

บทที่ 6

โครงร่างและการเคลื่อนที่ของสัตว์

Supporting and Movement of Animals

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

เมื่อศึกษาบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. บอกชื่อของกระดูกที่เป็นแกนและระยางค์ของร่างกาย
2. บอกชื่อกล้ามเนื้อมัดสำคัญที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนที่ของร่างกาย
3. อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของเซลล์กล้ามเนื้อ
4. อธิบายความสัมพันธ์กระบวนการทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อ
5. อธิบายการทำงานของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนที่ของสัตว์ชนิดต่าง ๆ
6. อธิบายหน้าที่ของข้อต่อชนิดต่าง ๆ หมอนรองกระดูก และน้ำไขข้อ

สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว จัดเป็นโครงสร้างร่างกายลำดับแรกของสิ่งมีชีวิตที่มีกิจกรรมการดำรงชีวิตตามสมบัติของสิ่งมีชีวิต การเคลื่อนไหวเคลื่อนที่ เพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าเป็นสมบัติอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต ซึ่งจำเป็นต้องมีระบบประสาทควบคุม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสัตว์ที่มีการเคลื่อนที่ได้ 2 แบบ คือ แบบที่ไม่ใช้กล้ามเนื้อ เป็นการเคลื่อนที่ในระดับเซลล์ โดยใช้ท่อนจุลภาค (Microtubule) กับแบบที่ใช้กล้ามเนื้อ โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อ ซึ่งต้องอาศัยโครงกระดูกหรือโครงร่าง (Skeleton) ให้กล้ามเนื้อยึดเกาะเพื่อการหดตัว การเคลื่อนที่ภายนอกจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนมากกว่าการเคลื่อนที่ภายใน ซึ่งมักมองไม่เห็น เช่น การบีบตัวของกระเพาะอาหารและลำไส้ การไหลเวียนโลหิต เป็นต้น ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนที่แบบใดก็ตาม โครงสร้างของสิ่งมีชีวิตย่อมจะมีความสัมพันธ์กับการทำงานในทุกๆระดับเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตได้อย่างปกติสุขนั่นเอง องค์ประกอบและหน้าที่ของอวัยวะในระบบโครงร่างของสิ่งมีชีวิตชั้นสูงมีดังนี้

ระบบอวัยวะ (Organ System)	องค์ประกอบที่สำคัญ (Main Components)	หน้าที่สำคัญ (Main Functions)
สิ่งห่อหุ้มร่างกาย (Integumentary)	ผิวหนัง (Skin) และผลิตภัณฑ์ ต่าง ๆ เช่น ขน (Hair) กรงเล็บ (Claws) ต่อม (Skin glands)	ป้องกัน (Protection) อันตราย จากการบาดเจ็บ จากเชื้อ โรค การสูญเสีย น้ำ
โครงร่างแข็ง (Skeletal)	โครงกระดูก (Skeleton) กระดูก (Bone) เอ็นกล้ามเนื้อ (Tendons) เอ็นยึดระหว่าง กระดูก (Ligaments) และ กระดูกอ่อน (Cartilages)	ค้ำจุนร่างกาย (Body Support) ป้องกันอวัยวะภายใน (Protection of Internal Organs)
กล้ามเนื้อ (Muscular)	กล้ามเนื้อกระดูก (Skeletal Muscle)	การเคลื่อนไหว (Movement) การเคลื่อนที่ (Locomotion)

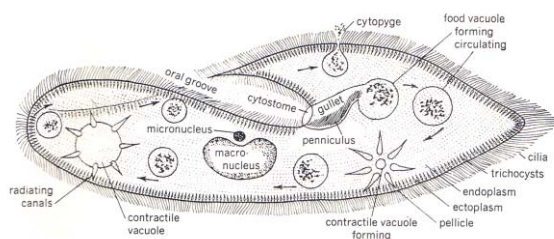
6.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

การเคลื่อนที่ของโปรติสต์

โปรติสต์ (Protists) เป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวพวุกยูคาริโอต เป็นพวกที่ไม่มีระบบ
ประสาทการเคลื่อนที่ เกิดได้ 2 แบบ

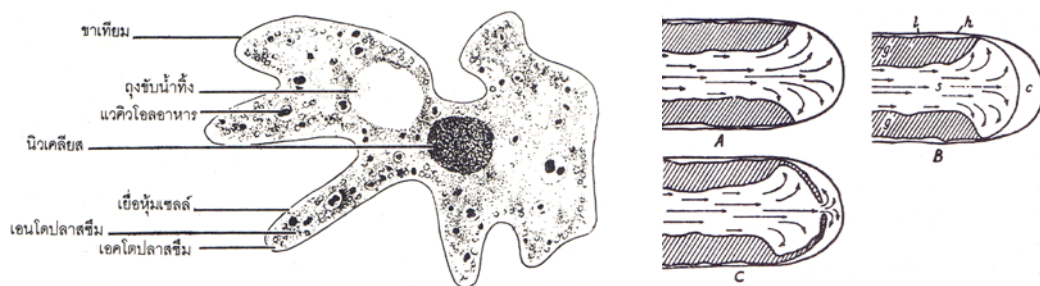
1. การเคลื่อนที่โดยการไหลของไซโตพลาสซึม (Cytoplasmic Streaming) มี 2 แบบ คือ

1.1 Cyclosis เป็นการไหลของไซโตพลาสซึมตลอดทั่วทั้งเซลล์ เช่น การย่อย
อาหารของพารามีเซียม เมื่ออาหารเข้าสู่เซลล์โดยวิธี Endocytosis สร้างเป็น Food vacuole
ขณะที่อาหารถูกย่อย ทุ่อาหารจะหมุนไปรอบ ๆ เซลล์พร้อมกับการดูดซึมอาหารในเซลล์
ส่วนกากที่เหลือจะขับออกจากเซลล์โดยวิธี Exocytosis



รูปที่ 6.1.1 การไหลของไซโตพลาสซึมแบบไซโคลซิส

1.2 Amoeboid Movement เป็นการเคลื่อนที่ของไซโตพลาสซึมที่เกิดเฉพาะใน ส่วนที่เป็นขาเทียม (Pseudopodium) ซึ่งไซโตพลาสซึมจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ด้านนอก (Ectoplasm) มีลักษณะแข็ง (Gel) บีบตัวหรือไหลไม่ได้ ส่วนด้านใน (Endoplasm) มีลักษณะ อ่อน (Sol) บีบตัวหรือไหลได้ ได้แก่ การเคลื่อนไหวของโปรโตซัวที่ใช้ขาเทียม และเม็ด เลือดขาวขณะกินสิ่งแปลกปลอม

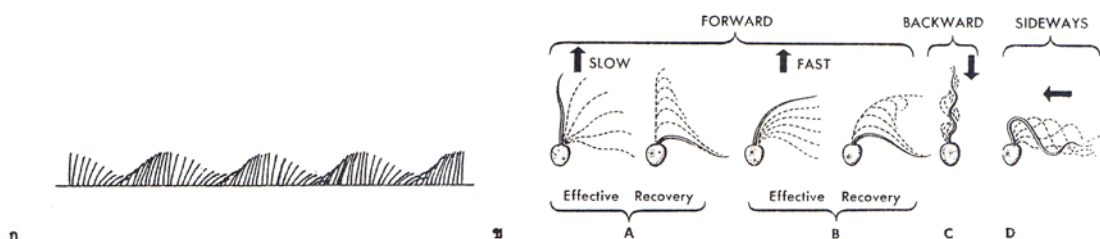


รูปที่ 6.1.2 การไหลของไซโตพลาสซึมแบบอะมีบอยด์มูฟเมนต์

2. การเคลื่อนที่ โดยใช้แฟลกเจลลัมหรือซีเลีย (Flagella or cilia Movement)

การเคลื่อนไหวโดยใช้แฟลกเจลลัมหรือซีเลียพบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว พวกโปรโตซัว เช่น พารามีเซียมใช้ซีเลีย ยูกลีนาใช้แฟลกเจลลัม ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง เซลล์ที่มีแฟลกเจลลัม เช่น เซลล์สpermช่วยในการเคลื่อนที่ เซลล์ที่มีซีเลีย ได้แก่ เซลล์ผิวของหลอดลม เซลล์ผิวท่อ นำไข่ ช่วยในการโบกพัดสารต่าง ๆ

การเคลื่อนไหวของซีเลียในโปรโตซัวเป็นแบบแกว่งคล้ายไม้พาย ส่วนซีเลียของ สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์เป็นแบบโค้งลงแล้วตัวตั้งตรงคล้ายคลื่น

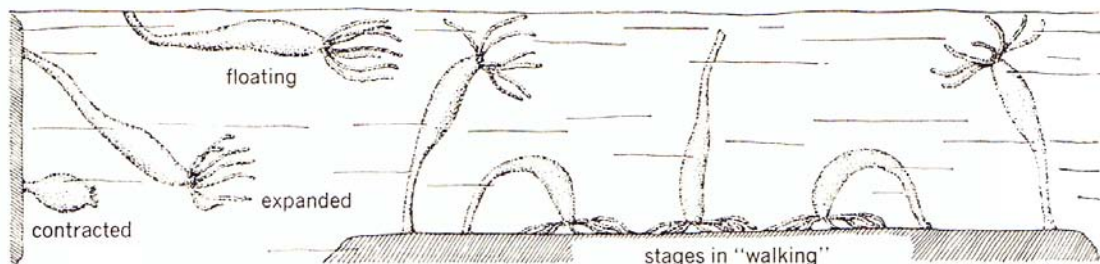


รูปที่ 6.1.3 การเคลื่อนที่โดยการพัดโบกของซีเลีย (ก) และการพัดโบกของแฟลกเจลลา (ข)

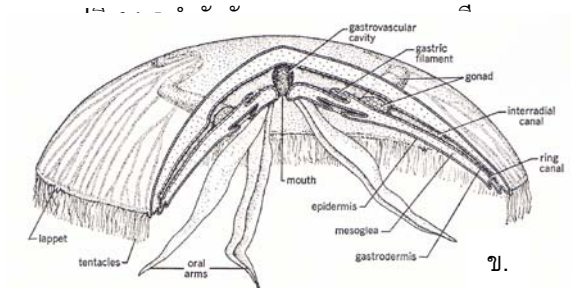
การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีโครงร่าง (Non Skeleton)

สัตว์พวกแรกที่มีระบบประสาท คือ ซีเลนเตอเรท (Coelenterates) ได้แก่

ไฮดรา (Hydra) มีการเคลื่อนที่โดยการคืบคลานหรือตีลังกา แมงกะพรุน (Jelly Fish) มีการเคลื่อนที่โดยใช้กล้ามเนื้อบริเวณขอบริมของลำตัว บีบน้ำออกจากท่อรัศมี (Radial Canal) ของแขน ซึ่งเป็นท่อที่แตกแขนงมาจากช่องทางเดินอาหาร (Gastrovascular) ทำให้พ่นน้ำออกจากลำตัว จึงเกิดแรงดันทำให้ลำตัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้



ก. CROSS SECTION OF BUDDY

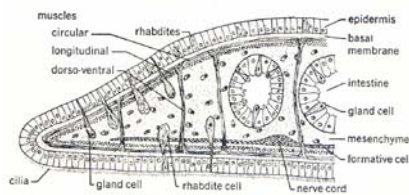


ข.

รูปที่ 6.1.4 การเคลื่อนที่โดยการคืบหรือตีลังกาของไฮดรา (ก) และการบีบน้ำออกจากท่อรัศมีของแมงกะพรุน (ข)

หนอนตัวแบน (Plathemintes)

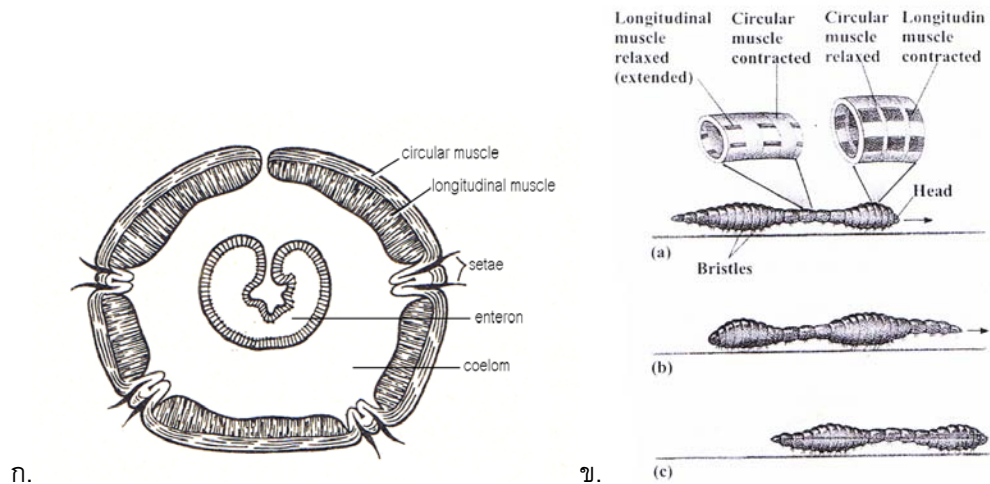
พวกพลาเนเรีย (Planaria) ใช้ซีเลีย เพื่อการว่ายน้ำและใช้กล้ามเนื้อเพื่อคืบคลานบนพื้นดิน ซีเลียมี่เฉพาะด้านล่างลำตัวมีกล้ามเนื้อ 3 ชนิด คือ กล้ามเนื้อวง (Circular Muscle) กล้ามเนื้อยาว (Longitudinal Muscle) และกล้ามเนื้อหลังท้อง (Dorsoventral Muscle)



รูปที่ 6.1.5 ลำตัวตัดตามขวางของพลาเนเรีย

หนอนปล้อง (Annelid) พวกไส้เดือนดิน (Earth Worm) เคลื่อนที่โดยการทำงานสลับกันของกล้ามเนื้อวง (Circular Muscle) กับกล้ามเนื้อยาว (Longitudinal Muscle) โดยมีเดือย (Setae) เล็ก ๆ ข้างลำตัวจิกดินเพื่อกำหนดทิศทาง การที่ลำตัวเคลื่อนที่ไป

ข้างหน้าเกิดจากคลื่นการหดตัวของกล้ามเนื้อไปทางด้านหลัง และเมื่อมีการเคลื่อนที่ถอยหลัง คลื่นการหดตัวของกล้ามเนื้อจะไปทางด้านหน้า

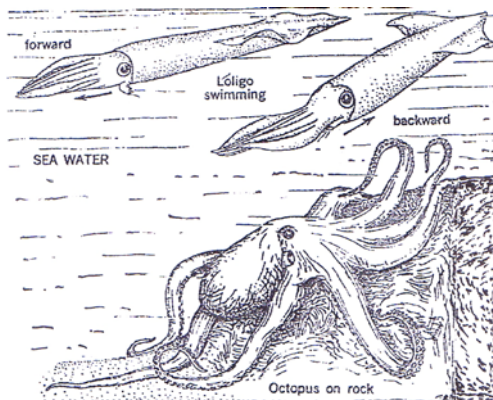


รูปที่ 6.1.6 ไล่เดือนตัดตามขวางของลำตัวแสดงกล้ามเนื้อชนิดต่าง ๆ (ก) และการเคลื่อนที่ (ข) (จาก Campbell et al, 1999)

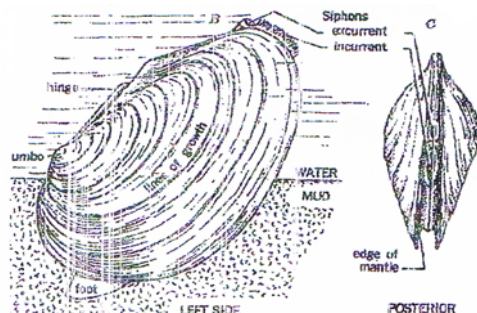
สัตว์พวกมอลลัส (Mollusks) มีกล้ามเนื้อเจริญดี ได้แก่ หมึกและหอย

หมึก (Squid and Octopus) เคลื่อนที่โดยใช้การหดตัวของกล้ามเนื้อลำตัวรอบท่อพ่นน้ำ (Siphon) ทำให้ท่อบีบตัวพ่นน้ำที่เก็บอยู่ในลำตัวออกมา ทำให้ลำตัวเคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงข้ามกับลำน้ำที่พุ่งออกไป ท่อพ่นน้ำนี้หันได้ทุกทิศทาง นอกจากนี้ยังมีครีป (Fin) ช่วยในการทรงตัว หมึกยักษ์ (Octopus) ยังใช้แขน (Arm) สำหรับจับคลานได้ด้วย

หอยฝาเดียวและหอยสองฝา (Snail and Bivalves) เคลื่อนที่โดยใช้กล้ามเนื้อเท้า (Muscular Foot) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อมัดใหญ่ มีความแข็งแรงมาก ในหอยสองฝายังใช้การบีบตัวของฝาให้น้ำพุ่งออกมาทางท่อน้ำออก (Excurrent Siphon) ทำให้ลำตัวเคลื่อนที่ไปได้



ก.



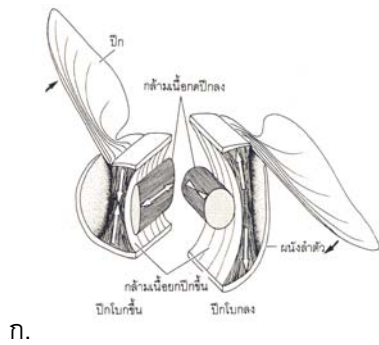
ข.

รูปที่ 6.1.7 การเคลื่อนที่ของหมึก (ก) และหอย (ข)

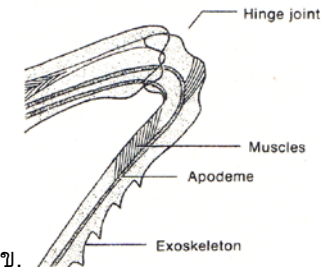
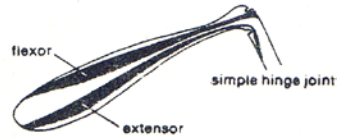
การเคลื่อนที่ของสัตว์ที่มีโครงร่างภายนอก (Exoskeleton)

สัตว์ที่มีโครงร่างภายนอก (Exoskeleton) ได้แก่ สัตว์พวกอาร์โทรพอด (Arthropods) พวก ปู กุ้ง แมลง และ เอคไคโนด (Echinods) พวกดาวทะเล

แมลง (Insects) เป็นสัตว์ที่มีโครงร่างภายนอกเป็นโครงแข็งสำหรับให้กล้ามเนื้อที่อยู่ภายในยึดเกาะ ส่วนใหญ่มีปีก 2 คู่ อยู่ที่ยอกปล้องที่ 2 และ 3 มีกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อยกปีก หรือ กล้ามเนื้อแนวตั้ง (Elevator or Vertical Muscle) และกล้ามเนื้อกดปีกหรือกล้ามเนื้อยาว (Depressor or Longitudinal Muscle) ซึ่งเป็นกล้ามเนื้อที่ยึดปีกกล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุด ทำงานตรงข้ามสลับกัน (Antagonism) ทำให้ปีกขยับขึ้นลงได้ เมื่อกล้ามเนื้อยาวหดตัว กล้ามเนื้อแนวตั้งคลายตัว ปีกจะกดลง และเมื่อกล้ามเนื้อยาวคลายตัว กล้ามเนื้อแนวตั้งหดตัว ปีกจะถูกยกขึ้น

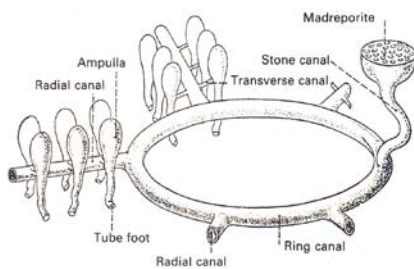


ก.



ข.

รูปที่ 6.1.8 กล้ามเนื้อปาก (ก) และกล้ามเนื้อขา (ข) ของแมลง



รูปที่ 6.1.9 ระบบท่อน้ำของดาวทะเล

ส่วนขาของแมลงมีกล้ามเนื้อ 2 ชุด คือ กล้ามเนื้อเอคเทนเซอร์ (Extensor Muscle) ทำหน้าที่เหยียดขาและกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ (Flexor Muscle) ทำหน้าที่งอขา กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุด ทำงานตรงข้ามสลับกัน

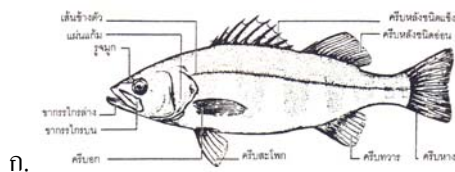
เมื่อ Extensor หดตัว Flexor จะคลายตัว ทำให้ขาเหยียดออก และเมื่อ Flexor หดตัว Extensor จะคลายตัว ขาจะงอ การงอและเหยียดขาทำให้เกิดการดีดตัว ลำตัวจึงเคลื่อนไปแบบกระโดด ทำให้ได้ระยะทางไกล

ดาวทะเล (Sea Star) เคลื่อนที่โดยใช้ระบบน้ำ (Water Vascular System) ร่วมกับกล้ามเนื้อ ด้านหลังของลำตัวมีช่องรับน้ำ (Madreporite) ที่มีท่อติดต่อกับท่อวงแหวน (Ring Canal) ที่แตกแขนงเป็นท่อรัศมี (Radial Canal) ไปตามแขน ท่อรัศมีจะมีท่อย่อยออกไปทั้ง 2 ข้าง จำนวนมาก โดยมีปลายท่อไปเป็นถุงรับน้ำ (Ampulla) ที่ต่อ

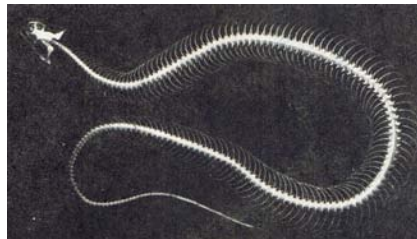
อยู่กับท่อขา (Tube Feet) น้ำที่ผ่านเข้าสู่ร่างกายจะไปตามท่อต่าง ๆ จนเข้าสู่ถุงน้ำ เมื่อกล้ามเนื้อหดตัว ถุงจะบีบตัวส่งน้ำเข้าสู่ท่อขา ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของท่อขา ลำตัวจึงเคลื่อนที่ไปได้

การเคลื่อนที่ของสัตว์ที่มีโครงร่างภายในลำตัว (Endoskeleton)

สัตว์ที่มีโครงร่างเป็นแกนลำตัว พวกคอर्डเตต (Chordates) จะมีกระดูกอยู่ภายใน โดยมีมัดกล้ามเนื้อยึดเกาะอยู่ภายนอก



ก.

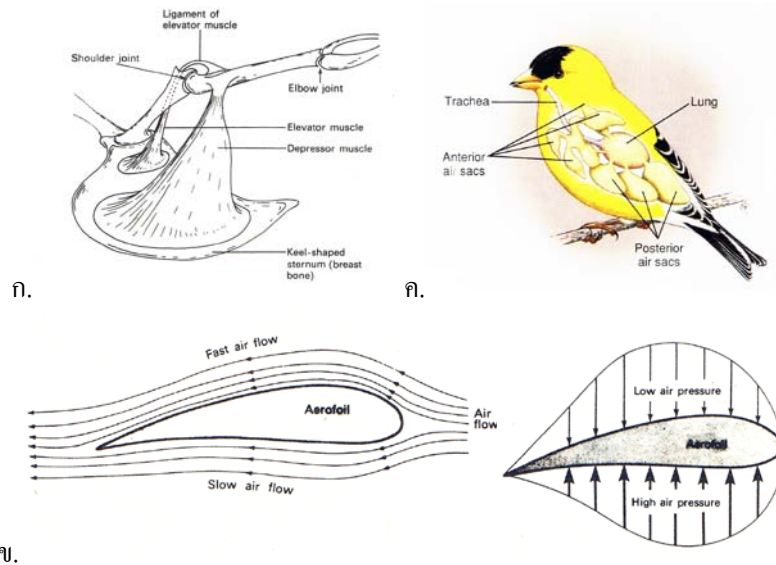


ข.

รูปที่ 6.1.10 โครงร่างที่ช่วยในการเคลื่อนที่ของ

ปลา (Fish) และงู (Snake) เป็นสัตว์ โครงกระดูกภายในลำตัว มีกล้ามเนื้อยึดติดกับโครงกระดูกทั้ง 2 ด้าน กล้ามเนื้อสองชุดนี้ทำงานตรงข้ามสลับกัน ทำให้การเคลื่อนที่ของลำตัวเป็นรูปตัวเอส (S) นอกจากนี้ปลายังมีครีบ (Fin) ชนิดต่าง ๆ บนลำตัวช่วยในการเคลื่อนที่และกำหนดทิศทาง รวมทั้งการมีถุงลม (Air Bladder) ที่ช่วยในการลอยตัวอีกด้วย

นก (Birds) เปลี่ยนแปลงขาคู่หน้าไปเป็นปีก เพื่อใช้ในการบิน มีกล้ามเนื้อสองชุด คือ กล้ามเนื้อกดปีก (Depressor Muscle) และกล้ามเนื้อยกปีก (Elevator Muscle) ทำงานตรงข้ามสลับกัน ทำให้สามารถขยับปีกขึ้นลงได้ นอกจากนี้การจัดเรียงตัวของขนปีกที่ซ้อนกันในขณะที่โค้งนูน ทำให้ด้านบนปีกมีความยาวมากกว่าด้านล่าง อากาศที่ไหลผ่านปีกด้านบนเร็วกว่าด้านล่าง จึงมีแรงยกตัวสูงกว่าแรงกด แรงยกตัวจึงดันปีกให้ลอยขึ้นทำให้นกบินได้ ปีกของเครื่องบินก็มีหลักการเดียวกันกับปีกของนก นอกจากนี้ยังมีการปรับตัวในเรื่องของลำตัวเบา คือ มีกระดูกพรุน และมีถุงลม (Air Sac) แทรกอยู่ตามโพรงกระดูก ถุงลมนี้มีท่อติดต่อกับปอดจึงเป็นที่เก็บอากาศสำรองให้กับปอดสำหรับการหายใจด้วย



รูปที่ 6.1.11 กล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการบินของนก (ก) แรงยกตัวจากการเคลื่อนที่ของลมผ่านปีกของนก (ข) และถุงลมของนก (ค)

สัตว์บางชนิดมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างร่างกาย เพื่อให้เหมาะกับการเคลื่อนที่ เช่น เปลี่ยนขาคู่หน้าไปเป็นแผ่นคล้ายใบพาย (Flipper) เช่น พะยูน โลมา และ เต่าทะเล เป็นต้น

6.2 ระบบโครงร่างของนก

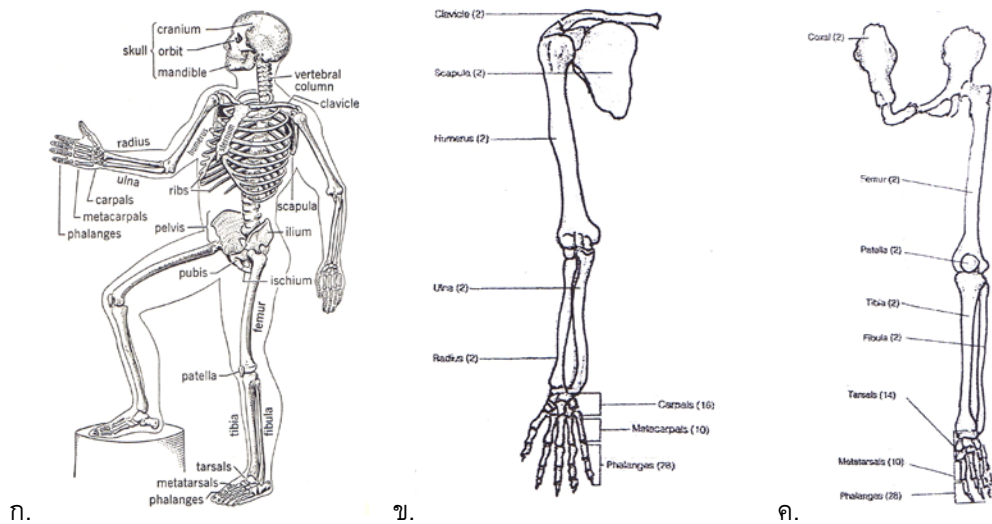
ระบบโครงกระดูก

กระดูกของนกมีมากกว่า 200 ชิ้น แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กระดูกแกน (Axial Skeleton) และกระดูกกระยางค์ (Appendicular Skeleton)

กระดูกแกน มี 80 ชิ้น ประกอบด้วย กระดูกกะโหลก (Skull) กระดูกใบหน้า (Facial Bone) กระดูกขากรรไกร กระดูกสันหลัง เริ่มตั้งแต่กระดูกคอไปจนถึงกระดูก ก้นกบ กระดูกสันหลังช่วงอกมีกระดูกซี่โครงมาเชื่อมต่อ ซึ่งมีทั้งหมด 12 คู่ ซึ่งจะมาเชื่อมต่อกับกระดูกหน้าอก (Sternum) ยกเว้นคู่ที่ 12 และ 13

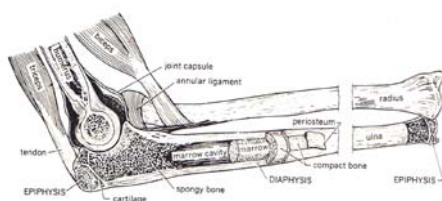
กระดูกกระยางค์ มี 126 ชิ้น ได้แก่ กระดูกแขน กระดูกขา กระดูกสะบัก (Scapula) กระดูกไหปลาร้า (Clavicle) และกระดูกเชิงกราน (Pelvis)

กระดูกแขน เป็นกระดูกยาว มีกระดูกสะบักและกระดูกไหปลาร้าเป็นฐานของแขน ประกอบด้วย กระดูกต้นแขน (Humerus) กระดูกปลายแขน มี 2 ชิ้น คือ กระดูกปลายแขนท่อนใน (Radius) และกระดูกปลายแขนท่อนนอก (Ulna) กระดูกข้อมือ (Carpal) กระดูกฝ่ามือ (Metacarpal) และกระดูกนิ้วมือ (Phalanges)



รูปที่ 6.2.1 โครงกระดูกของคน (ก) กระดูกแขน (ข) และ กระดูกขา (ค)

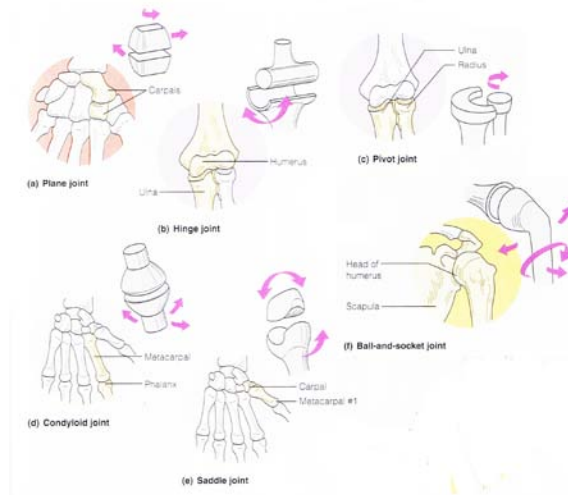
กระดูกขา เป็นกระดูกยาวเชื่อมต่อกับกระดูกเชิงกราน ประกอบด้วย กระดูกโคนขา (Femur) กระดูกขาส้นล่าง มี 2 ชิ้น คือ กระดูกหน้าแข้ง (Tibia) และกระดูกน่อง (Fibula) กระดูกข้อเท้า (Tarsal) กระดูกฝ่าเท้า (Metatarsal) และกระดูกนิ้วเท้า (Phalanges)



รูปที่ 6.2.2 โพรงกระดูกและไขกระดูก

ภายในกระดูกมีโพรงกระดูก (Marrow Cavity) ซึ่งภายในมีไขกระดูก (Bone Marrow) บรรจุอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระดูกท่อนยาว คือ กระดูกแขน ขา ไขกระดูกทำหน้าที่สร้างเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาว ผิวด้านนอกของกระดูกมีเยื่อหุ้มกระดูก (Periosteum) ซึ่งเป็นเซลล์กระดูกและเส้นเลือด ทำหน้าที่นำเลือดมาเลี้ยงเซลล์กระดูก และช่วยให้กล้ามเนื้อและเอ็นยึดติดกระดูกได้

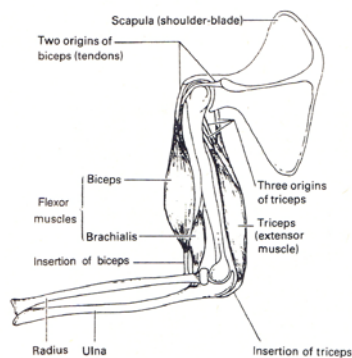
กระดูกแต่ละชิ้น เชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ (Joint) ซึ่งมีลักษณะต่าง ๆ กันที่ปลายกระดูกและข้อต่อมีกระดูกอ่อน (Cartilage) เคลือบอยู่ และมีน้ำไขข้อ (Synovial Fluid) อยู่ระหว่างกระดูกอ่อนที่ข้อต่อเพื่อช่วยลดการเสียดสีของกระดูก



รูปที่ 6.2.3 ข้อต่อแบบต่าง ๆ

(จาก Elane N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology. p. 245)

ระบบกล้ามเนื้อ



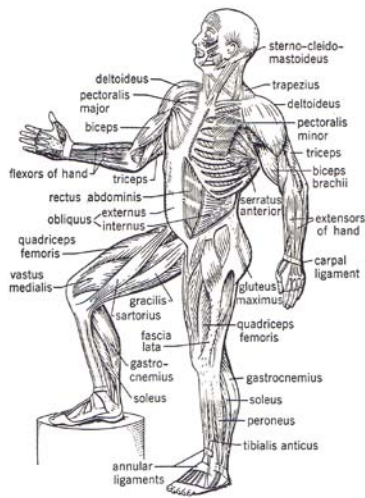
รูปที่ 6.2.4 กล้ามเนื้อของคนแสดง

Origin Insertion และ Bella

กล้ามเนื้อแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ กล้ามเนื้อลาย (Striated Muscle) กล้ามเนื้อเรียบ (Smooth Muscle) และกล้ามเนื้อหัวใจ (Cardiac Muscle)

กล้ามเนื้อลาย เป็นกล้ามเนื้อที่ยึดเกาะกับกระดูก มีลักษณะเป็นเส้นยาว เรียกว่า เส้นใยของกล้ามเนื้อ (Muscle Fiber) รวมกันเป็นมัดด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กล้ามเนื้อแต่ละมัดจะยึดติดกับกระดูก 2 ท่อน โดยปลายหนึ่งยึดกับกระดูกท่อนที่อยู่กับที่ เรียกปลายนี้ว่า Origin ส่วนอีกปลายหนึ่งยึดติดกับกระดูกท่อนที่เคลื่อนที่เรียกว่า Insertion ส่วนของกล้ามเนื้อที่อยู่ตรงกลาง มีลักษณะหนา เรียกว่า (Belly)

กล้ามเนื้อสเกเลตันที่สำคัญ

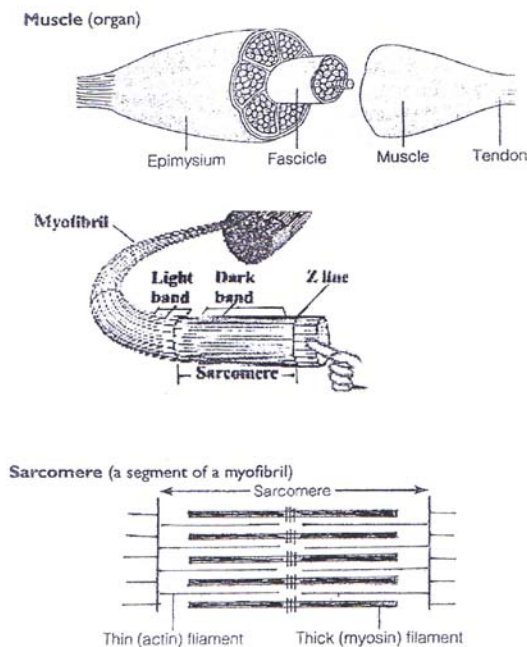


รูปที่ 6.2.5 กล้ามเนื้อสำคัญของร่างกาย

ชื่อของกล้ามเนื้อมักเรียกตามหน้าที่ เช่น Levator Scapulae เป็นกล้ามเนื้อยกไหล่ Extensor Carpi Ulnaris เป็นกล้ามเนื้อเหยียดมือ กล้ามเนื้อบางมัดเรียกชื่อตามตำแหน่งที่อยู่ เช่น Temporalis เป็นกล้ามเนื้อบริเวณขมับ Intercostal เป็นกล้ามเนื้อยี่ระหว่างกระดูกซี่โครง กล้ามเนื้อบางมัดเรียกชื่อตามรูปร่าง เช่น Biceps มีลักษณะเป็น 2 แฉก Triceps มีลักษณะเป็น 3 แฉก กล้ามเนื้อบางมัดก็ตั้งชื่อตามตำแหน่งที่ Origin และ Insertion

โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อ (Muscle Structure and Contraction)

กล้ามเนื้อสเกเลตัน (Skeletal Muscle) หรือกล้ามเนื้อลาย (Striated Muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่มีมากที่สุด เป็นโครงสร้างส่วนใหญ่ของร่างกาย อยู่ใต้ผิวหนัง อยู่รวมเป็นกลุ่มของมัดกล้ามเนื้อ ใน 1 มัด ประกอบด้วย เซลล์กล้ามเนื้อ (Muscle Fiber) ลักษณะยาวจำนวนมาก เซลล์เหล่านี้จะรวมกันเป็นมัดเล็ก ๆ เรียกว่า ฟาสซิเคิล (Fascicle) หลาย ๆ ฟาสซิเคิลรวมกัน เป็นมัดกล้ามเนื้อ (Muscle Bundle) โดยมีเยื่อเกี่ยวพันหุ้ม เรียกว่า เยื่อกล้ามเนื้อ (Epimysium) ซึ่งจะแทรกตัวเข้าไปหุ้มรอบฟาสซิเคิลด้วย เรียกว่า เพอริมิยเซียม (Perimysium) ทำให้เซลล์กล้ามเนื้อยึดติดกันอยู่ได้ และทำให้กล้ามเนื้อแต่ละกลุ่มหดตัวได้อย่างอิสระ ไม่ขึ้นต่อกัน ปลายกล้ามเนื้อแต่ละมัด เป็นเอ็น (Tendon) ที่จะยึดกับกระดูกและแผ่นเอ็นต่าง ๆ



รูปที่ 6.2.6 โครงสร้างของกล้ามเนื้อสkeletal

เซลล์ของกล้ามเนื้อสkeletal มีรูปร่างยาวทรงกระบอก ตลอดมัดกล้ามเนื้ออาจมีความยาวถึง 30 เซนติเมตร มีนิวเคลียสหลายอัน ภายในเซลล์ประกอบด้วย เส้นใยโปรตีน (Myofibril) 2 ชนิด คือ เส้นใยบาง (Thin Filament) ซึ่งเป็นโปรตีน actin 2 สายพันกัน และเส้นใยหนา (Thick Filament) เป็นโปรตีน myosin เส้นใยบางและเส้นใยหนาจัดเรียงตัวสลับกันเป็นระเบียบ เห็นเป็นลายตามขวางที่บ-างสลับกัน แถบจางในลายตามขวาง คือ I-band (Isotropic band) มีความยาว 1 ไมโครเมตร แถบที่บ คือ A-band (Anisotropic band) ยาว 1.6 ไมโครเมตร บริเวณตอนกลางของแถบ A มีช่องที่แถบจางไม่บรรจุ

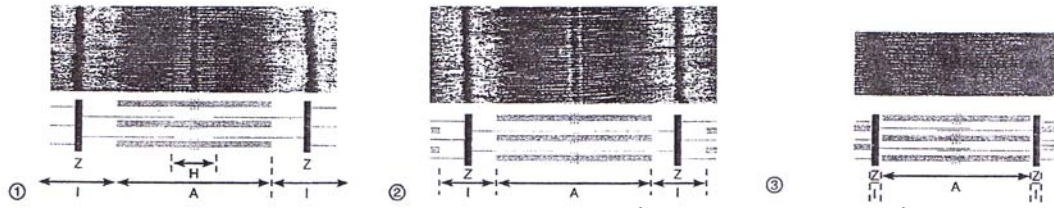
กัน เรียกว่า บริเวณ H (H-zone) และเส้นกลางของ H-zone คือ M-line ตรงกลางของแถบจางจะมีเส้นที่บเล็ก ๆ คือ เส้นซี (Z-line) ระยะห่างระหว่างเส้นซี 2 เส้น คือ ซาร์โคเมอร์ (Sarcomere) เป็นส่วนที่ี่การทำงานของกล้ามเนื้อ

การทำงานของกล้ามเนื้อ

กล้ามเนื้อทำงานโดยการหดตัว (Contraction)

1. ระยะพัก แถบที่บกับแถบจางซ้อนกันไม่สนิท เส้นใยกล้ามเนื้อจะเห็นเป็น 3 บริเวณ คือ I-band A-band และ H-zone
2. ระยะกล้ามเนื้อเริ่มหดตัว แถบบางจะถึง Z-line เข้ามา ทำให้ Sarcomere แคบเข้า โดยที่ A-band ไม่เปลี่ยนแปลง ส่วน I-band จะแคบเข้ามาทำให้ H-zone หายไป

3. ระยะกล้ามเนื้อหดตัวเต็มที่ Sarcomere ยืงแคบมากขึ้น เกิดจากการที่แถบบางมีการเหลื่อมซ้อนกัน การหดตัวของกล้ามเนื้อจึงอธิบายด้วย Sliding Filament Model คือรูปแบบของการเลื่อนเข้ามาซ้อนกันของ Filament

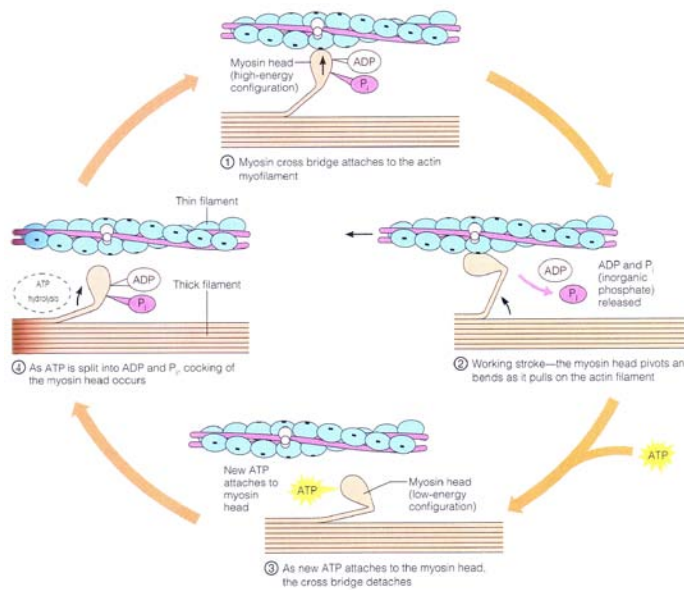


รูปที่ 6.2.7 การทำงานโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อ 1. ระยะพักของกล้ามเนื้อ
2. ระยะกล้ามเนื้อเริ่มหดตัว 3. ระยะกล้ามเนื้อหดตัวเต็มที่

กลไกการเกิด Sliding-Filament

การเลื่อนของ Filament เกิดขึ้นตามลำดับ ดังนี้

1. ส่วนหัวของไมโอซิน อยู่ในรูปของสารพลังงานสูง เนื่องจากการจับกับ ATP และถูกไฮโดรไลสได้ ADP และ P_i มาแล้ว พร้อมจะสร้างสะพานเชื่อมกับ actin ให้เป็นเส้นใย actin-myosin
2. ส่วนหัวของไมโอซิน จะงอและเบนเข้าหาเส้นใยแอกตินตรงตำแหน่งยึดเกาะ พร้อมปล่อย ADP และ P_i ออก
3. ส่วนหัวของไมโอซิน กลับมาอยู่ในรูปของสารพลังงานต่ำ ดึงเส้นใยแถบบาง (Thin Filament) ให้เข้าสู่ศูนย์กลางของซาร์โคเมียร์ หัวของไมโอซินหลุดออกจากสะพานเชื่อม พร้อมทั้งจะจับกับ ATP โมเลกุลใหม่
4. หัวของไมโอซิน จะเริ่มจับกับ ATP ใหม่ พร้อมกับไฮโดรไลส ATP ได้ $ADP + P_i$ หัวไมโอซินจึงกลับไปอยู่ในรูปสารพลังงานสูงได้ใหม่ เพื่อจะเริ่มต้นวงจรการทำงานใหม่



รูปที่ 6.2.8 วงจรการเกิด Sliding-Filament

(จาก Elane N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology. p. 271)

การควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ (Control of Muscle Contraction)

กล้ามเนื้อทำงานโดยการหดตัว ภายใต้การควบคุมของระบบประสาทด้วยการรับคำสั่งจากเซลล์ประสาทนำคำสั่ง (Motor Neuron) บริเวณที่เส้นประสาทมาสิ้นสุดที่กล้ามเนื้อสเกเลตัน คือ Motor Endplate เป็นบริเวณที่เส้นประสาทมาไซแนปส์ (Synapse) กับเซลล์กล้ามเนื้อ เรียกว่า Neuromuscular Synapse ซึ่งเป็นไซแนปส์เคมี (Chemical Synapse)

เมื่อเซลล์กล้ามเนื้อถูกกระตุ้นด้วยประสาทนำคำสั่ง จะเกิดการเร่งกล้ามเนื้อ (Excitation Contraction Coupling) กล้ามเนื้อที่ถูกกระตุ้นจะเกิดศักย์ไฟฟ้าส่งไปกระตุ้นให้มีการหลั่ง Ca^{2+} ออกจากกระเปาะส่วนปลายของซาร์โคพลาสมิก เรติคิวลัม (Sarcoplasmic Reticulum) ทำให้มีปริมาณ Ca^{2+} เพิ่มขึ้นในเซลล์ Ca^{2+} จะไปจับกับโทรโปนิน ซี (Troponin-C) ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว (Contraction) ช่วงเวลาตั้งแต่การเร้ากล้ามเนื้อจนถึงกล้ามเนื้อเริ่มหดตัวเรียกว่า ระยะพัก (Latent Period) ซึ่งใช้เวลาประมาณ 6-10 วินาที

เมื่อสิ้นสุดการทำงานของศักย์ไฟฟ้าบนผนังเซลล์กล้ามเนื้อ ผนังซาร์โคพลาสมิก เรติคิวลัมจะกลับไปสู่สภาพปกติ Ca^{2+} จะถูก pump กลับไปเก็บที่ซาร์โคพลาสมิก เรติคิวลัม ทำให้ไม่มี Ca^{2+} จับกับโทรโปนิน ซี และโทรโปไมโอซินจะเคลื่อนตัวไปปิดจุดเกาะไมโอซินบน

สายแอกตินดั้งเดิม ในขณะที่หัวไมโอซินก็เริ่มจับกับ ATP ตัวใหม่ ทำให้ไมโอซินแยกตัวออกจากแอกติน เส้นใยแถบบางจะเลื่อนออกจากเส้นใยแถบทึบ เกิดการคลายตัว (Relaxation) ของกล้ามเนื้อ

จะเห็นได้ว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อต้องมีปัจจัยสำคัญ 3 ประการ คือ เส้นใยกล้ามเนื้อ Ca^{+} และ ATP ถ้าวางกายขาด ATP หัวของไมโอซินจะเกาะติดกับแอกตินอย่างถาวร ทำให้กล้ามเนื้อหดตัวอย่างถาวร เรียกว่า Rigor Mortis เช่น ในคนที่เสียชีวิต ในคนที่ยังมีชีวิตร่างกายยังสร้างสาร ATP จึงมีการเปลี่ยนแปลงที่ไมโอซินและแอกตินตลอดเวลา ที่จุดเชื่อมเกาะของโปรตีน 2 ชนิดนี้จะมีการจับ-โยก-ปล่อย เป็นวงจรที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ตลอดเวลา การหดตัว-คลายตัวของกล้ามเนื้อจึงดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง

6.3 ความสัมพันธ์ในการทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อ

(Bone-Muscle Relationships)

กระดูกและกล้ามเนื้อเป็นโครงสร้างที่มีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี โดยมัดกล้ามเนื้อแต่ละมัดจะมีปลายที่เป็นเอ็น (Tendon) ยึดเกาะกับกระดูก ซึ่งมีตำแหน่ง Origin และ Insertion ของกล้ามเนื้อจะอยู่บนกระดูกคนละท่อนที่ติดต่อกัน ที่ยึดกันด้วยลิแกเมนต์ (Ligament) เมื่อกล้ามเนื้อทำงานโดยหดตัวจึงดึงให้กระดูกท่อนปลายยกหรือองขึ้นมาได้ ดังนั้น การทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อจึงเป็นระบบคาน (Lever System) ซึ่งเป็นสมดุลมอเมนต์ ดังนี้

ความพยายาม x ความยาวของแขนความพยายาม = น้ำหนัก x ความยาวของแขนน้ำหนัก

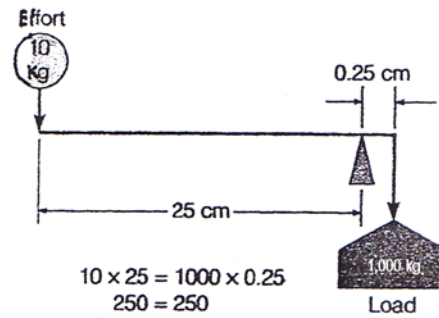
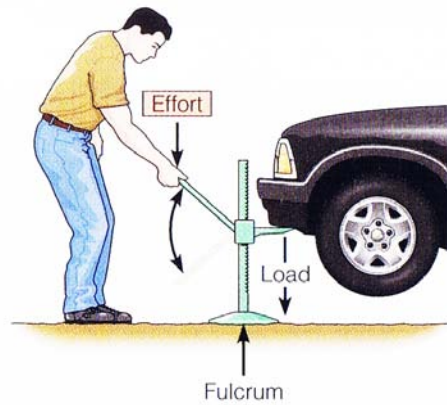
(Effort) (Length of effort arm) (Load) (Length of load arm)

หรือ แรง x ระยะทาง = แรงต้าน x ระยะทาง

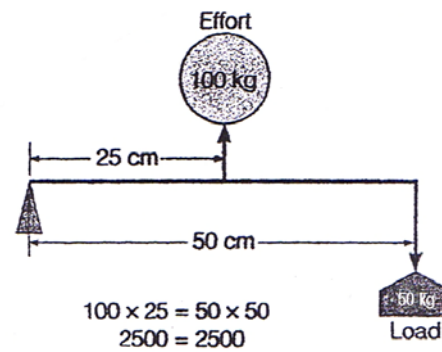
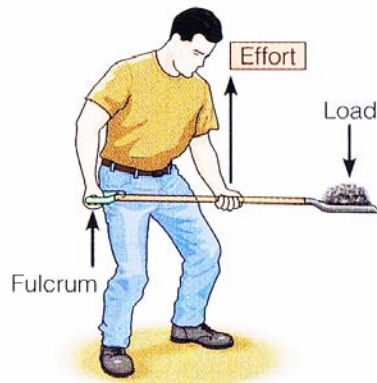
(Force) (Distance) (Resistance) (Distance)

ตัวอย่าง

การยกกรรตด้วยแม่แรง



การตักกวักตักด้วยพลั่ว

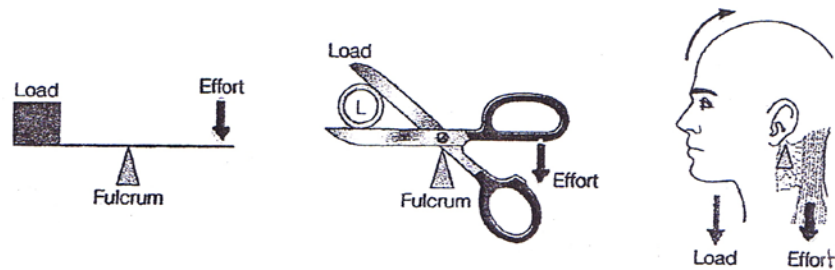


รูปที่ 6.3.1 การทำงานของกระดูกและกล้ามเนื้อ

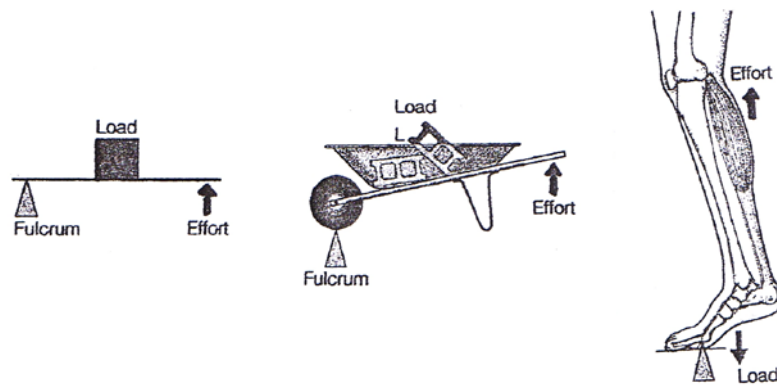
(จาก Elane N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology. p. 303)

ประเภทของคาน

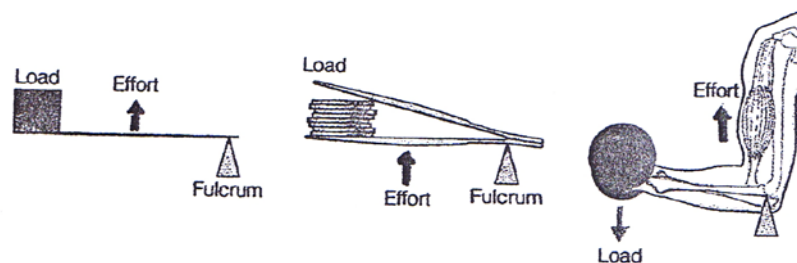
1. คานลำดับที่ 1 (First-class Lever) เช่น การแหงนหน้า



2. คานลำดับที่ 2 (Second-class Lever) เช่น การเขย่งเท้า



3. คานลำดับที่ 3 (Third-class Lever) เช่น การยกน้ำหนัก



รูปที่ 6.3.2 การทำงานของกล้ามเนื้อเกี่ยวกับกระดูกในระบบคาน (Lever System) แบบต่าง ๆ

(จาก Elaine N. Marieb, 1998. Human Anatomy & Physiology. p. 304)

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. กล้ามเนื้อโวลันทารีจะหดตัวได้ต้องถูกกระตุ้นโดยสารสื่อประสาทชนิดใด และมีไอออนชนิดใดซึมผ่านเข้าสู่ไซโทพลาสซึม
2. หมอนรองกระดูก (intertebral disc) ทำหน้าที่อะไร
3. การที่กล้ามเนื้อหัวใจทำงานได้อย่างต่อเนื่องและไม่เมื่อยล้า เนื่องมาจากปัจจัยอะไร
4. น้ำไขข้อ (Synovial fluid) มีหน้าที่และทำงานร่วมกับอวัยวะใด
5. การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินอาศัยการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อชนิดใด
6. อวัยวะที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของหมีก็ได้แก่อะไร และมีการทำงานอย่างไร
7. ในแมลงมีปีกที่บินได้โดยการทำงานของกล้ามเนื้อในลำตัวที่ยึดกับโครงแข็งของลำตัว 2 ชุด ทำให้ปีกขยับขึ้นลงได้ กล้ามเนื้อ 2 ชุดนี้คืออะไร และขณะปีกยกขึ้นกล้ามเนื้อ 2 ชุดนี้ทำงานอย่างไร
8. ในการยกวัตถุหนัก 10 กิโลกรัม ต้องออกแรงมากหรือน้อยกว่า 10 กิโลกรัม และเกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อชนิดใด ตามลำดับ
9. การทำงานของกล้ามเนื้อในการเคลื่อนที่ กล้ามเนื้อใช้พลังงานจากสารประกอบชนิดใด
10. ข้อต่อของกระดูกแบบลูกกลมในเบ้า (Ball and socket joint) ทำให้กระดูกระยางค์เคลื่อนไหวในทิศทางอย่างไร
11. การที่ปลาวาฬน้ำโดยลำตัวคดไปมาเป็นรูปตัวเอสเกิดจากการเรียงตัวของกล้ามเนื้อแบบใด
12. กล้ามเนื้อหัวใจทำงานอย่างต่อเนื่องและไม่เมื่อยล้าเกิดจากปัจจัยอะไร
13. Ligament และ Tendon ต่างกันอย่างไร