดันภายในลูกตา นอกจากนี้ยังเป็นตัวเชื่อมระหว่างระบบการไหลเวียนของเลือดระหว่างเลนส์ตากับกระจกตาด้วย ช่องที่อยู่ด้านหลังเลนส์ (posterior cavity) เป็นช่องว่างขนาดใหญ่ที่อยู่ระหว่างเลนส์และเรตินา ภายในช่องว่างมีของเหลวเหนียวข้นเรียกว่า vitreous humor เป็นของเหลวที่มีดัชนีในการหักเหแสงค่อนข้างสูง ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรักษาความดันภายในลูกตา ช่วยให้ลูกตาคงรูปอยู่ได้ไม่แฟบ นอกจากนี้ยังช่วยในการสะท้อนแสงเข้าสู่เรตินา ของเหลวชนิดนี้จะไม่มีการเพิ่มขึ้นมาทดแทน เนื่องจากเป็นของเหลวที่เกิดขึ้นขณะที่เป็นตัวอ่อน ซึ่งต่างจาก aquous humor

6.กล้ามเนื้อลายที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา (ocular muscle) กล้ามเนื้อลายที่ควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตาในแต่ละข้างจะมีกล้ามเนื้อประมาณ 6 มัด เกาะอยู่ที่ชั้นนอกของ

ลูกตา การผิดปกติของกล้ามเนื้อลายแต่ละมัด จะมีผลให้เกิดตาเหล่ได้ (squint หรือ strabismus) กล้ามเนื้อที่สำคัญได้แก่

ก.superior rectus muscle ถูกควบคุมการทำงานโดยเส้นประสาทสมอง (cranial nerve) คู่ที่ 3 กล้ามเนื้อนี้จะทำหน้าที่ในการเหลือบลูกตาขึ้นข้างบน และเบนลูกตาไปทางด้านข้าง (up and down)

ข.inferior rectus muscle ถูกควบคุมโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 ทำหน้าที่เหลือบลูกตาลงข้างล่าง และเบนลูกตาไปทางด้านข้าง (down and in)

ค.medial rectus muscle เป็นมัดกล้ามเนื้อที่ถูกควบคุมโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 เช่นกัน ทำหน้าที่ในการกรอกตาเข้าไปด้านใน (inward)

ง.lacteral rectus muscle เป็นมัดกล้ามเนื้อลายที่ควบคุมการกรอกลูกตาไปด้านนอก ถูกควบคุมโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3

จ.superior oblique muscle เป็นกล้ามเนื้อที่ถูกควบคุมโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 ทำหน้าที่ในการกรอกลูกตาลงไปด้านล่าง และเบนออกไปด้านนอก (down and out)

ฉ.inferior oblique muscle ถูกควบคุมโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 เกี่ยวข้องกับการเหลือบตาขึ้นด้านบนและเบนลูกตาออกไปด้านนอก (up and out)

โครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ในการมองเห็นของลูกตา โครงสร้างที่เกี่ยวข้องได้แก่ คิ้ว (eyebrows)หนังตา (eyelids)ขนตา (eyelashes)และระบบน้ำตา (lacrimal apparatus)

ก.คิ้ว (eyebrows) เป็นโครงสร้างที่มีตำแหน่งอยู่ระหว่างหนังตาบนและหน้าผาก มีโครงสร้างทั่วไปคล้ายกับผิวหนังบนศีรษะที่มีขนหรือผมปกคลุมอยู่ บริเวณผิวหนังส่วนคิ้วจะมีต่อมน้ำมัน(sebaceous glands) ปรากฏอยู่มากมาย ส่วนของขนที่ขึ้นอยู่มีลักษณะค่อนข้างหยาบและด้านปลายของขนจะชี้ไปทางด้านข้าง ทำหน้าที่ช่วยป้องกันไม่ให้มีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปในส่วนของลูกตา รวมทั้งป้องกันน้ำและเหงื่อที่จะไหลเข้าลูกตา (perspiration) นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันรังสีที่ได้จากแสงอาทิตย์ที่จะเข้าตาได้โดยตรง ใต้ผิวหนังของคิ้วจะมีกล้ามเนื้อหนังตาอยู่ (orbicularis oculi muscle)

ข.หนังตา (eyelids) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือหนังตาบน(upper eyelids) และหนังตาล่าง (lower eyelids)หนังตาทั้ง 2 ชนิดมีโครงสร้างเหมือนกัน แต่หนังตาบนเคลื่อนไหวได้มากกว่าหนังตาล่าง ทำหน้าที่ปิดลูกตาเพื่อป้องกันไม่ให้แสงเข้าลูกตามากเกินไป หรือป้องกันลูกตาจากสิ่งแปลกปลอม และปิดลูกตาขณะที่สัตว์หลับพักผ่อน ซึ่งเป็นการให้ความมืดแก่ลูกตา นอกจานี้ยังเกี่ยวข้องกับการกระจายน้ำตาให้ผ่านผิวลูกตาทั้งหมด เพื่อให้ความชุ่มชื้นแก่ลูกตา หนังตาด้านบนถูกยกขึ้นด้วยกล้ามเนื้อเรียบ(levator palpebral superioris) ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติ (sympathetic nerve)

ค.ระบบน้ำตา (lacrimal apparatus) ประกอบด้วยต่อมน้ำตา (lacrimal glands) ท่อน้ำตา (excretory lacrimal ducts) ทางไหลของน้ำตา (lacrimal canals) ถุงเก็บน้ำตา (lacrimal sacs) และnasolacrimal ducts ซึ่งเป็นส่วนของถุงเก็บน้ำตาและท่อทางไหลของน้ำตาที่เปลี่ยนไป ส่วนต่อมน้ำตาจัดเป็นต่อมประเภทต่อมรวม (compound tubulacrinar glands) ต่อมน้ำตามีตำแหน่งอยู่ทางด้านข้างในกระบอกตาแต่ละข้างตรงส่วน superior lateral portion

ง.น้ำตา (tears) เป็นของเหลวที่ผลิตจากต่อมน้ำตา ประกอบด้วยเกลือ สารเมือก และเอ็นไซม์ที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ คือไลโซโซม(lysosome) น้ำตามีหน้าที่ในการหล่อลื่นลูกตาทำให้ลูกตามีความชุ่มชื้น น้ำตาจะไหลออกมาทางท่อน้ำตา เพื่อไหลเข้าลูกตา การกระจายของน้ำตาไปบนผิวของลูกตาเกิดจากการกระพริบของหนังตา น้ำตาจะถูกสร้างออกมาทุกวัน ส่วนของน้ำตาที่ผลิตออกมาจะถูกกำจัดออกจากร่างกายโดยการระเหยและการไหลเข้าสู่ช่องจมูกผ่านท่อน้ำตา

ลิ้นและความรู้สึกในการรับรสอาหาร

ลิ้นเป็นอวัยวะที่ร่างกายใช้ในการรับรส โดยมีส่วนรับความรู้สึก (receptor) สำหรับรับความรู้สึกของรสกระจายอยู่ในตุ่มรับรส (taste buds) ส่วนรับความรู้สึกนี้เป็นส่วนที่รับความรู้สึกประเภทสารเคมีอย่างหนึ่ง ตุ่มรับรสจะพบมากที่สุดบนลิ้น นอกจากนี้ยังพบได้ที่เพดานปากอ่อน ลำคอและในเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยกนูนสูงมาจากลิ้น เรียกว่าพาพิล่าร์(papillae)

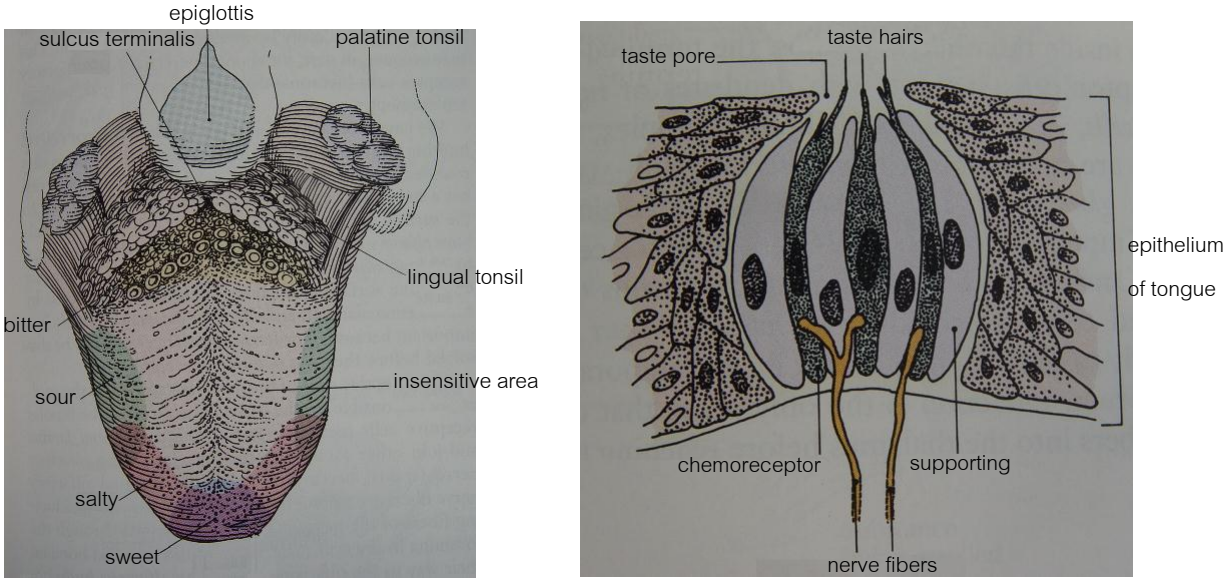
ตุ่มรับรส มีรูปร่างเป็นรูปไข่อยู่ที่ชั้นเยื่อบุผิว ประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดคือ supporting cell และ gustatory cell ส่วนของ supporting cell เป็นเซลล์เยื่อบุผิวที่เปลี่ยนแปลงไปทำหน้าที่เป็นเซลล์พิเศษหุ้มเป็นปลอกอยู่ด้านนอก ส่วน gustatory cell หรือ taste cell เป็นเซลล์ที่มีลักษณะแหลมหัวแหลมท้ายอยู่ด้านในของต่อมรับรสวางตัวตั้งฉากกับเยื่อบุผิว gustatory cell เป็นเซลล์ที่มีขนเส้นเล็กๆเรียกว่า gustatory hair ทำหน้าที่รับรส บริเวณตุ่มรับรสจะมีรูเปิดที่ผิวของลิ้นเรียกว่า taste pore โดยส่วนของขนของ guatatory cell จะยื่นโผล่เข้าไปในรูของต่อมรับรส ส่วนล่างของตุ่มรับรสมีเส้นประสาทนำกระแสประสาทไปยังสมองที่ทำหน้าที่ควบคุมการรับรสคือ เส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 (cranial nerve VII) รับรสชาดจากบริเวณปลายลิ้นและข้างลิ้น แต่เส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (cranial nerve IX) จะทำหน้าที่รับรสบริเวณโคนลิ้น

ตุ่มรับรสที่พบตามเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่ยกนูนขึ้นมาจากลิ้น(papillae) มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปดังนี้

ก.circumvallate หรือ vallate papillae มีรูปร่างเป็นวงกลมขนาดใหญ่ที่สุดพบเรียงกันเป็นรูปตัววีอยู่บริเวณช่วงท้ายของลิ้น

ข.fungiform papillae มีรูปร่างคล้ายกับดอกเห็ด บนบริเวณด้านบนปลายลิ้นและด้านข้าง

ค.filiform papillae มีรูปร่างเรียวปลายแหลม พบทั่วไปในส่วนหน้าของลิ้น



ภาพที่ 13.3 แสดงส่วนรับรสชาติบนลิ้น และต่อมรับรสชาติ

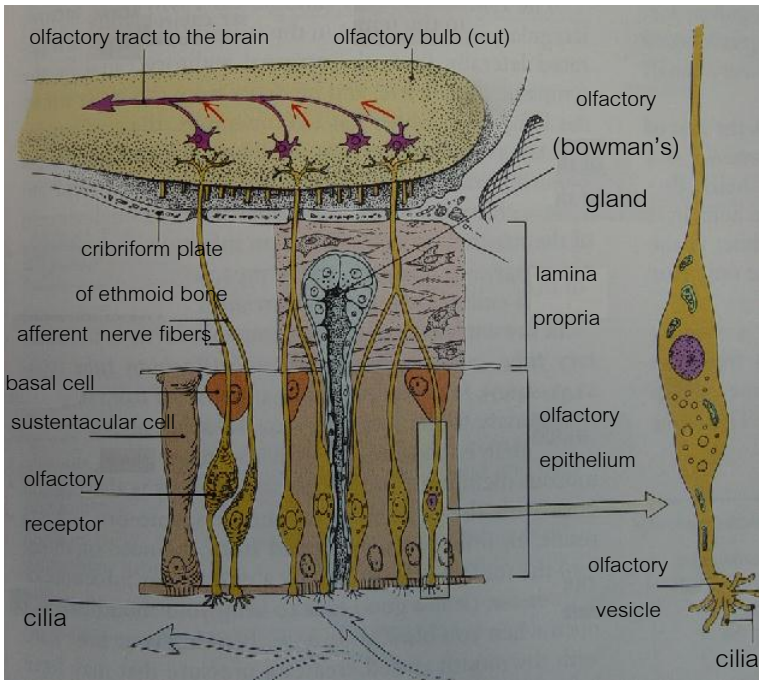
ดัดแปลงจาก : Carola, 1992

จมูกและการรับกลิ่น

จมูกจัดเป็นอวัยวะรับสัมผัสที่สามารถรับความรู้สึกประเภทสารเคมี (chemoreceptor) หรือรับสัมผัสกลิ่นได้ ในสัตว์จะมีการพัฒนาด้านการรับความรู้สึกในการรับกลิ่นดีกว่าในมนุษย์ ส่วนรับความรู้สึกจะพบได้ในเนื้อเยื่อบุผิวของช่องจมูกทางด้านบนหรือส่วนท้ายของจมูกทั้ง 2 ข้าง เรียกว่า olfactory membrane ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ 2 ชนิดคือ

ก.olfactory cells หรือ hair cells เป็นเซลล์มีขนที่ส่วนของขนจะมีความไวต่อการกระตุ้น ตัวของเซลล์ประสาทเป็นพวกเซลล์ประสาทสองขั้ว(bipolar neuron) จะแทรกอยู่ระหว่าง supporting cells ปลายล่างของเซลล์จะเปิดออกทางช่องจมูก ส่วนนี้จะมีขนซึ่งเป็นส่วนของเด็นไดรน์อยู่จำนวน 6-8 เส้น เรียกว่า olfactory hair ส่วนของ olfactory hair เมื่อรับการกระตุ้นจากสารเคมีเช่นเมื่อได้กลิ่นอาหารจากอากาศที่หายใจเข้าไป จะส่งกระแสประสาทไปตามเอ๊กซอนของเซลล์ปประสาทส่งไปที่เส้นประสาทสมองคู่ที่ 1 (olfactory nerve) เพื่อส่งเข้าสู่สมอง

ข. supporting cells เป็นเซลล์เยื่อบุผิวรูปแท่ง(columnar epithelial cell)พบที่ช่องจมูก ทำหน้าที่หลั่งน้ำเมือก(mucus)เคลือบเยื่อบุผิวช่องจมูกให้ชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลา เยื่อเมือกอาจพบจากเซลล์ที่แทรกอยู่ที่เยื่อบุผิวด้านในจมูก(bowman’s cells) และ ที่ olfactory glands



ภาพที่ 13.4 เซลล์รับความรู้สึกที่เยื่อจมูก

ดัดแปลงจาก : Carola, 1992

ช่องจมูกของสัตว์เลี้ยงบางชนิดเช่นแกะและม้า จะมี vomeronasal oegan ทำหน้าที่ร่วมในการรับกลิ่นต่อมนี้จะอยู่ในส่วนเพดานของช่องจมูก ประกอบด้วยท่อแคบๆขนานกัน 2 ท่อ ส่วนของ vomeronasal gland จะเกี่ยวกับการแสดงพฤติกรรมทางเพศ ที่แสดงโดยสัตว์เพสผู้ขณะที่จะเกิดการผสมพันธุ์ เช่นการดมปัสสาวะ หรือของเหลวที่ออกมาจากช่องคลอดของเพศเมียและการเลียอวัยวะเพศเมียของสัตว์ที่กำลังเป็นสัด

โดยทั่วไปคุณสมบัติของสารเคมีที่จะให้กลิ่นได้จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

ก.สารนั้นจะต้องระเหยได้ เพื่อจะสามารถสูดกลิ่นเข้าจมูกได้ ในรูปของก๊าซ ความรู้สึกรับกลิ่นจะเกิดขึ้นเมื่อมีการหายใจเข้าไปในปอด ถ้ากลิ่นมีความรุนแรงมากจะทำให้เกิดการจามได้

ข.สารเคมีนั้นต้องละลายน้ำได้บ้างเมื่อสารเข้าจมูกจะละลายรวมกับเมือกที่ให้ความชุ่มชื้นกับเยื่อบุช่องจมูก การละลายน้ำได้จะช่วยให้สารนี้สัมผัสกับ olfactory cell ที่ olfactory membrane

ค.สารเคมีนั้นต้องละลายได้ดีในไขมัน เนื่องจากไขมันเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์เยื่อบุที่ช่องจมูก olfactory cell

หูและการได้ยินเสียง

หูทำหน้าที่ 2 ประการคือ เกี่ยวข้องกับการได้ยินเสียง (phonoreceptor) และเกี่ยวข้องกับการทรงตัวหรือการสมดุลของร่างกาย (statoreceptor) โครงสร้างของหูแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือหูชั้นนอก (external ears) หูชั้นกลาง(middle ears) และหูชั้นใน(internal ears)

1.หูชั้นนอก(external ears) ประกอบด้วยใบหู (pinna) ช่องหูหรือรูหูชั้นนอก (external canal หรือ auditory canal) และเยื่อแก้วหู (tympanic membrane หรือ eardrum)

ก.ใบหู ทำหน้าที่ในการรวมคลื่นเสียงที่มาจากแหล่งต่างๆส่งเข้ามาในรูหู ใบหูของสัตว์เลี้ยงสามารถหันหรือชี้ไปในทิศทางที่เสียงเข้ามาได้ การหันไปในทิศทางต่างๆของใบหูเพื่อหาตำแหน่งของต้นกำเนิดของเสียงและช่วยในการรับเสียง ใบหูประกอบด้วยกระดูกอ่อนที่มีรูปร่างคล้ายรูปกรวย (concheal cartilage) ทำหน้าที่รวบรวมเสียงเข้าในเยื่อแก้วหู สำหรับกระดูกอ่อนรูปโล่ห์ (scutiform cartilage) ทำหน้าที่ให้กล้ามเนื้อยึดเกาะ นอกจากนี้ยังมีกระดูกอ่อนรูปร่างคล้ายท่อ (annular cartilage) ทำหน้าที่เชื่อมกระดูกอ่อนรูปกรวยกับหูชั้นนอกส่วนที่เป็นกระดูก

ข.ช่องหูหรือรูหูชั้นนอก (external auditory canal) ทำหน้าที่เป็นทางเดินของคลื่นเสียงเข้าสู่รูหูส่วนกลาง มีตำแหน่งอยู่ระหว่างใบหูและเยื่อแก้วหู ผนังของช่องหูประกอบด้วยกระดูกและกระดูกอ่อน ส่วนกระดูกอ่อนในช่องหูภายนอกถูกปกคลุมด้วยผิวหนังที่มีความรู้สึกไวต่อเสียงมาก โดยทั่วไปจะมีขนอยู่เล็กน้อยบริเวณใกล้กับช่องเปิดภายนอกช่องหู เป็นบริเวณที่มีต่อมน้ำมันพวก ceruminous glands ทำหน้าที่หลั่ง cerumen ส่วนของ cerumen ที่รวมกับขนในช่องหูจะทำให้เกิดเป็นขี้หู เพื่อป้องกันสิ่งแปลกปลอมเข้าในหู

ค.เยื่อแก้วหุ (tympanic membrane หรือ eardrum) เป็นเยื่อบางๆซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยพวก fibrous connective tissues มีความยาวของเส้นใยขนาดต่างๆกัน กั้นอยู่ระหว่างช่องหูภายนอกกับหูชั้นกลางผิวด้านนอกมีลักษณะเว้า ปกคลุมด้านผิวหนัง ผิวด้านในมีลักษณะโค้งปกคลุมด้วยเยื่อเมือก ถ้ามีการติดเชื้อหรือมีสิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำอันตรายแก้วหูจะทำให้แก้วหูฉีกขาดได้

2.หูชั้นกลาง (middle ears) เป็นส่วนที่อยู่ต่อตามเยื่อแก้วหุเข้ามาทางด้านใน ภายในหูชั้นกลางจะมีท่อกลวงขนาดเล็กๆต่ออยู่กับส่วน nasopharynx เรียกว่า eustachian tube ทำหน้าที่เกี่ยวกับการปรับความดันภายในหู(ชั้นกลาง)และภายนอกให้เท่ากัน ระดับความดันของทั้งสองแห่งนี้ถ้ามีค่าไม่เท่ากันจะทำให้เกิดอาการหูอื้อ ถ้าความดันต่างกันมากๆ จะทำให้ปวดหูหรือทำให้เยื่อหูฉีกขาดได้ ระหว่างที่ได้กลิ่นอาหารหรือมีอาการหาวนอนท่อนี้จะเปิดออก เพื่อให้อากาศในช่องหูชั้นกลางออกมาภายนอก เพื่อปรับความดันให้เท่ากัน การลดความดันในช่องหูเกิดจากการเคี้ยวอาหาร ซึ่งสามารถลดอันตรายที่จะเกิดกับเยื่อแก้วหูได้ ภายในช่องหูชั้นกลางมีกระดูกหูทั้งหมด 3 ชิ้น คือกระดูกรูปฆ้อน (maleus) กระดูกรูปทั่ง (incus) กระดูกรูปโกลน(stapes) เรียง

ตามลำดับขากด้านนอกเข้าด้านใน กระดูกทั้ง 3 ชิ้นนี้จะเชื่อมต่อกับแก้วหูและเยื่อที่แยกกั้นช่องหูชั้นในออกจากช่องหูชั้นกลาง ทำหน้าที่ขยายการสั่นสะเทือนของคลื่นเสียงให้มากขึ้น แล้วส่งคลื่นเสียงเข้ามาสู่รูหูชั้นใน

3.หูชั้นใน (internal earsหรือ labryrinth) อยู่ถัดจากหูส่วนกลางเข้ามาประกอบด้วย cochlea และ organ of corti ซึ่งเป็นส่วนของหูที่เกี่ยวข้องกับการได้ยินเสียง ภายใน cochlea มีของเหลวพวก endolymph และ perilymph บรรจุอยู่ ทำหน้าที่ในการรับเสียงร่วมกับcochlea branch ของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 8 (vestibulocochlea nerve) ส่วน organ of corti ประกอบด้วย hair cells และ supporting cells ส่วนของ hair cells เป็นเซลล์ที่มีความไวต่อเสียง เมื่อมีคลื่นเสียงเข้ามาถึง cochlea จะทำให้ของเหลวภายใน cochlea สั่นสะเทือนและกระตุ้นให้ hair cells เกิดกระแสประสาทส่งความรู้สึกออกจาก cochlea เข้าสู่สมองโดยผ่านเส้นประสาทสมอง (auditory nerve)

ภายในหูส่วนในมีอวัยวะที่ช่วยในการทรงตัวเรียกว่า vestibular apparatus ประกอบด้วย semicircular canal ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสมดุลของร่างกาย ในทิศทางที่ร่างกายหมุนไปในทิศทางอื่นใด(dynamic equilibrium) มีลักษณะเป็นหลอดรูปครึ่งวงกลม 3 อันวางตัวตั้งฉากกัน ส่วนโคนมีลักษณะพองออกเรียกว่า ampulla ภายในมี hair cells และ cupula ส่วนampulla ของ semicircular canal มี ของเหลวพวก endolymph บรรจุอยู่ การไหลชอง endolymph จะกระตุ้นให้ hair cells ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือกระแสประสาทกระตุ้นให้ประสาทรับความรู้สึกของ vestibular nerve ส่งกระแสประสาทต่อไปยังสมอง

uracle and sucuule ทำหน้าที่รับสมดุลแบบ static equilibrium ภายในมี macula เป็นส่วนรับความรู้สึก (receptor) เป็น receptor ที่มี hair cells , gelatinous layer และผลึกของ calciumcarbonate ที่เรียกว่า utolith