Compact

ชีววิทยา ม.5

ใหม่ ตรงตามหลักสูตรแกนกลาง พ.ศ. 2551

เล่ม 3

ตัวอย่าง

ดร.พจน์ แสงมณี
ขวัญสุดา ประวะภูโต

Compact

ชีววิทยา ม.5 เล่ม 3

ตรงตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พ.ศ. 2551
ของกระทรวงศึกษาธิการ

- สีทั้งเล่ม น่าอ่าน ช่วยในการจดจำ
- เนื้อหาละเอียดครอบคลุมสาระการเรียนรู้ชีววิทยา ม.5
- แบบทดสอบเน้นคิดวิเคราะห์และแก้ปัญหา โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ สามารถใช้วัดประเมินผลได้ด้วยตนเอง พร้อมเฉลยละเอียด
- ดัชนี และ INDEX ช่วยในการสืบค้นข้อมูลภายในเล่มได้อย่างรวดเร็ว
- สำหรับเตรียมสอบเก็บคะแนน กลางภาคเรียน ปลายภาคเรียน O-NET และ PAT ในระบบแอดมิสชั่นส์

ตัวอย่าง

ดร.พจน์ แสงมณี
ขวัญสุดา ประวะภูโต

Compact ชีววิทยา ม.5 เล่ม 3

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
พจน์ แสงมณี.
Compact ชีววิทยา ม.5 เล่ม 3. --กรุงเทพฯ : แม็ค, 2552.
368 หน้า.

1. ชีววิทยา--การศึกษาและการสอน. I. ขวัญสุดา ประวะภูโต, ผู้แต่งร่วม.
II. ชื่อเรื่อง.

570
ISBN 978-974-412-637-5

ตัวอย่าง

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย

MODERN ACADEMIC CENTER

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด
MAC PRESS CO., LTD.

ผู้เขียน : ดร.พจน์ แสงมณี และขวัญสุดา ประวะภูโต
สงวนลิขสิทธิ์ : ตุลาคม 2552
ราคาจำหน่าย : 310 บาท
การสั่งซื้อ : ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว 10310** ในนาม **บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด**
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทรเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
☎ : 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028
E-mail : macpress@MACeducation.com
www.MACeducation.com
พิมพ์ที่ : บริษัท ซี.วี.แอล.การพิมพ์ จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร)

คำนำ

Compact ชีววิทยา ม.5 เล่ม 3 นี้ เป็นหนึ่งในหนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ซึ่งบริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด ได้จัดทำขึ้นตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ของกระทรวงศึกษาธิการที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังนั้นหนังสือเล่มนี้จึงเหมาะกับนักเรียนที่กำลังศึกษาอยู่ทั้งสองหลักสูตร ตลอดจนครูและผู้ปกครองที่ต้องการเสริมความรู้เพิ่มเติมนอกเหนือจากบทเรียนให้แก่ศิษย์และบุตรหลาน

หนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา มีทั้งหมด 6 เล่ม แต่ละเล่มประกอบด้วยเนื้อหาทางชีววิทยาในระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ซึ่งอธิบายโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย มีรูปประกอบ 4 สีที่ช่วยในการจำ มีแบบฝึกหัดสำหรับทบทวนความรู้และแบบทดสอบที่สามารถใช้วัดประเมินผลได้ด้วยตนเอง พร้อมเฉลยอย่างละเอียดเพื่อเพิ่มความเข้าใจมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีดัชนีและ Index ที่ช่วยในการสืบค้นข้อมูลภายในเล่มได้อย่างรวดเร็ว

การจัดทำหนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ชุดนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนได้ศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง โดยทบทวนเนื้อหาและฝึกทำแบบฝึกหัดและแบบทดสอบอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการเพิ่มทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ให้ผู้เรียนรู้จักคิด วิเคราะห์ และแก้ปัญหา เพิ่มความมั่นใจและทักษะความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นพื้นฐานการเรียนรู้ในระดับสูง

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด หวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือคู่มือชุด Compact ชีววิทยา ชุดนี้จะอำนวยประโยชน์อย่างสูงสุดให้แก่ผู้เรียน ครู และผู้ปกครองต่อไป

บริษัท สำนักพิมพ์แม็ค จำกัด

ตัวอย่าง

สารบัญ

บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต 1

7.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว 1
7.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง 5
7.3 การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง 12
แบบทดสอบบทที่ 7 37
เฉลย 54

บทที่ 8 การรับรู้และการตอบสนอง 65

8.1 การรับรู้และการตอบสนอง 65
8.2 การตอบสนองของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสัตว์บางชนิด 66
8.3 เนื้อเยื่อประสาท 71
8.4 เซลล์ประสาท 71
8.5 การทำงานของเซลล์ประสาท 76
8.6 โครงสร้างของระบบประสาท 85
8.7 การทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง 97
8.8 อวัยวะรับความรู้สึก 103
แบบทดสอบบทที่ 8 119
เฉลย 135

ตัวอย่าง

บทที่ 9 ระบบต่อมไร้ท่อ 145

9.1 ต่อมไร้ท่อ 146
9.2 ฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อและอวัยวะที่สำคัญ 158
9.3 ฟีโรโมน 191
แบบทดสอบบทที่ 9 195
เฉลย 214

บทที่ 10 พฤติกรรมของสัตว์ 229

10.1 กลไกการเกิดพฤติกรรมของสัตว์ 231
10.2 ประเภทพฤติกรรมของสัตว์ 231
10.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมกับพัฒนาการของระบบประสาท 244
10.4 การสื่อสารระหว่างสัตว์ 246
แบบทดสอบบทที่ 10 252
เฉลย 260

บทที่ 11 การสืบพันธุ์และการเจริญเติบโตของสัตว์ 267

11.1 การสืบพันธุ์ 267
11.2 การเจริญเติบโตของสัตว์ 291
แบบทดสอบบทที่ 11 312
เฉลย 322

บรรณานุกรม 332

ดัชนี 333

INDEX 343

ตัวอย่าง

สารบัญรูป

- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตบางชนิด 1
- รูปแสดงการเคลื่อนที่แบบอะมีบา 2
- รูปแสดงการเคลื่อนที่โดยใช้แฟลเจลลัมและซีเลีย 3
- รูปแสดงโครงสร้างของแฟลเจลลัม 4
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของพารามีเซียมโดยการทำงานของซิเลีย 5
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของยูกลีนาโดยการพัดโบกของแฟลเจลลัม 5
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของไฮดราด้วยวิธีต่างๆ 6
- รูปแสดงโครงสร้างภายในลำตัวและการเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน 6
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของหมึก 7
- รูปแสดงโครงสร้างและระบบท่อน้ำของดาวทะเล 8
- รูปแสดงกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ และการเคลื่อนที่ของพลานาเรีย 9
- รูปแสดงโครงสร้างภายในและการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน 10
- รูปแสดงโครงสร้างขาของแมลง 11
- รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อของแมลงที่มีปีกขนาดเล็ก 11
- รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อยกปีกและกล้ามเนื้อกดปีกของแมลงขนาดใหญ่ 12
- รูปแสดงรูปร่างและครีบต่างๆ ของปลา 13
- รูปแสดงกล้ามเนื้อยึดติดกับกระดูกสันหลังของปลา 13
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของปลา 14
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของวาฬ 14
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ในลักษณะรูปตัวเอส (S) ของงูและตุ๊กแก 15
- รูปแสดงเต่าบกและเต่าที่อาศัยอยู่ในน้ำ 15
- รูปแสดงกล้ามเนื้อขากบและการเคลื่อนที่ของกบ 16
- รูปแสดงกล้ามเนื้อที่ควบคุมการขยับปีกของนก 17

ตัวอย่าง

- รูปแสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างภายนอกของปีกนกกับปีกเครื่องบิน ก. และการไหลของอากาศ และความดันอากาศที่กระทำต่อปีกนก ข. 18
- รูปแสดงโครงสร้างภายในของนก 19
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของปีกนกขณะบิน 19
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของเสือชีต้าและลักษณะของกระดูกสันหลัง 20
- รูปแสดงระบบโครงกระดูกของคน 20
- รูปแสดงกะโหลกศีรษะของคนที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว 21
- รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกสันหลัง 22
- รูปแสดงกระดูกหน้าอกและกระดูกซี่โครง 23
- รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกแขน 23
- รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกขาคน 24
- รูปแสดงกระดูกรูปร่างต่างๆ 26
- รูปแสดงโครงสร้างภายในกระดูก 27
- รูปแสดงกระดูกอ่อนของจมูก 27
- รูปแสดงตำแหน่งกระดูกอ่อนที่ใบหู 28
- รูปแสดงข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้ 29
- รูปแสดงข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้ 29
- รูปแสดงบริเวณข้อต่อของกระดูก 30
- รูปแสดงกล้ามเนื้อยึดกระดูก 30
- รูปแสดงกล้ามเนื้อหัวใจ 31
- รูปแสดงกล้ามเนื้อเรียบ 31
- รูปแสดงโครงสร้างของกล้ามเนื้อยึดกระดูก 32
- รูปแสดงโครงสร้างของไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนา 32
- รูปแสดงโครงสร้างของไมโครฟิลาเมนท์เส้นบาง 33
- รูปแสดงการเกาะกันระหว่างไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนากับเส้นบาง 33
- รูปแสดงขั้นตอนการหดตัวของกล้ามเนื้อ 34
- รูปแสดงร่างแหซาร์โคพลาสมิก 35
- รูปแสดงการควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยแคลเซียม 35
- รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อไบเซพและกล้ามเนื้อไตรเซพ 36
- รูปแสดงพฤติกรรมการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของสัตว์บางชนิด 65
- รูปแสดงเส้นใยประสานงานในเซลล์พารามีเซียม 66
- รูปแสดงโครงสร้างของฟองน้ำ 67

ตัวอย่าง

- รูปแสดงร่างแหประสาทของไฮดรา 67
- รูปแสดงระบบประสาทของพลานาเรีย 68
- รูปแสดงระบบประสาทของไส้เดือนดิน 68
- รูปแสดงระบบประสาทของแมลง 69
- รูปแสดงระบบประสาทของหมึก 69
- รูปแสดงวงประสาทของสัตว์จำพวกดาวทะเล 69
- รูปแสดงวิวัฒนาการสมองในสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่างๆ 70
- รูปแสดงสมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังขณะเป็นเอ็มบริโอ 71
- รูปแสดงการติดต่อระหว่างเยื่อไมอีลินกับเซลล์ชวันน์ 72
- รูปแสดงการเกิดเยื่อไมอีลิน 73
- รูปแสดงเซลล์ประสาทที่แอกซอนมีเยื่อไมอีลินหุ้ม 73
- รูปแสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาท 73
- รูปแสดงเซลล์ประสาทชนิดต่างๆ ที่จำแนกตามจำนวนใยประสาท 74
- รูปแสดงเซลล์ประสาทชนิดต่างๆ ที่จำแนกตามหน้าที่ 75
- รูปแสดงการวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอก
  และภายในเซลล์ประสาทของหมึก 76
- กระบวนการโซเดียม-โพแทสเซียมปั๊ม (Na^+–K^+ pump) 77
- รูปแสดงศักย์ไฟฟ้าขณะเซลล์อยู่ในระยะพัก 78
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงประจุไฟฟ้า เมื่อเกิดกระแสประสาท 79
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าขณะเซลล์ประสาทถูกกระตุ้น 80
- รูปแสดงการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเส้นประสาท
  ที่มีเยื่อไมอีลินและไม่มีเยื่อไมอีลิน 81
- รูปแสดงการถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท 81
- รูปแสดงไซแนปส์เคมีที่เกิดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาท 82
- รูปแสดงการส่งสื่อประสาทผ่านช่องไซแนปส์ 82
- รูปแสดงไซแนปส์ไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างเซลล์ประสาท 83
- รูปแสดงระบบประสาทของคน 85
- รูปแสดงโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลาง 86
- รูปแสดงสมองส่วนต่างๆ ของสมองคน 87
- รูปแสดงสมองส่วนเซรีบรัมส่วนต่างๆ 89
- รูปแสดงโครงสร้างภายนอกและภาคตัดขวางของไขสันหลัง 91
- รูปแสดงเส้นประสาทสมองของคน 93

ตัวอย่าง

- รูปแสดงการทำงานของเส้นประสาทสมองทั้ง 12 คู่ 94
- รูปแสดงการถ่ายทอดกระแสประสาทในไขสันหลัง 96
- รูปแสดงโครงสร้างของเส้นประสาทไขสันหลังภาคตัดขวาง 96
- รูปแสดงเส้นประสาทไขสันหลังบริเวณต่างๆ 97
- แผนภาพแสดงการทำงานของระบบประสาทในสัตว์มีกระดูกสันหลัง 98
- รูปแสดงรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อหัวเข่าถูกเคาะเบาๆ 99
- รูปแสดงรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อโดนตะปูตำ 99
- แผนภาพแสดงรีเฟล็กซ์อาร์ก 100
- รูปแสดงเซลล์ประสาทสั่งการของระบบประสาทโซมาติก 101
- รูปแสดงเซลล์ประสาทสั่งการของระบบประสาทอัตโนวัติ 101
- รูปแสดงระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก 102
- รูปแสดงโครงสร้างของนัยน์ตา 104
- รูปแสดงโครงสร้างและตำแหน่งของเซลล์ในชั้นเรตินา 105
- รูปแสดงเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวย 106
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของเลนส์ตาขณะมองภาพวัตถุที่อยู่ไกล ก. และภาพวัตถุที่อยู่ใกล้ ข. 107
- รูปแสดงลักษณะสายตาสั้นและการแก้ไขสายตาสั้นด้วยเลนส์เว้า 108
- รูปแสดงลักษณะสายตายาวและการแก้ไขสายตายาวด้วยเลนส์นูน 108
- รูปแสดงแผนภาพเส้นสีดำตามแนวต่างๆ เพื่อใช้ทดสอบสายตาเอียง 108
- รูปแสดงลักษณะสายตาเอียงและการแก้ไขสายตาเอียง โดยการใช้เลนส์ทรงกระบอก 108
- แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสารโรดอปซินในเซลล์รูปแท่ง 109
- รูปแสดงการมองเห็นแสงสีต่างๆ 109
- รูปแสดงโครงสร้างของหูคน 112
- รูปแสดงกระดูกหู 3 ชิ้น 113
- รูปแสดงโครงสร้างหูส่วนใน 113
- รูปแสดงตำแหน่งและโครงสร้างของคอเคลียในหูส่วนใน 114
- รูปแสดงโครงสร้างของเซมิเซอร์คิวลาร์แคแนล 115
- รูปแสดงโครงสร้างของจมูก 116
- รูปแสดงโครงสร้างของลิ้น 116
- รูปแสดงตำแหน่งที่มีตุ่มรับรส 4 ชนิดของลิ้น 117
- รูปแสดงโครงสร้างของผิวหนังและตำแหน่งของปลายประสาทรับความรู้สึกในชั้นหนังแท้ 118

ตัวอย่าง

- รูปแสดงการควบคุมการทำงานด้วยสารเคมีต่างๆ 145
- รูปแสดงโครงสร้างต่อมมีท่อและต่อมไร้ท่อ 146
- รูปแสดงตำแหน่งของต่อมไร้ท่อต่างๆ ในร่างกายคน 147
- รูปแสดงเซลล์พาเรนไคมาในต่อมไร้ท่อ 148
- รูปแสดงเซลล์เยื่อบุผิวในต่อมไร้ท่อ 148
- รูปแสดงโครงสร้างนิวโรซีครีทอรีเซลล์ 148
- รูปแสดงการลำเลียงฮอร์โมนจากต่อมไร้ท่อ 149
- รูปแสดงโครงสร้างของฮอร์โมนประเภทโปรตีนหรือพอลิเพปไทด์บางชนิด 151
- รูปแสดงสูตรโครงสร้างของฮอร์โมนประเภทเอมีนบางชนิด 152
- รูปแสดงโครงสร้างของฮอร์โมนประเภทสเตรอยด์บางชนิด 152
- รูปแสดงการเกิด cAMP 154
- รูปแสดงการทำงานของ cAMP 155
- รูปแสดงการกระตุ้นเอนไซม์โปรตีนไคเนส 155
- รูปแสดงกลไกการทำงานของฮอร์โมนที่ออกฤทธิ์ที่เยื่อหุ้มเซลล์ 156
- รูปแสดงการออกฤทธิ์ของฮอร์โมนภายในเซลล์ 156
- แผนภาพแสดงการควบคุมแบบย้อนกลับ 157
- รูปแสดงตำแหน่งของต่อมไพเนียล 159
- รูปแสดงตำแหน่งและโครงสร้างของต่อมใต้สมอง 160
- รูปแสดงการทำงานของต่อมใต้สมอง 161
- รูปแสดงสูตรโครงสร้างของโกรทฮอร์โมนของคน 161
- รูปแสดงผู้มีอาการโรคยักษ์ (gigantism) 162
- รูปแสดงลักษณะอาการอะโครเมกาลี (acromegaly) 162
- รูปแสดงผู้มีอาการโรคเตี้ยแคระ (dwarfism) 163
- รูปแสดงการกระจายของเม็ดสีในเซลล์ผิวของกบ 164
- รูปแสดงการควบคุมการสร้างและการขับน้ำนม 165
- รูปแสดงลักษณะของต่อมไทรอยด์ 166
- รูปแสดงเมทามอร์โฟซิสของกบที่เกิดจากการทำงานของฮอร์โมนไทรอกซิน 167
- รูปแสดงผู้ป่วยโรคเครทินิซึม 168
- รูปแสดงผู้ป่วยโรคมิกซีดีมา 168
- รูปแสดงผู้ป่วยโรคคอหอยพอกแบบธรรมดาและคอหอยพอกเป็นพิษ 169

ตัวอย่าง

- รูปแสดงโครงสร้างของต่อมพาราไทรอยด์และการเรียงตัวของเซลล์ภายในต่อมพาราไทรอยด์ 169
- รูปแสดงการควบคุมสมดุลของแคลเซียม 170
- รูปแสดงโครงสร้างของตับอ่อน และกลุ่มเซลล์ไอส์เลตออฟแลงเกอร์ฮานส์ 172
- รูปแสดงโครงสร้างของฮอร์โมนอินซูลินในคน 173
- กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของคนปกติ 173
- รูปแสดงการเปลี่ยนไกลโคเจนให้เป็นกลูโคสโดยฮอร์โมนกลูคากอน 174
- รูปแสดงการทำงานของฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอนในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด 175
- กราฟแสดงระดับน้ำตาลในเลือดของคนปกติกับผู้ป่วยโรคเบาหวาน 176
- รูปแสดงโครงสร้างของต่อมหมวกไต 177
- รูปแสดงผู้ป่วยโรคคูชชิง 178
- รูปแสดงอาการผู้ป่วยโรคแอดดิสัน 179
- แผนผังแสดงการสังเคราะห์ฮอร์โมนเพศจากต่อมหมวกไตส่วนนอก 180
- รูปแสดงการสังเคราะห์ฮอร์โมนเอพิเนฟรินและนอร์เอพิเนฟริน 181
- รูปแสดงการทำงานของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของต่อมหมวกไต 182
- รูปแสดงอัณฑะและกลุ่มเซลล์อินเตอร์สติเชียล 183
- รูปแสดงรังไข่ในอวัยวะเพศหญิง 184
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนฟอลลิเคิลและผนังมดลูกในช่วงต่างๆ ของรอบประจำเดือน 185
- รูปแสดงการหลั่งฮอร์โมนเพศในเพศหญิง 186
- รูปแสดงโครงสร้างภายในของต่อมไทมัส 186
- รูปแสดงตำแหน่งที่มีการหลั่งฮอร์โมนในทางเดินอาหาร 187
- รูปแสดงการหลั่งรีลิสเซอร์ฟีโรโมนดึงดูดเพศตรงกันข้ามเพื่อการผสมพันธุ์ในสัตว์บางชนิด 192
- รูปแสดงการหลั่งรีลีสเซอร์ฟีโรโมนของมดเพื่อบอกทิศทางให้กับมดตัวอื่นๆ 192
- รูปแสดงพฤติกรรมของสัตว์บางชนิด 229
- รูปแสดงพฤติกรรมไคนีซิสของพารามีเซียมเพื่อตอบสนองต่อฟองแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 232

ตัวอย่าง

- รูปแสดงพฤติกรรมแบบแทกซิสของค้างคาว โดยการบินเข้าหาแหล่งอาหารตามเสียงสะท้อน 233
- รูปแสดงพฤติกรรมแบบรีเฟล็กซ์เมื่อถูกเคาะที่หัวเข่าเบาๆ 234
- รูปแสดงการดูดนมมารดาของเด็กทารกซึ่งเป็นพฤติกรรมแบบรีเฟล็กซ์ต่อเนื่อง 234
- รูปแสดงการชักใยของแมงมุม 235
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของกบ 236
- รูปแสดงพฤติกรรมแบบแฮบบิชูเอชันของนก 237
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมแบบฝังใจของลูกห่าน 238
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขของสุนัข 240
- รูปแสดงพฤติกรรมการเรียนรู้แบบมีเงื่อนไขของพลานาเรีย 241
- รูปแสดงการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้แบบลองผิดลองถูกของไส้เดือนดิน 241
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้แบบลองผิดลองถูกของหนูและมด 242
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมของสุนัขแบบลองผิดลองถูกเพื่อจะกินอาหารได้ 243
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้แบบใช้เหตุผลของลิงชิมแปนซี 243
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมในการแก้ปัญหาเปรียบเทียบระหว่างเด็ก 6 ขวบ สุนัข และไก่ 244
- กราฟแสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่พบในสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ 245
- รูปแสดงการศึกษาพฤติกรรมที่เกิดจากการสื่อสารด้วยเสียงของไก่ 247
- รูปแสดงการส่งเสียงเรียกเตือนภัยของกระรอก 247
- รูปแสดงการเต้นรำของผึ้งเพื่อบอกปริมาณและแหล่งอาหาร 249
- รูปแสดงการสื่อสารด้วยท่าทางของปลาสติกเคิลแบบสามหนามในช่วงฤดูการผสมพันธุ์ 250
- รูปแสดงการสื่อสารของมดเพื่อบอกทิศทางของแหล่งอาหาร 251
- รูปแสดงการสื่อสารของสัตว์ด้วยการสัมผัส 251
- รูปแสดงการสืบพันธุ์ของสัตว์ 267
- รูปแสดงความเชื่อของการเกิดกบและปลาจากโคลนและซากพืชซากสัตว์ 268
- รูปแสดงการทดลองเรดิเพื่อพิสูจน์ว่าสิ่งมีชีวิตเกิดจากสิ่งมีชีวิต 268
- รูปแสดงการทดลองครั้งที่ 2 เพื่อพิสูจน์ว่าสิ่งมีชีวิตเกิดจากสิ่งมีชีวิตเดียวกัน 269

ตัวอย่าง

- รูปแสดงการปฏิสนธิภายนอกของกบ 269
- รูปแสดงการปฏิสนธิภายในของเต่า 270
- รูปแสดงการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว 271
- รูปแสดงการแตกหน่อของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว 272
- รูปแสดงการเกิดคอนจูเกชันของพารามีเซียม 272
- รูปแสดงการงอกใหม่ของสัตว์ต่างๆ 273
- รูปแสดงการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของไฮดรา 274
- รูปแสดงการสืบพันธุ์ของไส้เดือนดิน 274
- รูปแสดงระบบสืบพันธุ์ของแมลง 275
- รูปแสดงการสืบพันธุ์แบบสลับของแมงกะพรุน 276
- รูปแสดงระบบสืบพันธุ์เพศชาย 277
- รูปแสดงโครงสร้างของอัณฑะ 278
- รูปแสดงกลุ่มเซลล์อินเตอร์สติเชียส 278
- รูปแสดงเนื้อเยื่อต่อมลูกหมาก 279
- รูปแสดงเนื้อเยื่อต่อมคาวเปอร์ 279
- รูปแสดงกระบวนการสร้างและโครงสร้างของอสุจิ 281
- รูปแสดงระบบสืบพันธุ์เพศหญิง 282
- รูปแสดงโครงสร้างของรังไข่และการเปลี่ยนแปลงภายในรังไข่ 283
- รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฮอร์โมนกับการเปลี่ยนแปลงของรังไข่และผนังมดลูก 284
- รูปแสดงกระบวนการสร้างเซลล์ไข่ 285
- รูปแสดงการปฏิสนธิระหว่างอสุจิกับเซลล์ไข่และการเคลื่อนที่ของตัวอ่อนไปฝังตัวที่ผนังมดลูก 286
- รูปแสดงทารกขณะอยู่ในครรภ์มารดาและโครงสร้างของมดลูกที่เกี่ยวข้อง 287
- รูปแสดงการมีประจำเดือนของเพศหญิง 288
- รูปแสดงการทำหมัน 288
- รูปแสดงการคุมกำเนิดชั่วคราว 289
- รูปแสดงการสร้างทารกในหลอดแก้ว 290
- รูปแสดงการทำอิ๊กซี่ 290
- รูปแสดงการทำกิ๊ฟต์ 290
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่าง 292

ตัวอย่าง

- กราฟแสดงการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต 293
- รูปแสดงสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว 294
- รูปแสดงโครงสร้างของไข่กบ 294
- รูปแสดงการเกิดระยะคลีเวจของกบ 295
- รูปแสดงระยะบลาสทูเลชันของกบ 296
- รูปแสดงระยะแกสทรูเลชันของกบ 296
- รูปแสดงระยะออร์แกนโนเนซิสของกบ 298
- รูปแสดงการเจริญเติบโตจากเอ็มบริโอเป็นตัวอ่อน (ลูกอ๊อด) ของกบ 299
- รูปแสดงการเจริญเติบโตของกบ 299
- รูปแสดงสัตว์ที่มีเมทามอร์โฟซิสแบบสมบูรณ์ 300
- รูปแสดงสัตว์ที่มีเมทามอร์โฟซิสแบบไม่สมบูรณ์ 300
- รูปแสดงสัตว์ที่มีเมทามอร์โฟซิสแบบค่อยเป็นค่อยไป 300
- รูปแสดงสัตว์ที่ไม่มีเมทามอร์โฟซิส 301
- รูปแสดงโครงสร้างของไข่ไก่ 301
- รูปแสดงการแบ่งเซลล์ระยะคลีเวจบริเวณเจอร์มินัลดิสค์ของเซลล์ไข่ไก่ 302
- รูปแสดงระยะแกสทรูเลชันของไก่ 302
- รูปแสดงระยะออร์แกโนเจเนซิสขั้นต้นของไก่ 302
- รูปแสดงการเจริญของเอ็มบริโอไก่ 303
- รูปแสดงการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอของคนเมื่อเริ่มปฏิสนธิ
  จนกระทั่งไปฝังตัวที่ผนังมดลูกด้านใน 305
- รูปแสดงการสร้างเนื้อเยื่อ 3 ชั้นของเอ็มบริโอ 306
- รูปแสดงเอ็มบริโอในระยะต่างๆ 307
- รูปแสดงฟีตัสขณะที่อยู่ในครรภ์มารดา 308
- รูปแสดงการเจริญเติบโตของคนตั้งแต่ระยะเอ็มบริโอจนมีอายุ
  ครบ 280 วัน 308
- รูปแสดงการคลอดทารกออกจากครรภ์มารดา 309
- รูปแสดงการเปลี่ยนแปลงของร่างกายที่มีการเจริญเติบโตตั้งแต่เป็นฟีตัส
  จนถึงวัยผู้ใหญ่ 310
- รูปแสดงการเกิดฝาแฝด 310

ตัวอย่าง

สารบัญตาราง

- ตารางแสดงกระดูกชนิดต่างๆ ในระบบโครงกระดูกของคน 25
- ตารางการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก 103
- ตารางแสดงระยะเวลาในการทำงานของฮอร์โมน 158
- ตารางสรุปต่อมไร้ท่อและฮอร์โมนชนิดต่างๆ 188-191
- ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพัฒนาการของระบบประสาท กับพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต 246
- ตารางเปรียบเทียบระหว่างการเจริญของตัวอ่อนของกบและไก่ 304

ตัวอย่าง

บทที่ 7 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต

ลักษณะสำคัญประการหนึ่งของสิ่งมีชีวิตคือความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้า การเคลื่อนที่ (locomotion) เป็นพฤติกรรมหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า ทั้งสิ่งเร้าภายนอกและภายในร่างกาย ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตในการหาอาหาร การหลบภัย หรือการเคลื่อนที่เพื่อหลีกหนีสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งการเคลื่อนที่เพื่อการสืบพันธุ์สำหรับการดำรงเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตชนิดนั้น ๆ

รูปแสดงการเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตบางชนิด

การเคลื่อนที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของอวัยวะในระบบต่าง ๆ ได้แก่ อวัยวะในระบบประสาท ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบกล้ามเนื้อ และระบบโครงกระดูก โครงสร้างของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดเกี่ยวข้องกับความซับซ้อนในการควบคุมสั่งการและประสานของอวัยวะในระบบต่าง ๆ ซึ่งมีผลต่อรูปแบบการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

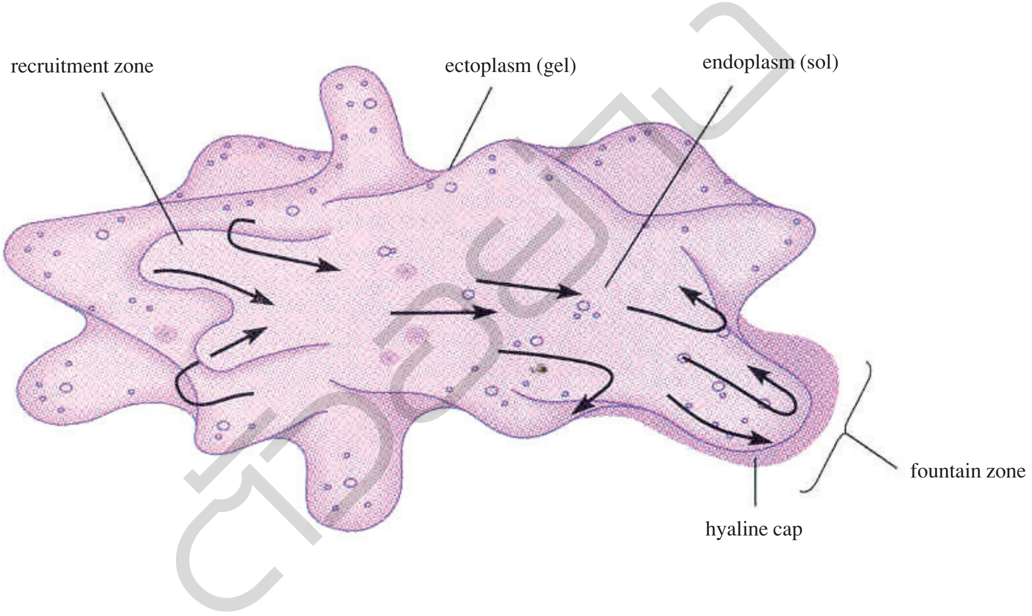
7.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว

การเคลื่อนที่แบบอะมีบา

การเคลื่อนที่แบบอะมีบา (amoeboid movement) พบในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวจำพวกโพรโทซัวบางชนิด นอกจากนี้ยังพบในเซลล์เม็ดเลือดขาว

ตัวอย่าง

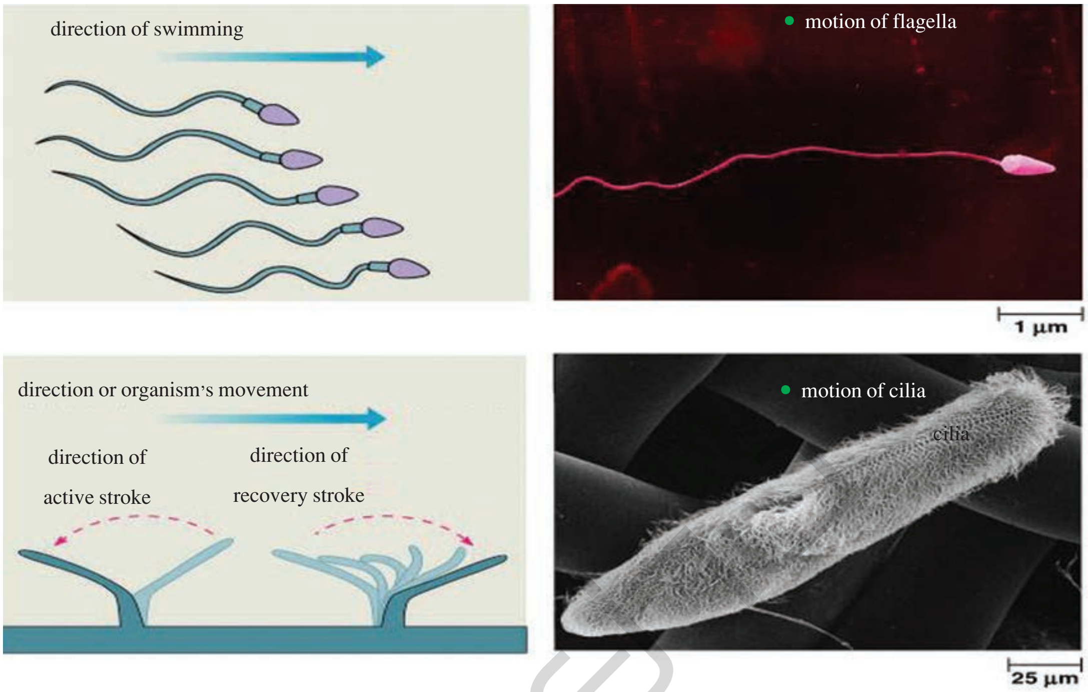
อะมีบาเป็นโพรโทซัวที่ไม่มีโครงสร้างสำหรับการเคลื่อนที่โดยเฉพาะ แต่มีการสร้างเท้าเทียม (pseudopodium) โดยการไหลของไซโทพลาซึมเพื่อช่วยในการเคลื่อนที่ ไซโทพลาซึมของเซลล์อะมีบา แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เอ็กโทพลาซึม (ectoplasm) เป็นไซโทพลาซึมชั้นนอก มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว เรียกว่า **เจล (gel)** และเอนโดพลาซึม (endoplasm) เป็นไซโทพลาซึมชั้นใน มีลักษณะค่อนข้างเหลว เรียกว่า **โซล (sol)** ภายในไซโทพลาซึมมีเส้นใยโปรตีนเล็ก ๆ เรียกว่า **ไมโครฟิลาเมนท์ (microfilament)** ซึ่งมีโปรตีนแอกทิน (actin) เป็นส่วนประกอบ การเปลี่ยนแปลงของแอกทินโดยการแยกตัวของแอกทินออกเป็นหน่วยย่อย ทำให้ไซโทพลาซึมเปลี่ยนสภาพจากเจลเป็นโซล แต่เมื่อมีการรวมตัวกันของแอกทินจะทำให้ไซโทพลาซึมเปลี่ยนสภาพจากโซลเป็นเจลได้ ทำให้เกิดการไหลของไซโทพลาซึม โดยไซโทพลาซึมที่เหลวกว่าจะไหลไปในทิศทางที่เซลล์ต้องการเคลื่อนที่ โดยดันให้เยื่อหุ้มเซลล์โป่งออกเรียกว่า **เท้าเทียม** จากนั้นไซโทพลาซึมส่วนที่เหลือจะเคลื่อนตามในทิศทางเดียวกับเท้าเทียม จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอะมีบา



รูปแสดงการเคลื่อนที่แบบอะมีบา

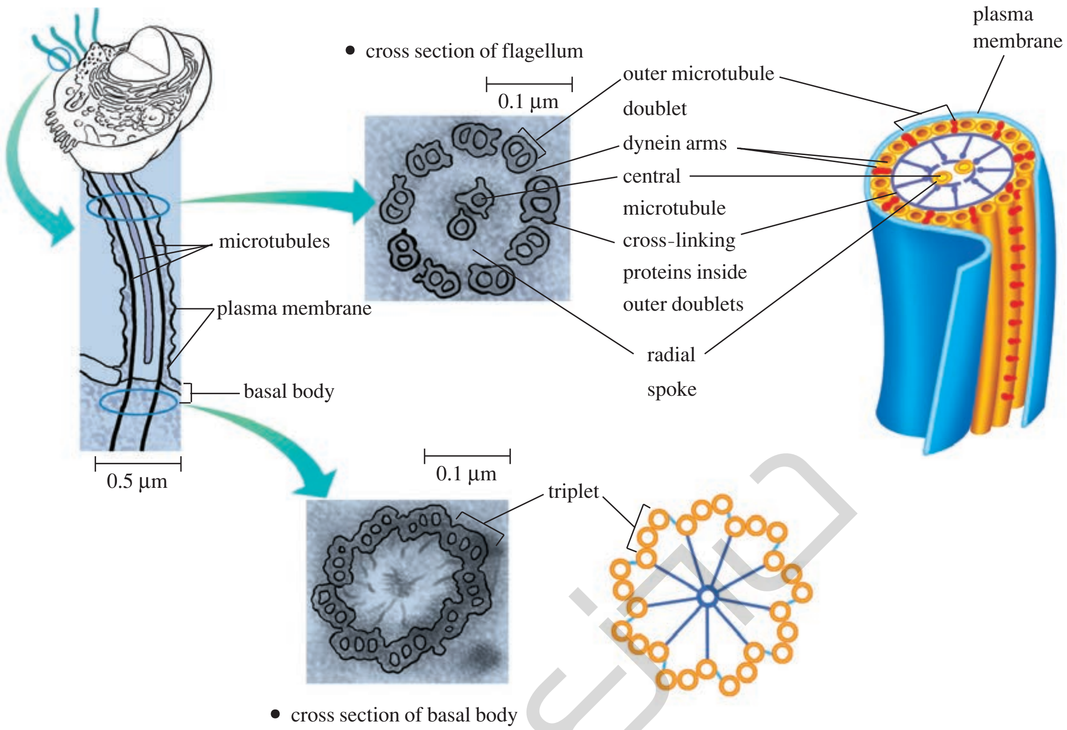
การเคลื่อนที่โดยใช้แฟลเจลลัมและซิเลีย

แฟลเจลลัม (flagellum) เป็นโครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่พบในโพรโทซัวบางชนิด เช่น trypanosoma trichomonad มีลักษณะเป็นเส้นมีความยาวประมาณ 100–200 ไมครอน มีจำนวนเพียง 1 หรือ 2 อัน ส่วน **ซิเลีย (cilia)** พบในโพรโทซัวบางชนิด เช่น *Paramecium, Vorticella, Stylonychia, Stentor* ซิเลียมีลักษณะคล้ายแฟลเจลลัมแต่มีความยาวเพียง 2–10 ไมครอน และมีจำนวนมากกว่า ทั้งซิเลียและแฟลเจลลัมมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ไมครอน



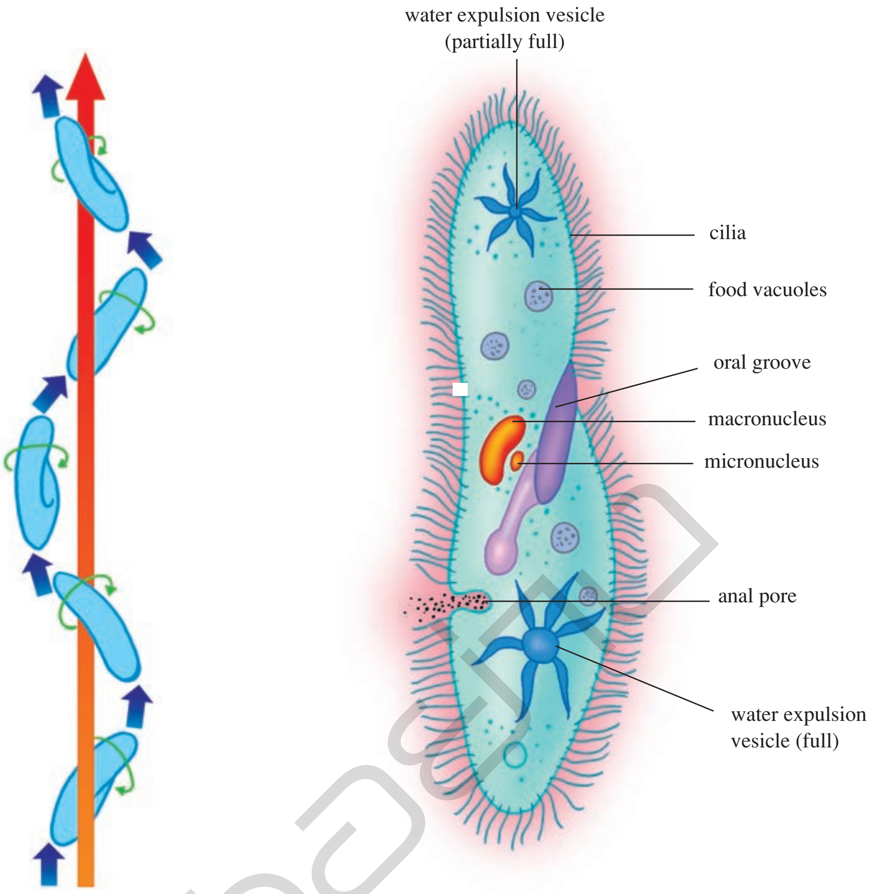
รูปแสดงการเคลื่อนที่โดยใช้แฟลเจลลัมและซิเลีย

โครงสร้างภายในแฟลเจลลัมและซิเลียจะค้ำจุนด้วยหลอดโปรตีนไมโครทิวบูล (microtubules) โดยไมโครทิวบูลมีการจัดเรียงตัวเป็นวง 9 กลุ่ม ๆ ละ 2 หลอด และตรงแกนกลางอีก 2 หลอด การจัดเรียงตัวของไมโครทิวบูลลักษณะเช่นนี้เรียกว่า 9 + 2 ไมโครทิวบูลถูกล้อมรอบด้วยเยื่อบาง ๆ ซึ่งเป็นเยื่อที่ติดต่อกับเยื่อหุ้มเซลล์ แฟลเจลลัมหรือซิเลียสามารถพัดโบกหรือโค้งงอได้ เนื่องจากการทำงานของ**โปรตีนไดนีน (dynein)** ที่อยู่ระหว่างไมโครทิวบูลที่เรียงเป็นวง โดยทำหน้าที่เป็นเหมือนแขนที่เกาะกับไมโครทิวบูลจึงเรียกว่า **ไดนีนอาร์ม (dynein arm)** การพัดโบกหรือการโค้งงอของแฟลเจลลัมหรือซิเลียทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม การทำงานของแฟลเจลลัมหรือซิเลียถูกควบคุมโดย**เบซัลบอดี (basal body)** หรือ**ไคนีโทโซม (kinetosome)** ซึ่งเป็นโครงสร้างที่อยู่ในเยื่อหุ้มบริเวณโคนของแฟลเจลลัมหรือซิเลีย ภายในเบซัลบอดีมีการจัดเรียงตัวของไมโครทิวบูลในลักษณะ 9 + 0 กล่าวคือ ไมโครทิวบูลเรียงตัวเป็น 9 กลุ่ม ๆ ละ 3 หลอด แต่ไม่มีไมโครทิวบูลอยู่ตรงกลาง ได้มีการทดลองตัดเอาเบซัลบอดีออก พบว่าแฟลเจลลัมหรือซิเลียไม่สามารถเคลื่อนไหวได้

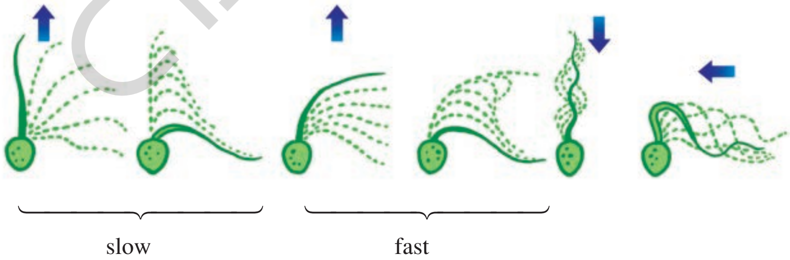


รูปแสดงโครงสร้างของแฟลเจลลัม

การเคลื่อนไหวของแฟลเจลลัมหรือซิเลียที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซลล์นั้นพบว่า แฟลเจลลัมจะมีการเคลื่อนไหวแบบคลื่นอยู่เสมอ ส่วนซิเลียจะเคลื่อนไหวแบบแกว่งคล้ายใบพาย แต่ซิเลียในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์จะเคลื่อนไหวแบบโค้งลงแล้วตวัดตั้งตรงมีลักษณะคล้ายคลื่น นักวิทยาศาสตร์ได้อธิบายกลไกการเคลื่อนไหวของแฟลเจลลัมและซิเลียไว้ว่า เมื่อเบซัลบอดีได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้า แรงกระตุ้นจะถูกส่งไปยังหลอดไมโครทิวบูลตรงแกนกลาง 2 หลอดของแฟลเจลลัมหรือซิเลีย ซึ่งจะทำให้ไมโครทิวบูลด้านข้างหดตัวอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้แฟลเจลลัมหรือซิเลียเกิดการสะบัดอย่างแรง เมื่อเบซัลบอดีส่งแรงกระตุ้นครั้งต่อไป การสะบัดจะลดความแรงลงกว่าครั้งแรก เพราะฉะนั้นไมโครทิวบูลจะหดตัวอย่างช้า ๆ ทำให้แฟลเจลลัมหรือซิเลียสะบัดกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมอย่างช้า ๆ การสะบัดของแฟลเจลลัมหรือซิเลียที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโพรทิสต์



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของพารามีเซียมโดยการทำงานของซิเลีย



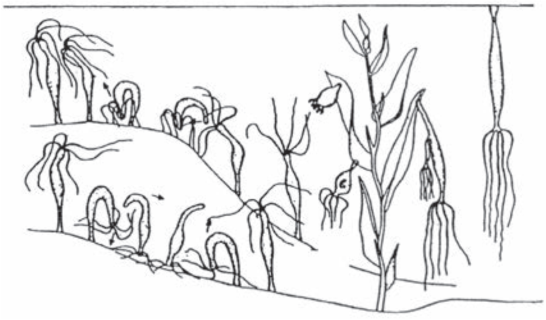
รูปแสดงการเคลื่อนที่ของยูกลีนาโดยการพัดโบกของแฟลเจลลัม

7.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อที่ถูกควบคุมโดยระบบประสาท ดังนั้น การเคลื่อนที่ของสัตว์จึงมีประสิทธิภาพมากกว่าสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว รูปแบบการเคลื่อนที่ของสัตว์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไป

การเคลื่อนที่ของไฮดรา

การเคลื่อนที่ของไฮดราเกิดจากการทำงานของเซลล์บางเซลล์ในเนื้อเยื่อชั้นนอก ทำหน้าที่คล้ายกล้ามเนื้อ การเคลื่อนที่ของไฮดราจึงเกิดจากการยืดและหดของลำตัว รวมทั้งเกิดจากการเคลื่อนไหวของหนวดหรือเทนทาเคิลด้วย ไฮดรามีการเคลื่อนที่หลายลักษณะ เช่น การเคลื่อนที่โดยการคืบไปคล้ายหนอน การตีลังกา การแขวนตัวอยู่กับผิวน้ำ หรือการลอยตัว

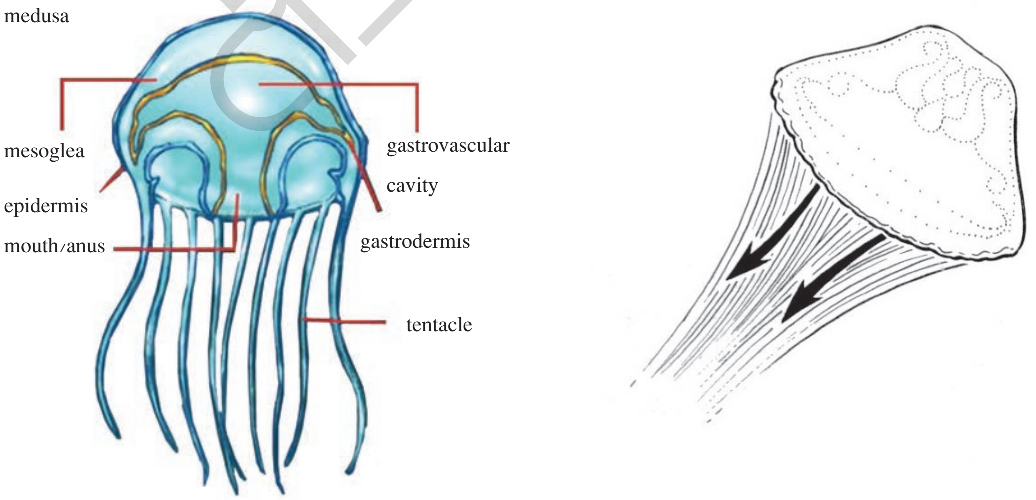


รูปแสดงการเคลื่อนที่ของไฮดราด้วยวิธีต่าง ๆ

การเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน

แมงกะพรุนเป็นสัตว์ชั้นต่ำอยู่ในกลุ่มเดียวกับไฮดรา แต่มีรูปร่างที่แตกต่างกัน จึงมีวิธีการเคลื่อนที่แตกต่างออกไป เนื่องจากแมงกะพรุนมีรูปร่างของลำตัวคล้ายกระดิ่ง และมีของเหลวที่เรียกว่า **มีโซเกลีย (mesoglea)** แทรกอยู่ การหดตัวของเนื้อเยื่อบริเวณขอบกระดิ่งและผนังที่ลำตัวสลับกันทำให้น้ำในลำตัวพ่นออกมาทางด้านล่างขณะเดียวกันแรงดันของน้ำจะผลักตัวแมงกะพรุนให้พุ่งไปในทิศทางตรงกันข้ามกับน้ำที่พ่นออกมา การหดตัวของขอบกระดิ่งและผนังลำตัวของแมงกะพรุนจะเป็นจังหวะ ทำให้แมงกะพรุนมีการเคลื่อนที่เป็นจังหวะไปด้วย

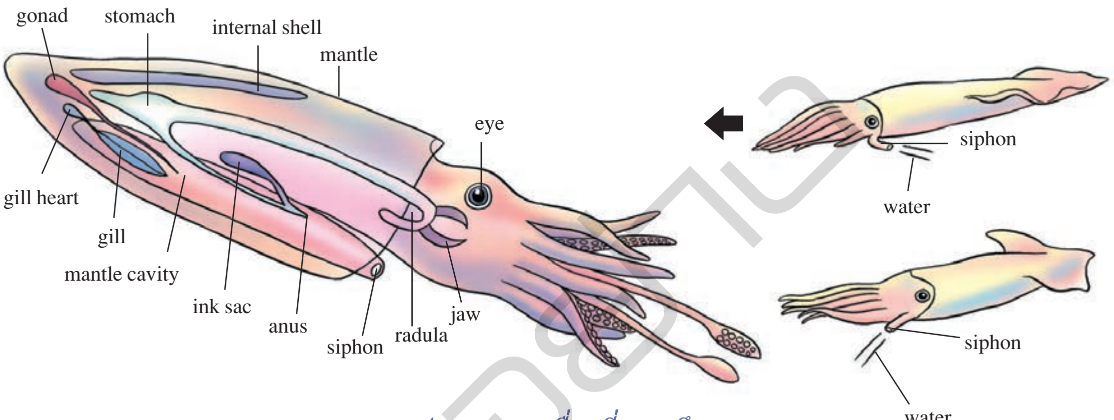
ตัวอย่าง



รูปแสดงโครงสร้างภายในลำตัวและการเคลื่อนที่ของแมงกะพรุน

การเคลื่อนที่ของหมึก

หมึกเป็นสัตว์ที่มีลำตัวอ่อนนิ่ม มีกล้ามเนื้อลำตัวและไซฟอน ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่โดยการหดตัวของกล้ามเนื้อลำตัว ทำให้น้ำภายในลำตัวพ่นออกมาซึ่งจะดันให้ลำตัวของหมึกเคลื่อนที่พุ่งไปในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของน้ำที่พ่นออกมา เนื่องจากท่อไซฟอนสามารถเคลื่อนไหวได้ ดังนั้น ทิศทางการพ่นน้ำออกจากท่อไซฟอนจึงเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของหมึกด้วย สำหรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหมึกขึ้นอยู่กับความแรงในการบีบตัวของกล้ามเนื้อลำตัว นอกจากนี้หมึกยังมีครีบที่อยู่ด้านข้างลำตัวช่วยในการทรงตัวขณะมีการเคลื่อนที่ด้วย



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของหมึก

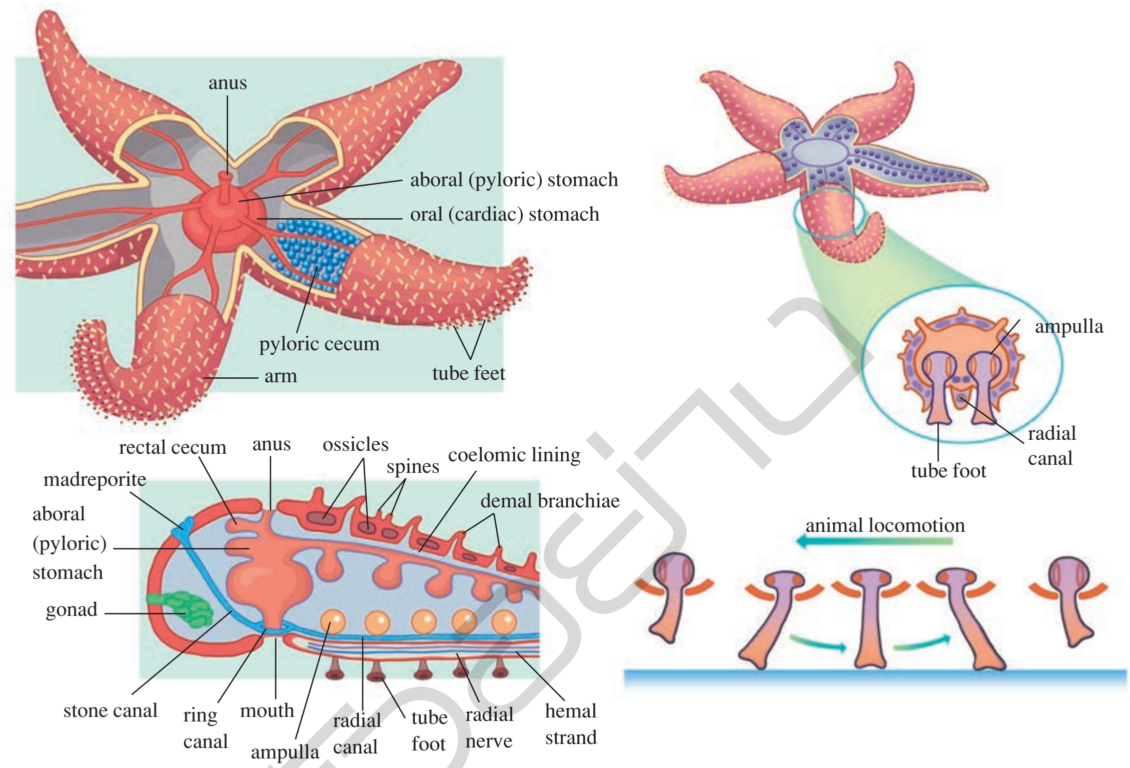
การเคลื่อนที่ของดาวทะเล

ดาวทะเลเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีผิวด้านนอกแข็งแต่ไม่ได้ยึดติดอยู่กับกล้ามเนื้อ ดาวทะเลเคลื่อนที่ด้วยระบบท่อน้ำ (water vascular system) โครงสร้างของระบบท่อน้ำ ประกอบด้วย

- **มาดรีโพไรต์ (madreporite)** เป็นช่องตะแกรงน้ำเข้า อยู่ด้านหลังของดาวทะเล
- **ท่อน้ำวงแหวน (ring canal)** เป็นท่อน้ำที่อยู่รอบปาก เชื่อมต่อกับท่อเล็ก ๆ ที่เรียกว่า **stone canal** เป็นท่อที่ต่อมาจากมาดรีโพไรต์
- **ท่อน้ำแนวรัศมี (radial canal)** เป็นท่อน้ำที่แยกออกจากท่อน้ำวงแหวนตามแนวรัศมี
- **ทิวบ์ฟีท (tube feet)** เป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นท่อเล็ก ๆ มีจำนวนมากอยู่ด้านล่างของลำตัว ด้านบนของทิวบ์ฟีทมีลักษณะพองเป็นกระเปาะ เรียกว่า **แอมพูลลา (ampulla)** ทิวบ์ฟีทแต่ละอันจะมีท่อเล็ก ๆ เชื่อมอยู่กับท่อน้ำแนวรัศมี

กลไกการเคลื่อนที่ของดาวทะเลด้วยระบบท่อน้ำ เกิดขึ้นเมื่อน้ำไหลเข้าสู่ระบบท่อน้ำทางมาดรีโพไรต์ผ่านท่อน้ำวงแหวนเข้าสู่ท่อน้ำแนวรัศมีและแอมพูลลา เมื่อกล้ามเนื้อบริเวณแอมพูลลาหดตัว จะดันน้ำเข้าสู่ทิวบ์ฟีททำให้ทิวบ์ฟีทยืดยาวออกไปแตะพื้นด้านล่าง ขณะเดียวกันลิ้นภายในแอมพูลลาจะปิดเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลกลับออกไปทางท่อด้านข้าง หลังจากนั้นกล้ามเนื้อของทิวบ์ฟีทจะหดตัว ทำให้ทิวบ์ฟีทมีขนาด

สั้นลง จึงดันน้ำกลับเข้าสู่กระเปาะแอมพูลลาอีกครั้ง การยืดและหดตัวของทิวบ์ฟีทหลาย ๆ อันทำให้เกิดแรงดันจนดาวทะเลสามารถเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของทิวบ์ฟีทมีลักษณะคล้าย**แผ่นดูด (sucker)** ทำหน้าที่ในการยึดเกาะกับพื้นผิวขณะที่มีการเคลื่อนที่ ช่วยให้ดาวทะเลเคลื่อนที่ได้ดียิ่งขึ้น

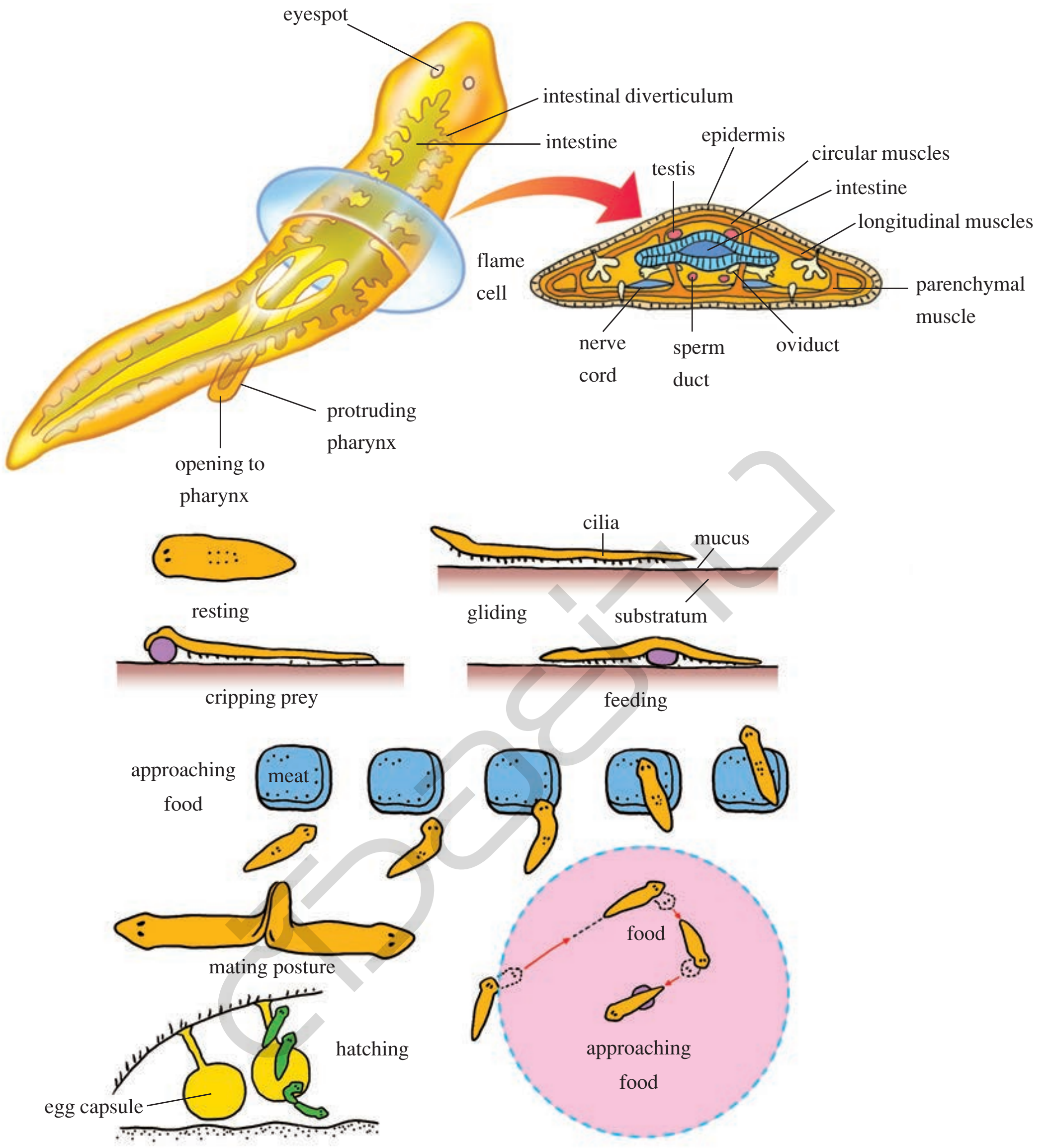


รูปแสดงโครงสร้างและระบบท่อน้ำของดาวทะเล

การเคลื่อนที่ของพลานาเรีย

พลานาเรียเป็นหนอนตัวแบนที่ดำรงชีวิตแบบอิสระ เคลื่อนที่โดยการทำงานของกล้ามเนื้อลำตัว พลานาเรียมีกล้ามเนื้อลำตัว 2 ชนิด คือ กล้ามเนื้อวง (circular muscle) อยู่ด้านนอกและกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) ซึ่งยึดอยู่ระหว่างส่วนบนและส่วนล่างของลำตัว การเคลื่อนที่ของพลานาเรียในลักษณะคืบคลานหรือลอยไปตามน้ำเกิดจากการหดและคลายตัวสลับกันระหว่างกล้ามเนื้อวงกับกล้ามเนื้อตามยาว ส่วนกล้ามเนื้อบน-ล่างจะช่วยให้ลำตัวของพลานาเรียแบนและพริ้วไปตามน้ำ ในกรณีที่พลานาเรียอยู่บนผิวน้ำ พลานาเรียจะใช้ซิเลียที่อยู่ด้านล่างของลำตัวพัดโบกไปมา ช่วยในการเคลื่อนที่ด้วย

พลานาเรียเป็นสัตว์กลุ่มแรกที่มีเคลื่อนที่โดยการทำงานของกล้ามเนื้อในลักษณะแบบสภาวะตรงกันข้าม (antagonism) กล่าวคือ กล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาวมีการหดและคลายตัวสลับกัน



รูปแสดงกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ และการเคลื่อนที่ของพลานาเรีย

การเคลื่อนที่ของหนอนตัวกลม

หนอนน้ำส้มสายชูเป็นหนอนตัวกลมที่ดำรงชีวิตอย่างอิสระ เคลื่อนที่โดยอาศัยกล้ามเนื้อตามยาวของลำตัวเท่านั้น เมื่อกล้ามเนื้อมีการหดและคลายตัวทำให้ลำตัวเกิดการส่ายไปมาและเคลื่อนที่ไปได้ แต่ไม่สามารถบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ได้

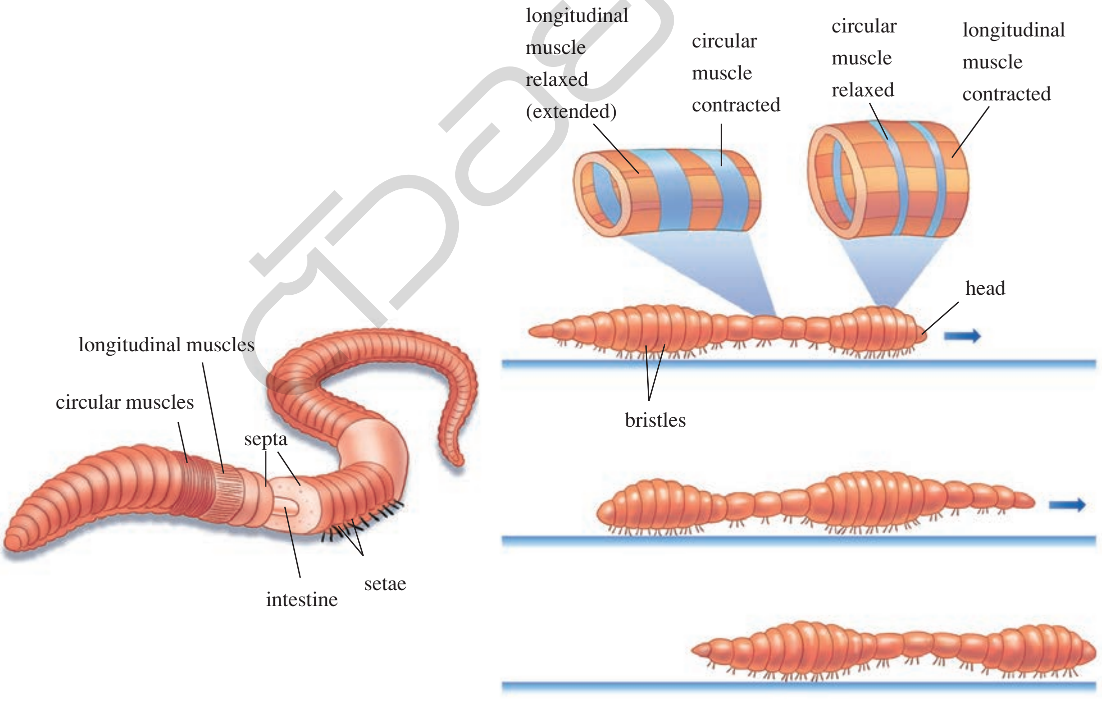
การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

ไส้เดือนดินเป็นสัตว์ที่มีลำตัวอ่อนนิ่ม และมีลักษณะเป็นปล้อง ๆ ตลอดลำตัว การเคลื่อนที่ของไส้เดือนดินอาศัยโครงสร้างดังนี้

1. กล้ามเนื้อ 2 ชุด ประกอบด้วยกล้ามเนื้อวง (circular muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่เรียงตัวเป็นวงรอบลำตัว และกล้ามเนื้อตามยาว (longitudinal muscle) ที่มีการจัดเรียงตัวตามยาวขนานกับลำตัว กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุดจะทำงานในแบบสภาวะตรงกันข้าม (antagonism)

2. เดือย (setae) เป็นโครงสร้างเล็ก ๆ ที่ยื่นออกมาจากผนังลำตัวของแต่ละปล้อง ทำหน้าที่ช่วยบังคับทิศทางในการเคลื่อนที่โดยเดือยจะจิกดินไว้ขณะมีการเคลื่อนที่

ไส้เดือนดินเคลื่อนที่โดยจะใช้เดือยส่วนท้ายจิกดินไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้ส่วนท้ายเคลื่อนที่ ขณะเดียวกันกล้ามเนื้อวงจะหดตัว กล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว ปล้องของลำตัวจะยืดยาวออก ทำให้ลำตัวเคลื่อนไปข้างหน้า จากนั้นเดือยที่ปล้องส่วนหน้าจะจิกดินไว้ กล้ามเนื้อวงคลายตัว กล้ามเนื้อตามยาวหดตัว ทำให้ปล้องโป่งออก ดึงส่วนท้ายของลำตัวให้เคลื่อนไปข้างหน้า การทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อวงและกล้ามเนื้อตามยาวโดยการหดและคลายตัวต่อเนื่องกันเป็นระลอกคลื่นทางด้านหน้ามาส่วนท้ายของลำตัว ทำให้ไส้เดือนดินสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้



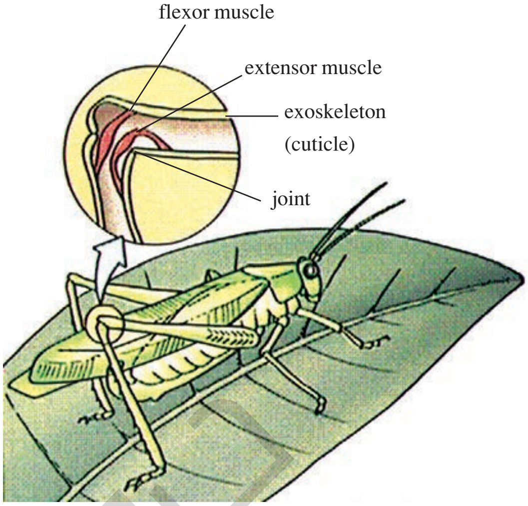
รูปแสดงโครงสร้างภายในและการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

ตัวอย่าง

การเคลื่อนที่ของแมลง

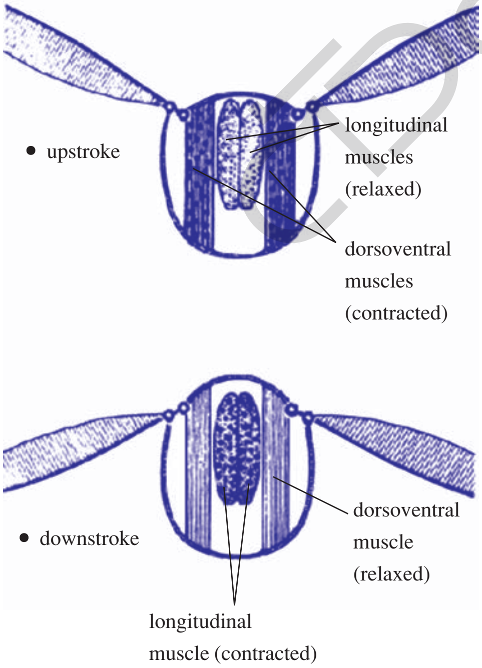
แมลงเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีโครงร่างแข็งภายนอก (exoskeleton) ลำตัวมีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นข้อปล้อง ลำตัวเบา แมลงเคลื่อนที่โดยการใช้ขาและปีก

1. การเคลื่อนที่โดยอาศัยขา โครงสร้างขาของแมลงมีลักษณะเป็นข้อต่อ ภายในมีมัดกล้ามเนื้อ 2 ชุดที่ทำงานร่วมกันแบบสภาวะตรงกันข้าม คือ **กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ (flexor)** และ**กล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์ (extensor)** กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชนิดจะยึดกับโครงร่างภายนอก เมื่อแมลงงอขากล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์จะหดตัวขณะที่กล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์คลายตัว แต่เมื่อกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์หดตัว กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์คลายตัว ขาของแมลงจะเหยียดออก



รูปแสดงโครงสร้างขาของแมลง

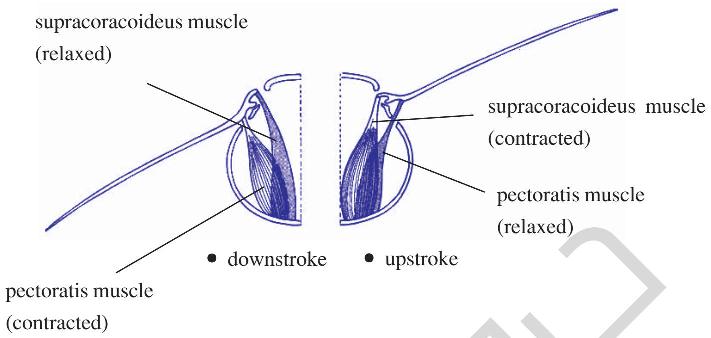
2. การบินของแมลง แมลงมีโครงสร้างของลำตัวที่เหมาะสมกับการบิน คือ ลำตัวเบา น้ำหนักน้อย ปีกมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับลำตัว รวมทั้งการทำงานของกล้ามเนื้อยกปีกและกล้ามเนื้อกดปีกแบบสภาวะตรงกันข้าม ทำให้ปีกขยับตัวอย่างต่อเนื่องทำให้แมลงสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยการบิน



รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อของแมลงที่มีปีกขนาดเล็ก

แมลงที่มีขนาดปีกต่างกัน จะมีการขยับปีกที่เกิดจากกล้ามเนื้อควบคุมการขยับปีกต่างกันด้วย กล่าวคือ แมลงที่มีปีกขนาดเล็ก เช่น ริ้น ผึ้ง แมลงวัน มีการขยับปีกด้วยความถี่สูง กล้ามเนื้อที่ควบคุมการขยับปีกไม่ได้ติดต่อกับปีกโดยตรงแต่จะยึดกับผนังส่วนอก กล้ามเนื้อที่ทำงานร่วมกัน คือ กล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มส่วนอกเป็นกล้ามเนื้อตามขวางยึดอยู่กับผนังส่วนอกด้านบนกับด้านท้อง และกล้ามเนื้อตามยาวที่ขนานไปกับลำตัว กล้ามเนื้อทั้ง 2 ชุดทำงานในลักษณะสภาวะตรงกันข้าม เมื่อกล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มส่วนอกซึ่งเป็นกล้ามเนื้อยกปีกหดตัวกล้ามเนื้อตามยาวคลายตัว ทำให้เปลือกหุ้มส่วนอกเคลื่อนลง ปีกที่ติดอยู่กับเปลือกหุ้มส่วนอกยกตัวสูงขึ้น แต่เมื่อกล้ามเนื้อตามยาวซึ่งเป็นกล้ามเนื้อกดปีกหดตัว กล้ามเนื้อยึดเปลือกหุ้มส่วนอกคลายตัว เปลือกหุ้มส่วนอกเคลื่อนขึ้นปีกจะถูกกดลง การขยับปีกขึ้นลงอย่างต่อเนื่องทำให้แมลงสามารถเคลื่อนที่ด้วยการบินได้

สำหรับแมลงบางชนิดมีกล้ามเนื้อติดอยู่ระหว่างโคนปีกกับส่วนท้อง ซึ่งพบในแมลงขนาดใหญ่และมีปีกขนาดใหญ่ เช่น ผีเสื้อ แมลงปอ แมลงเหล่านี้จะมีกล้ามเนื้อยกปีกที่ยึดติดอยู่ระหว่างโคนปีกด้านในกับส่วนท้อง และกล้ามเนื้อกดปีกที่ยึดอยู่ระหว่างโคนปีกด้านนอกกับส่วนท้อง ปีกของแมลงจะถูกยกขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อยกปีกหดตัว และกล้ามเนื้อกดปีกคลายตัว แต่เมื่อกล้ามเนื้อยกปีกคลายตัว กล้ามเนื้อกดปีกหดตัว จะทำให้ปีกถูกกดลง การขยับปีกขึ้นลงอย่างต่อเนื่องทำให้แมลงสามารถบินได้นั่นเอง



รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อยกปีกและกล้ามเนื้อกดปีกของแมลงขนาดใหญ่

การบินของแมลง นอกจากจะเกี่ยวข้องกับการขยับปีกขึ้นลงแล้ว ยังขึ้นอยู่กับการขยับปีกไปด้านหน้าและด้านหลัง การกระพือปีก รูปแบบการขยับปีก และความถี่ของการขยับปีก เช่น ตั๊กแตนขยับปีกเป็นรูปวงรีและมีความถี่ในการขยับปีก 4-20 ครั้ง/วินาที ผึ้งมีการขยับปีกเป็นรูปเลข 8 และมีความถี่ในการขยับปีก 200 ครั้ง/วินาที

ตัวอย่าง

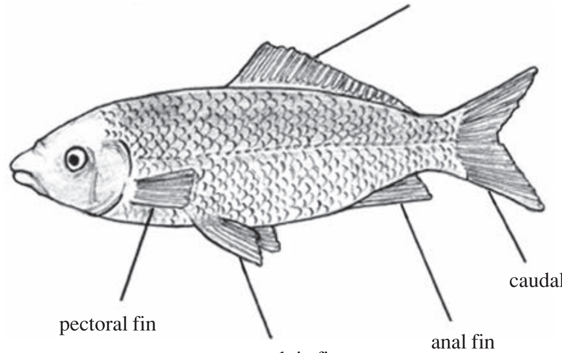
7.3 การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

การเคลื่อนที่ของปลา

ปลาเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำซึ่งเป็นสภาพแวดล้อมที่มีความหนาแน่นมากกว่าอากาศ ปลาจึงมีโครงสร้างในการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับแหล่งที่อยู่ดังนี้

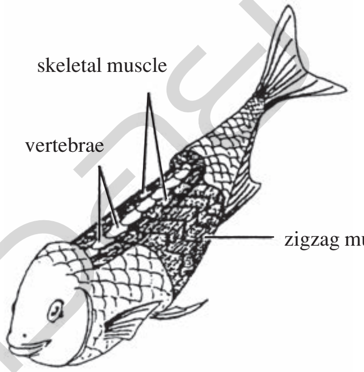
1. ปลามีรูปร่างเพรียว ผิวเรียบลื่นและมีเมือก ช่วยลดแรงเสียดทานของน้ำ นอกจากนี้ปลายังมีครีบที่แบนบางยังช่วยให้ปลาสามารถเคลื่อนที่ในน้ำได้ทั้ง 3 มิติ คือ การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลัง หรือการเคลื่อนที่ในลักษณะเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา รวมทั้งการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่งได้ ส่วนความเร็วในการเคลื่อนที่ของปลา พบว่าปลาที่มีรูปร่างแบนเพรียวจะเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าปลาที่มีรูปร่างเพรียวแบบกลมยาว

2. ปลามีครีบ ช่วยในการเคลื่อนที่ประกอบด้วยครีบคู่ ได้แก่ ครีบอก (pectoral fin) และครีบสะโพก (pelvic fin) ทำหน้าที่ช่วยในการพยุงตัวปลาและการเคลื่อนที่ขึ้นลงในแนวดิ่ง ส่วนครีบเดี่ยว ได้แก่ ครีบหลัง (dorsal fin) และครีบหาง (caudal fin) ทำหน้าที่ในการพัดโบกช่วยให้ปลาเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ นอกจากนี้แล้วครีบต่าง ๆ เหล่านี้ยังช่วยในการทรงตัวของปลา เพื่อป้องกันไม่ให้เสียทิศทางในการเคลื่อนที่อีกด้วย



รูปแสดงรูปร่างและครีบต่าง ๆ ของปลา

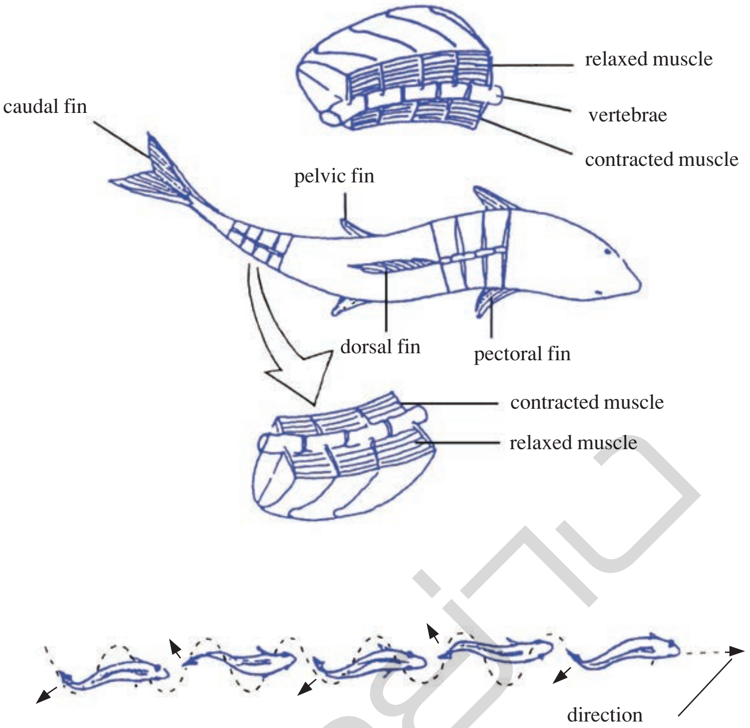
3. ปลามีกล้ามเนื้อยึดติดกับกระดูกสันหลัง การหดตัวของกล้ามเนื้อในแต่ละส่วนของลำตัวปลาและกล้ามเนื้อยึดเกาะกับกระดูกครีบต่าง ๆ ไม่พร้อมกัน ทำให้ปลาเคลื่อนที่ได้



รูปแสดงกล้ามเนื้อยึดติดกับกระดูกสันหลังของปลา

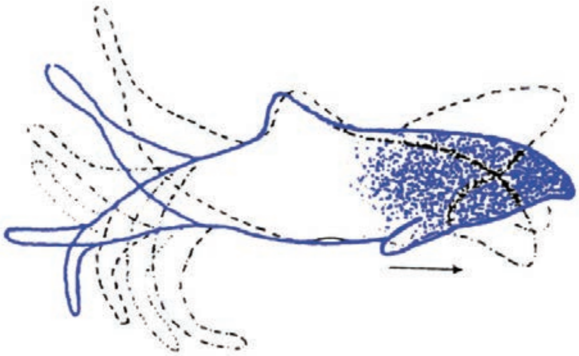
4. ปลามีกระเพาะลม ซึ่งช่วยในการลอยตัวของปลาที่นอกเหนือจากแรงลอยตัวของน้ำ พบในปลากระดูกแข็ง เช่น ปลาตะเพียน ปลาดุก ปลาทู

การเคลื่อนที่ของปลา เกิดจากการทำงานร่วมกันของโครงสร้างลำตัวส่วนต่าง ๆ กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่ กล้ามเนื้อยึดติดกับกระดูกสันหลังมีการหดและคลายตัว โดยการหดตัวจะเกิดขึ้นตรงข้ามกัน (antagonism) ของกล้ามเนื้อทั้งสองข้างของลำตัว และจะค่อย ๆ หดตัวจากส่วนหัวไปยังส่วนหางทำให้ลำตัวปลามีลักษณะโค้งไปมาคล้ายรูปตัวเอส (S) ขณะเดียวกันครีบหางจะพัดโบกไปในทิศทางตรงข้ามกับส่วนหัวทำให้ปลาสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ ส่วนครีบต่าง ๆ ช่วยในการทรงตัวและควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของปลา

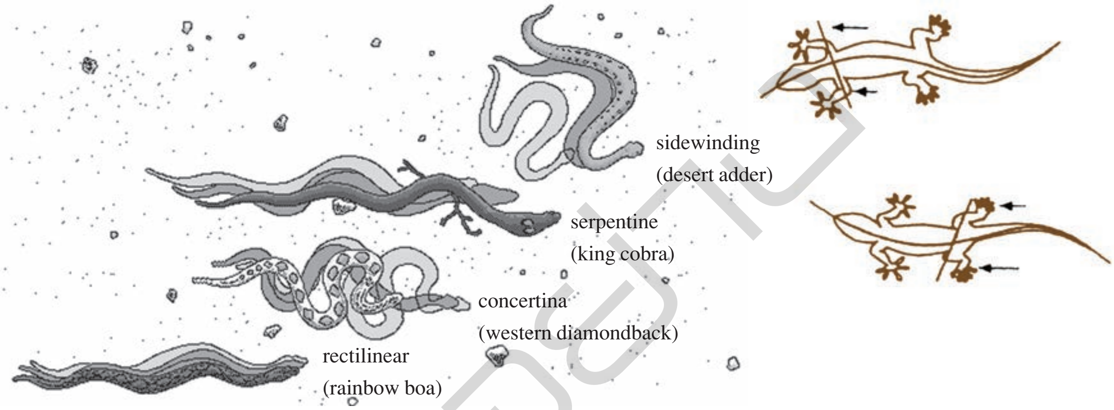
โลมาและวาฬ เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่อาศัยอยู่ในทะเล สัตว์ทั้ง 2 ชนิดมีลำตัวขนาดใหญ่มาก แต่รูปร่างจะเพรียวเช่นเดียวกับปลา มีครีบหางแบนขนาดใหญ่ขนานไปกับพื้น โลมาและวาฬเคลื่อนที่โดยการตวัดหางและหัวขึ้นลงสลับกัน ครีบหน้าที่เปลี่ยนแปลงมาจากขาหน้าทำหน้าที่ช่วยในการพยุงตัวและควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่



รูปแสดงการเคลื่อนที่ของวาฬ

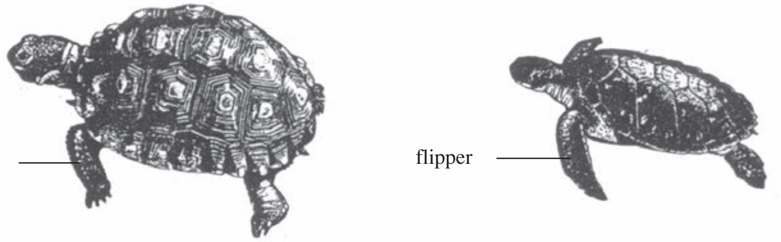
การเคลื่อนที่ของสัตว์เลื้อยคลาน

สัตว์เลื้อยคลานจำพวกงู กิ้งก่า จิ้งจก มีการเคลื่อนที่ในลักษณะของรูปตัวเอส (S) สัตว์เลื้อยคลานที่ไม่มีขา เช่น งู เคลื่อนที่โดยอาศัยการหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อทำงานร่วมกับโครงกระดูก เกิดการงอตัวสลับระหว่างซ้ายและขวา เรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า **การเลื้อย** ส่วนสัตว์เลื้อยคลานที่มีขา เช่น กิ้งก่า จิ้งจก ตุ๊กแก เคลื่อนที่โดยการก้าวขาไม่พร้อมกันระหว่างขาหน้าและขาหลัง ทำให้ลำตัวเกิดการงอโค้งไปมาในลักษณะรูปตัวเอส (S) การงอขาและการเหยียดขาเมื่อก้าวขาเดินเกิดจากการทำงานร่วมกันแบบสภาวะตรงกันข้ามของกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์และกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์ที่ยึดติดกับโครงกระดูก



รูปแสดงการเคลื่อนที่ในลักษณะรูปตัวเอส (S) ของงูและตุ๊กแก

การเคลื่อนที่ของเต่า ถ้าเป็นเต่าบกมีการเคลื่อนที่โดยใช้ขา ที่ขามีนิ้วเท้าช่วยในการเคลื่อนที่ แต่ถ้าเป็นเต่าที่อาศัยอยู่ในน้ำ ขาทั้งหมดจะถูกเปลี่ยนเป็นใบพาย เรียกว่า **ฟลิปเปอร์ (flipper)** ช่วยในการว่ายน้ำ ทำให้เต่าสามารถเคลื่อนที่ในน้ำได้

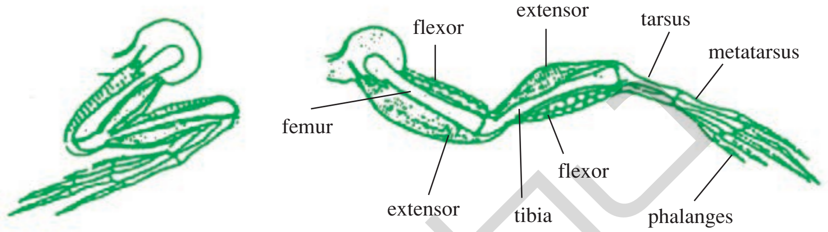


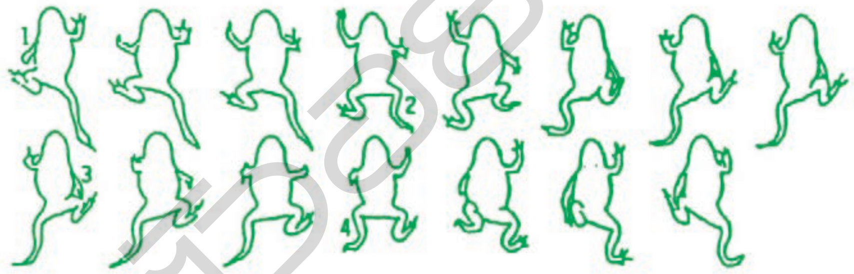
รูปแสดงเต่าบกและเต่าที่อาศัยอยู่ในน้ำ

ตัวอย่าง

การเคลื่อนที่ของสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบก

สัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกเคลื่อนที่โดยอาศัยการทำงานของขาทั้ง 4 ข้าง มีกล้ามเนื้อควบคุมการเหยียดขาและงอขาที่ทำงานแบบสภาวะตรงกันข้าม (antagonism) เนื่องจากกบเป็นสัตว์ที่มีกระดูกสันหลังมีระยะทางการเคลื่อนที่สั้นแต่โครงสร้างของขาหลังที่ยาวและแข็งแรงช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนที่ของกบโดยการกระโดดและการยืดขาหลังออกไปอย่างแรง ทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของกบไปได้ไกลมากขึ้น แต่ขณะที่กบอาศัยอยู่ในน้ำการเคลื่อนที่ของกบจะอาศัยแผ่นหนังที่มีลักษณะบาง ๆ (web) อยู่ระหว่างนิ้วเท้าเช่นเดียวกับเท้าเป็ด ช่วยในการพัดโบกน้ำเพื่อให้ลำตัวเคลื่อนที่ไปข้างหน้า



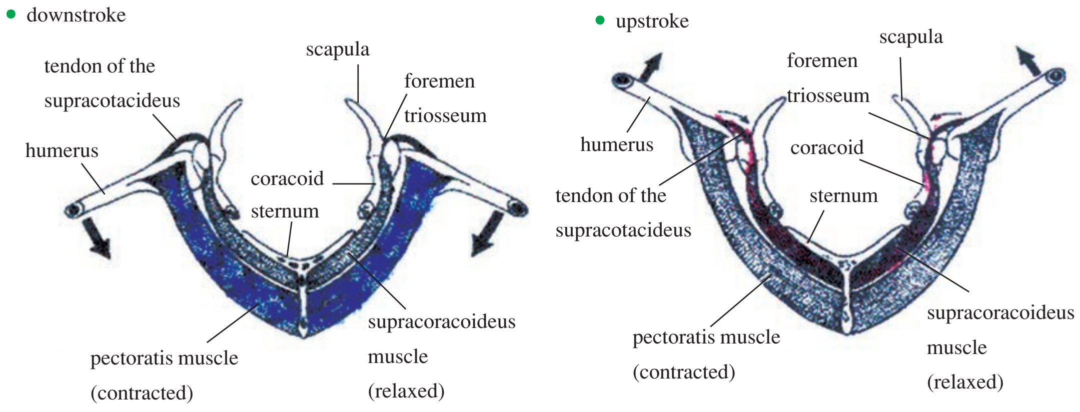


รูปแสดงกล้ามเนื้อขากบและการเคลื่อนที่ของกบ

การเคลื่อนที่ของนก

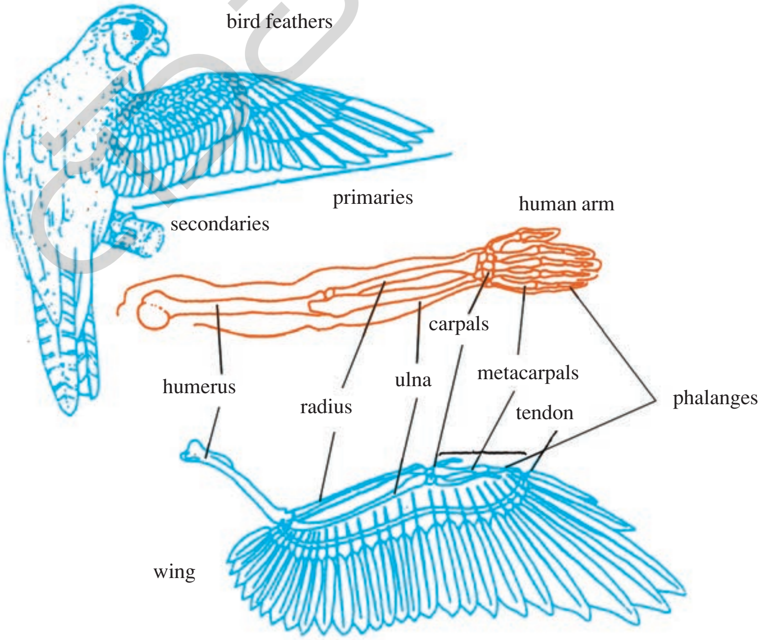
นกเป็นสัตว์ปีก เคลื่อนที่โดยการเดินด้วยขาและการบินไปในอากาศด้วยการขยับปีก การบินของนกเกิดจากการทำงานร่วมกันของอวัยวะต่าง ๆ และความเหมาะสมของโครงสร้างร่างกาย ดังนี้

1. กล้ามเนื้อที่ควบคุมการขยับปีก ที่ยึดอยู่ระหว่างกระดูกโคนปีก (humerus) กับกระดูกอก (sterum) ซึ่งประกอบด้วยกล้ามเนื้อยกปีกและกล้ามเนื้อกดปีกทำงานแบบสภาวะตรงกันข้าม กล่าวคือ เมื่อกล้ามเนื้อยกปีกหดตัว กล้ามเนื้อกดปีกคลายตัวปีกของนกจะยกตัวสูงขึ้น แต่เมื่อกล้ามเนื้อยกปีกคลายตัว กล้ามเนื้อกดปีกหดตัวปีกของนกจะถูกดึงลงหรือปีกถูกกดลง เมื่อมีการขยับปีกขึ้นลงอย่างต่อเนื่องจึงทำให้นกสามารถบินได้

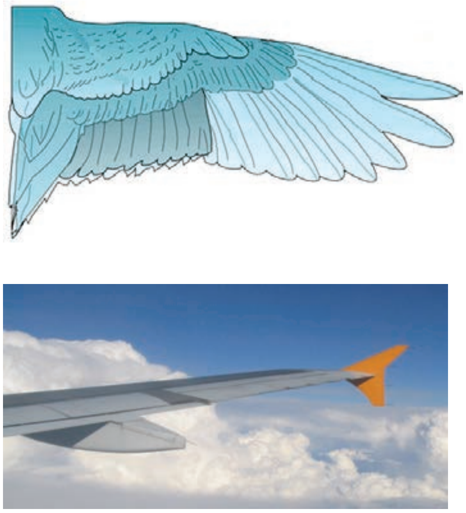


รูปแสดงกล้ามเนื้อที่ควบคุมการขยับปีกของนก

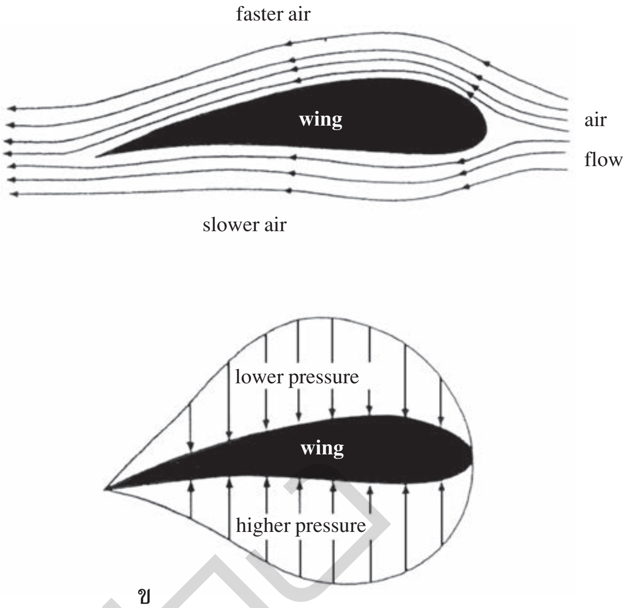
2. ปีกนก เป็นอวัยวะที่โครงสร้างภายในมีลักษณะคล้ายคลึงกับแขนคน ปีกนกช่วยให้นกสามารถบินได้ เนื่องจากโครงสร้างของปีกด้านบนมีความยาวมากกว่าด้านล่างเช่นเดียวกับปีกเครื่องบิน เมื่อนกลอยตัวอยู่ในอากาศ อากาศที่ไหลผ่านด้านบนของปีกนกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าอากาศที่ไหลผ่านด้านล่างของปีก ทำให้ความดันอากาศใต้ปีกสูงกว่าความดันอากาศด้านบน ดังนั้นความดันอากาศด้านล่างของปีกนกจึงช่วยพยุงปีกและลำตัวของนกให้ลอยอยู่ในอากาศได้



รูปแสดงโครงสร้างภายในของปีกนกเปรียบเทียบกับแขนคน



ก



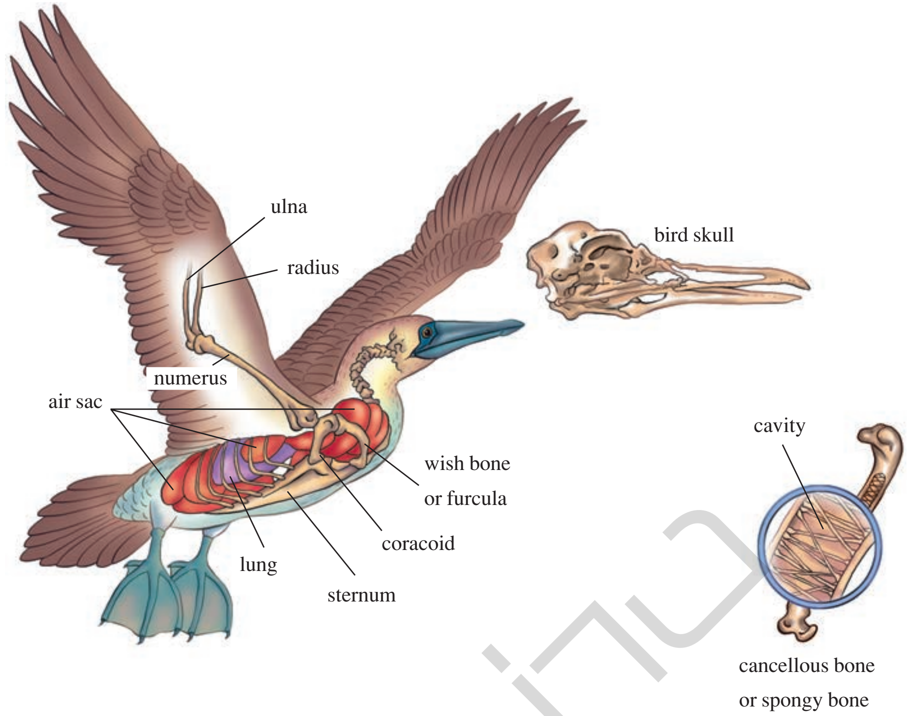
ข

รูป ก แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างภายนอกของปีกนกกับปีกเครื่องบิน
ข แสดงการไหลของอากาศและความดันอากาศที่กระทำต่อปีกนก

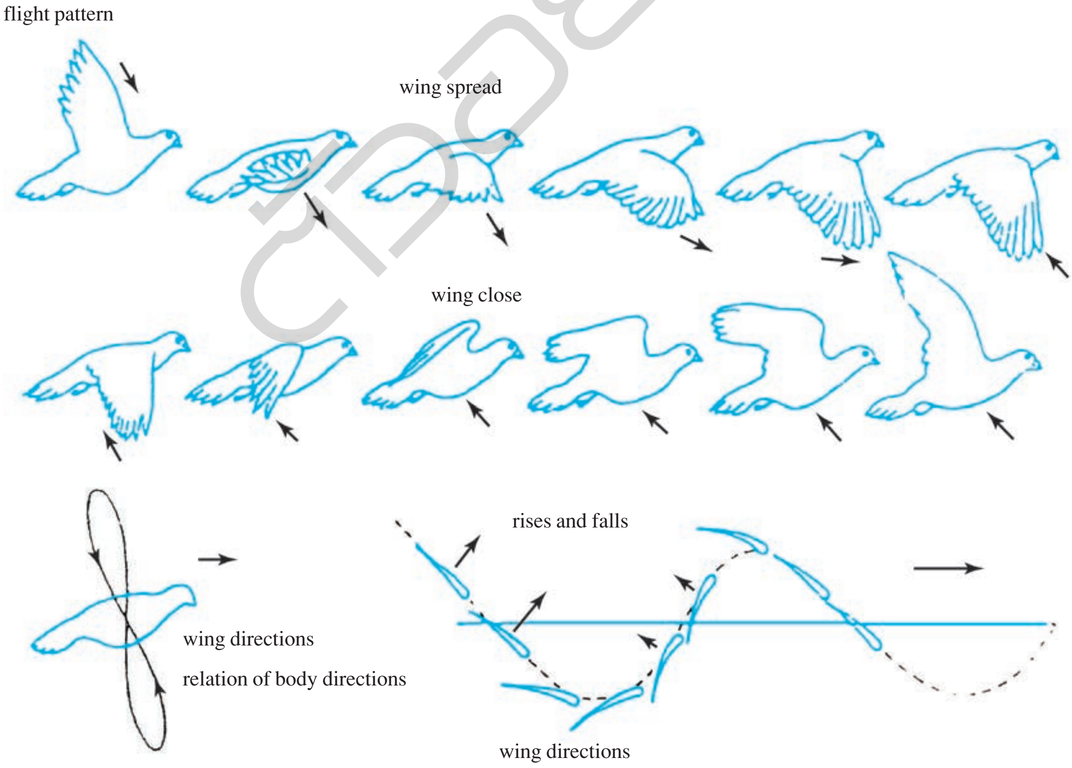
3. ขนนก ขนที่ปกคลุมผิวลำตัวนก เป็นขนแบบก้านหรือขนแบบแผง (feather) มีลักษณะเบาบางช่วยอุ้มอากาศขณะบินได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ขนนกยังป้องกันไม่ให้อากาศผ่านได้ขณะที่นกหุบปีกลง ทำให้เกิดความดันอากาศช่วยดันตัวนกให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ แต่เมื่อนกยกปีกขึ้นขนนกบริเวณปีกเปิดออก ทำให้อากาศผ่านได้จึงไม่เกิดแรงต้านขณะที่นกบิน

4. ลำตัวของนก นกมีน้ำหนักเบา เนื่องจากโครงกระดูกมีลักษณะเป็นโพรง มีถุงลมที่เจริญดีอยู่ติดกับปอดแทรกอยู่ในช่องว่างของลำตัวและในโพรงกระดูก รวมทั้งนกไม่มีกระเพาะปัสสาวะ น้ำหนักตัวจึงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของลำตัว ทำให้นกเคลื่อนที่ด้วยการบินอยู่ในอากาศได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ถุงลมยังช่วยให้นกได้รับออกซิเจนเพียงพอต่อเมแทบอลิซึมที่สูงมาก เพราะการเคลื่อนที่ด้วยการบินนั้นต้องใช้พลังงานในปริมาณที่สูงมาก โดยถุงลมจะทำหน้าที่เก็บอากาศสำรองไว้ ขณะหายใจเข้าอากาศที่ผ่านปอดส่วนหนึ่งจะเก็บไว้ที่ถุงลม เมื่ออากาศที่ใช้แล้วออกจากปอด อากาศที่เก็บไว้ในถุงลมจะเคลื่อนเข้าสู่ปอดทันที ซึ่งเป็นการช่วยให้ปอดทำหน้าที่ในการแลกเปลี่ยนแก๊สได้อย่างมีประสิทธิภาพ นกจึงได้รับออกซิเจนเพียงพอต่อเมแทบอลิซึมภายในเซลล์

ตัวอย่าง



รูปแสดงโครงสร้างภายในของนก

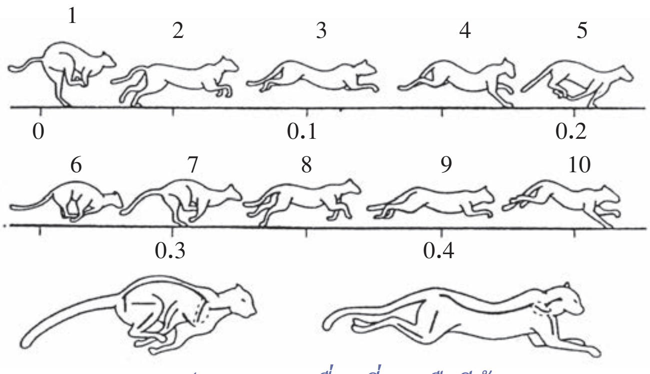


รูปแสดงการเคลื่อนที่ของปีกนกขณะบิน

ตัวอย่าง

การเคลื่อนที่ของเสือชีต้า

เสือชีต้าเป็นสัตว์สี่เท้าที่วิ่งได้เร็วที่สุด ด้วยความเร็วถึง 110 กิโลเมตร/ชั่วโมง มีโครงสร้างของลำตัวที่ทำให้เคลื่อนที่ได้เร็ว คือ มีกล้ามเนื้อขาที่แข็งแรงมาก โดยเฉพาะกล้ามเนื้อของขาหลัง มีความแข็งแรงเป็นพิเศษ มีกระดูกสันหลังที่มีความโค้งงอ และยืดหยุ่นได้อย่างดี มีขาและช่วงก้าวระหว่างขาหน้ากับขาหลังยาว

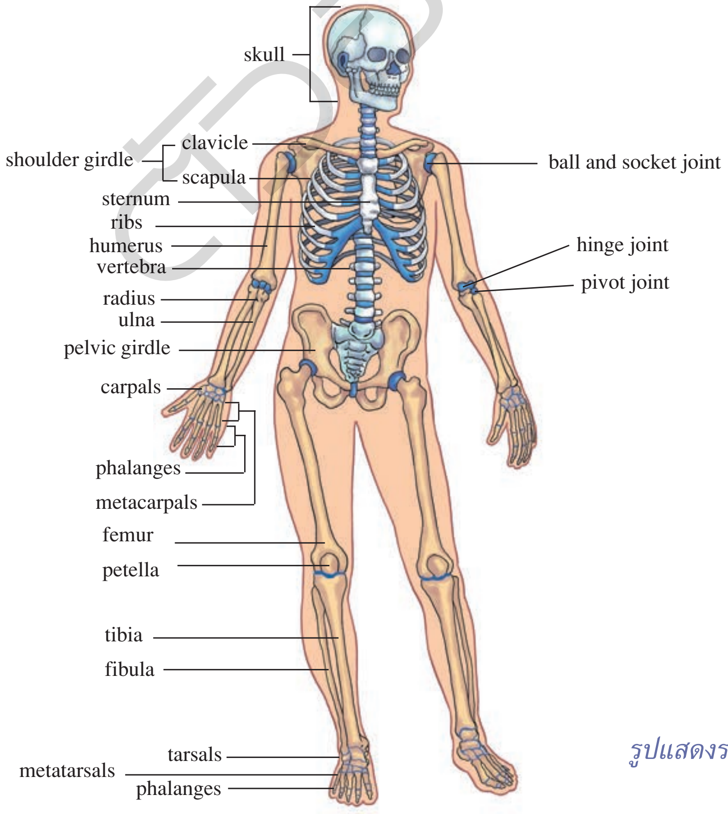


รูปแสดงการเคลื่อนที่ของเสือชีต้าและลักษณะของกระดูกสันหลัง

โครงสร้างที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของคน

คนเป็นสัตว์มีกระดูกสันหลังที่มีโครงร่างแข็งภายในลำตัว การเคลื่อนที่ของคนจึงเกิดจากการทำงานของระบบโครงกระดูกและระบบกล้ามเนื้อ

- **ระบบโครงกระดูก** โครงกระดูกของคนที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้วมีทั้งสิ้น 206 ชิ้น โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กระดูกแกน (axial skeleton) และกระดูกรยางค์ (appendicular skeleton)



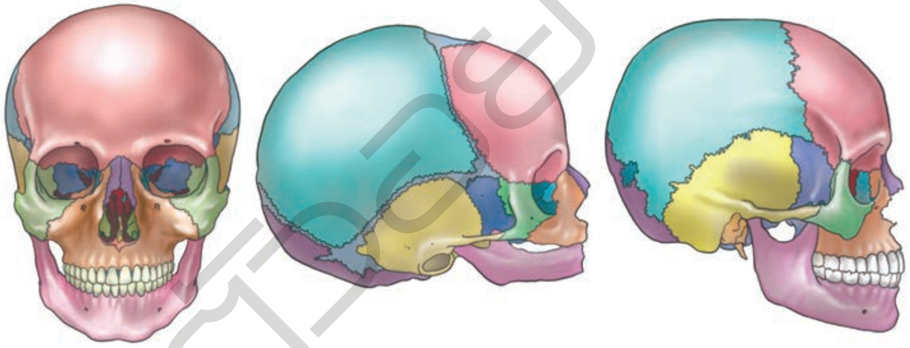
รูปแสดงระบบโครงกระดูกของคน

1. กระดูกแกน ร่างกายของคนมีกระดูกแกนทั้งหมด 80 ชิ้น ประกอบด้วย กระดูกกะโหลกศีรษะ (skull) กระดูกสันหลัง (vertebrae) กระดูกหน้าอก (sternum) และกระดูกซี่โครง (rib bone)

1.1 กระดูกกะโหลกศีรษะ (skull) ได้แก่ กระดูกหุ้มสมอง (cranium) และกระดูกใบหน้ามีลักษณะเป็นแผ่นเชื่อมติดกัน ประกอบด้วย กระดูกท้ายทอย กระดูกข้างศีรษะ กระดูกขมับ กระดูกหน้าผาก กระดูกหน้ากระดูกรูปผีเสื้อ กระดูกใต้สันจมูก กระดูกหูและกระดูกโคนลิ้น รวมทั้งหมด 29 ชิ้น ภายในกะโหลกศีรษะมีลักษณะเป็นโพรงเป็นที่อยู่ของสมอง กะโหลกศีรษะจึงทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้สมองที่บรรจุอยู่ถูกกระทบกระเทือนหรือได้รับอันตราย กระดูกกะโหลกศีรษะมีขอบกระดูกไม่เรียบทำให้กระดูกที่เชื่อมติดกันนั้นแน่นมากรอยต่อไม่เคลื่อนที่

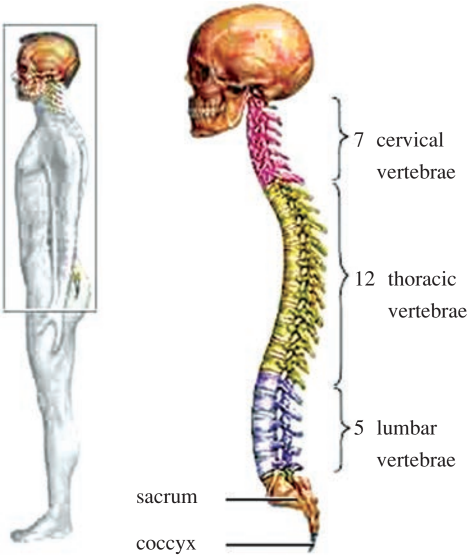
กระดูกหุ้มสมองของทารกในระยะแรกคลอดจะยึดเกาะกันด้วยเยื่อหุ้มซึ่งเป็นจุดที่อ่อนนุ่มเรียกว่า **ขม่อม (fontanelles)** ดังนั้นขณะคลอดทำให้กะโหลกศีรษะของทารกสามารถบีบเข้าได้เล็กน้อย เมื่อทารกอายุได้ 18 เดือนกระดูกจะผสานเข้าด้วยกันและเชื่อมติดกันทำให้ส่วนของขม่อมหายไป

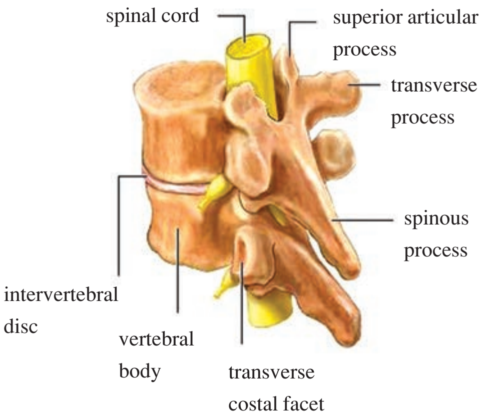
กระดูกใบหน้าเป็นโครงสร้างที่ทำให้เกิดรูปทรงของใบหน้า กระดูกจะเชื่อมติดกันแน่น จะมีเพียงกระดูกขากรรไกรล่างซึ่งเป็นกระดูกชิ้นใหญ่ที่สุดของกระดูกใบหน้าที่สามารถขยับเขยื้อนได้ จึงช่วยให้คนเราสามารถเคี้ยวอาหารได้

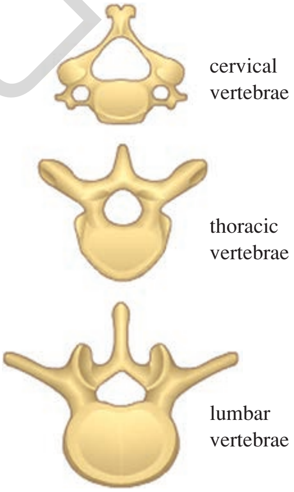


รูปแสดงกะโหลกศีรษะของคนที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว

1.2 กระดูกสันหลัง (vertebrae) ทำหน้าที่เป็นแกนกลางเพื่อค้ำจุนร่างกาย ห่อหุ้มไขสันหลัง และมีเส้นประสาทไขสันหลังอยู่ตลอดแนวความยาวของกระดูกสันหลัง กระดูกสันหลังมีทั้งสิ้น 26 ชิ้น ประกอบด้วยกระดูกคอ 7 ชิ้น กระดูกสันหลังช่วงอก 12 ชิ้น กระดูกสันหลังช่วงเอว หรือกระดูกบั้นเอว 5 ชิ้น กระดูกกระเบนเหน็บ 1 ชิ้น และกระดูกก้นกบ 1 ชิ้น ลักษณะทั่วไปของกระดูกสันหลังประกอบด้วยกระดูกรูปร่างไม่แน่นอนหรือกระดูกรูปแปลกเชื่อมต่อกันเป็นข้อ ๆ เริ่มตั้งแต่บริเวณต้นคอจนถึงส่วนสะโพก ระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อมีแผ่นกระดูกอ่อน (cartilage) ซึ่งเรียกว่า **หมอนรองกระดูก (intervertebral disc)** รองรับ และเชื่อมต่อระหว่างกระดูกสันหลังแต่ละข้อ หมอนรองกระดูกช่วยป้องกันการเสียดสีของกระดูกสันหลัง ในกรณีที่หมอนรองกระดูกเสื่อมจะทำให้ไม่สามารถบิดหรือเอี้ยวตัวได้ นอกจากนี้กระดูกสันหลังแต่ละข้อยังมีช่องสำหรับให้ไขสันหลังสอดผ่าน และจะงอยยื่นออกมาใช้เป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อและเอ็น สำหรับกระดูกสันหลังช่วงอกจะมีกระดูกซี่โครงเชื่อมต่อ







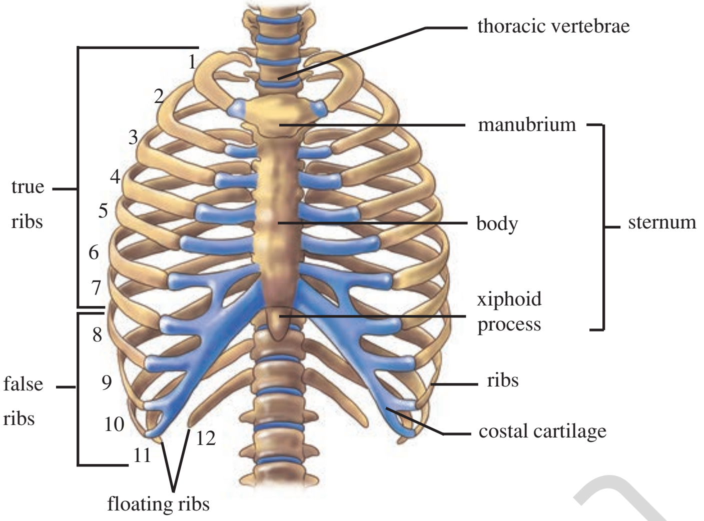
รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกสันหลัง

ตัวอย่าง

1.3 กระดูกหน้าอก (sternum) มีอยู่ 1 ชิ้น ตำแหน่งของกระดูกอยู่ด้านหน้า ยึดอยู่กับกระดูกซี่โครง 10 คู่

1.4 กระดูกซี่โครง (rib bone) เป็นกระดูกฟองน้ำที่ล้อมรอบด้วยกระดูกเนื้อแน่น 2 ชั้น มีลักษณะแบนโค้งเรียงเป็นซี่ ๆ เชื่อมต่อกับด้านข้างของกระดูกสันหลังช่วงอกกับกระดูกหน้าอก มีทั้งหมด 24 ชิ้น กระดูกซี่โครงคู่ที่ 1-7 เรียกว่า **กระดูกซี่โครงแท้ (true ribs)** กระดูกซี่โครงคู่ที่ 8-10 เรียกว่า **กระดูกซี่โครงไม่แท้ (false ribs)** เนื่องจากกระดูกไม่เชื่อมติดกับกระดูกอกโดยตรงแต่เชื่อมรวมอยู่กับกระดูกซี่โครงแท้คู่ที่ 7 ส่วนกระดูกซี่โครงคู่ที่ 11 และ 12 จะเป็นซี่สั้น ๆ ทำให้ปลายด้านหน้าไม่เชื่อมต่อกับกระดูกหน้าอกกระดูกซี่โครงทั้ง 2 คู่ จึงเรียกว่า **ซี่โครงลอย (floating ribs)**

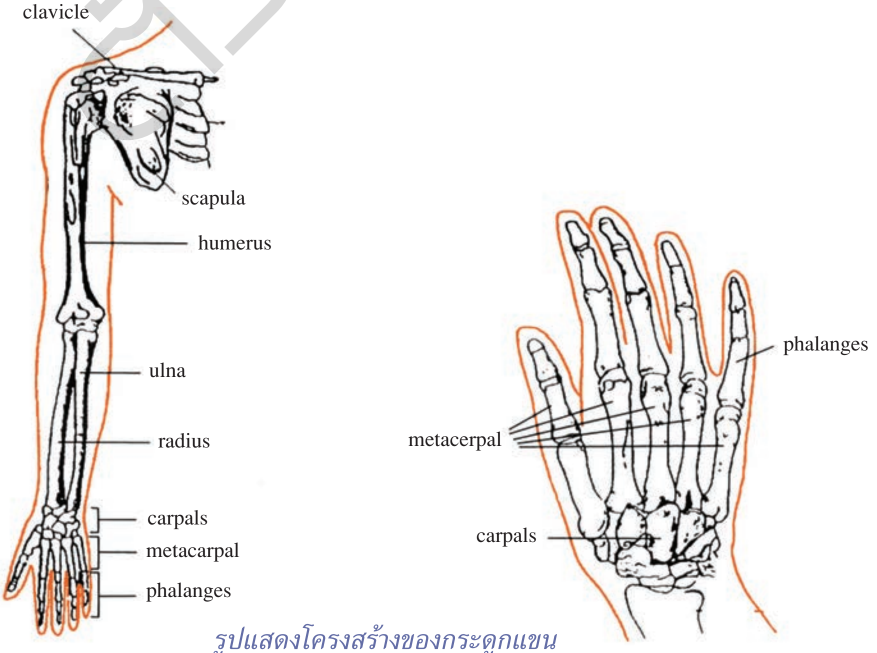
กระดูกซี่โครงทำหน้าที่ป้องกันอันตรายให้กับอวัยวะภายใน เช่น หัวใจ ปอด และทำงานร่วมกับกล้ามเนื้อยึดกระดูกซี่โครงแถบนอกและแถบในเกี่ยวกับการหายใจ



รูปแสดงกระดูกหน้าอกและกระดูกซี่โครง

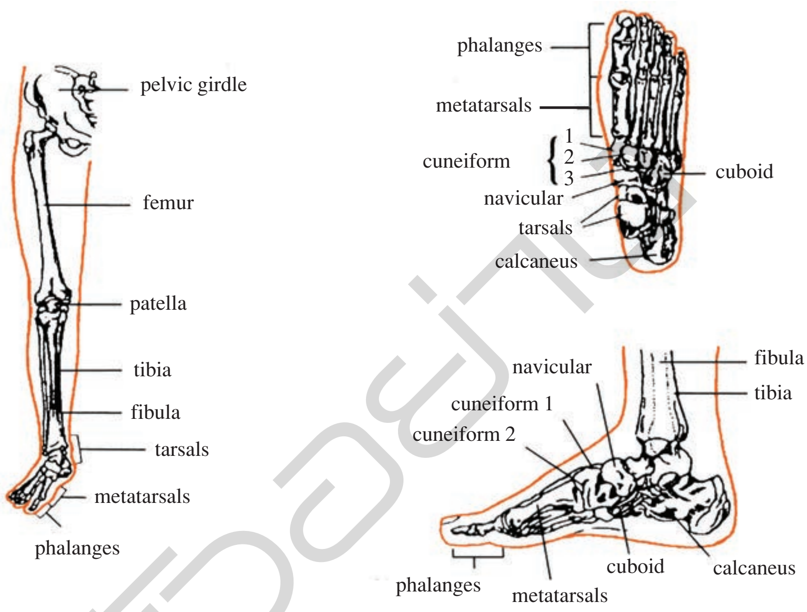
2. กระดูกรยางค์ มีทั้งหมด 126 ชิ้น ประกอบด้วยกระดูกแขน (arm bone) กระดูกขา (leg bone) กระดูกหัวไหล่ (shoulder girdle) และกระดูกเชิงกราน (pelvic gridle)

2.1 กระดูกแขน (arm bone) มีข้างละ 30 ชิ้น รวมทั้งหมด 60 ชิ้น โดยกระดูกต้นแขน (humerus) แต่ละข้างจะยึดอยู่กับกระดูกหัวไหล่ (shoulder girdle) ซึ่งประกอบด้วยกระดูกสะบัก (scapula) และกระดูกไหปลาร้า (clavicle) กระดูกต้นแขนที่อยู่ถัดจากกระดูกไหปลาร้าเป็นที่ยึดเกาะของกล้ามเนื้อไบเซพ (biceps) ถัดจากกระดูกต้นแขนคือ กระดูกปลายแขน ประกอบด้วยกระดูกปลายแขนท่อนใน (ulna) กับกระดูกปลายแขนท่อนนอก (radius) ต่อด้วยกระดูกข้อมือ (carpals) ข้างละ 8 ชิ้น กระดูกฝ่ามือ (metacarpal) ข้างละ 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วมือ (phalanges) ข้างละ 14 ชิ้น ระหว่างกระดูกแต่ละท่อนเชื่อมต่อกันด้วยข้อต่อ (joint)



รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกแขน

2.2 กระดูกขา (leg bone) มีข้างละ 30 ชิ้น โดยกระดูกต้นขา (femur) แต่ละข้างยึดติดอยู่กับกระดูกเชิงกราน (pelvic girdle) ซึ่งจะช่วยป้องกันอันตรายให้กับอวัยวะภายใน เช่น ลำไส้ มดลูก ถัดจากกระดูกต้นขาคือ กระดูกสะบ้า (patella)ซึ่งเชื่อมต่อระหว่างกระดูกต้นขากับกระดูกหน้าแข้ง (tibia) และกระดูกน่อง (fibula) กระดูกสะบ้าจะช่วยให้ร่างกายเราสามารถงอขา เดิน หรือวิ่งได้ ถัดจากกระดูกหน้าแข้งกับกระดูกน่องคือ กระดูกข้อเท้า (tarsals) ข้างละ 7 ชิ้น กระดูกฝ่าเท้า (metatarsals) ข้างละ 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า (phalanges) ข้างละ 14 ชิ้น การจัดเรียงตัวของกระดูกที่เท้าทำให้เท้ามีโครงสร้างในลักษณะรูปโค้ง ซึ่งช่วยในการถ่ายน้ำหนักของร่างกาย



รูปแสดงโครงสร้างของกระดูกขาคน

กล่าวโดยสรุป โครงกระดูกมีความสำคัญในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1. ทำหน้าที่เป็นแกนค้ำจุนร่างกาย
2. เป็นที่ยึดของกล้ามเนื้อลาย ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของร่างกาย
3. ป้องกันอันตราย และการกระทบกระเทือนให้กับอวัยวะภายในร่างกาย
4. เป็นแหล่งสะสมแคลเซียม
5. ไขกระดูกที่อยู่ในกระดูกท่อนยาวทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง

ตารางแสดงกระดูกชนิดต่าง ๆ ในระบบโครงกระดูกของคน

กระดูกแกน		กระดูกรยางค์		
1. กระดูกกะโหลกศีรษะ จำนวน 29 ชิ้น ประกอบด้วย		1. กระดูกหัวไหล่ จำนวน 4 ชิ้น ประกอบด้วย		
- กระดูกหน้าผาก	1 ชิ้น	- กระดูกสะบัก ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกท้ายทอย	1 ชิ้น	- กระดูกไหปลาร้า ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกข้างศีรษะ	2 ชิ้น	2. กระดูกแขน จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย		
- กระดูกขมับ	2 ชิ้น	- กระดูกต้นแขน ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกหน้า	14 ชิ้น	- กระดูกปลายแขนท่อนในข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกรูปผีเสื้อ	1 ชิ้น	- กระดูกปลายแขนท่อนนอกข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกใต้สันจมูก	1 ชิ้น	- กระดูกข้อมือ ข้างละ 8 ชิ้น	รวม	16 ชิ้น
- กระดูกหู	6 ชิ้น	- กระดูกฝ่ามือ ข้างละ 5 ชิ้น	รวม	10 ชิ้น
- กระดูกโคนลิ้น	1 ชิ้น	- กระดูกนิ้วมือ ข้างละ 14 ชิ้น	รวม	28 ชิ้น
2. กระดูกสันหลัง จำนวน 26 ชิ้น ประกอบด้วย		3. กระดูกเชิงกราน ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกคอ	7 ชิ้น	4. กระดูกขา จำนวน 60 ชิ้น ประกอบด้วย		
- กระดูกสันคอช่วงอก	12 ชิ้น	- กระดูกต้นขา ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกสันคอช่วงเอว	5 ชิ้น	- กระดูกสะบ้า ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกกระเบนเหน็บ	1 ชิ้น	- กระดูกหน้าแข้ง ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
- กระดูกก้นกบ	1 ชิ้น	- กระดูกน่อง ข้างละ 1 ชิ้น	รวม	2 ชิ้น
3. กระดูกหน้าอก	1 ชิ้น	- กระดูกข้อเท้า ข้างละ 7 ชิ้น	รวม	14 ชิ้น
4. กระดูกซี่โครง	24 ชิ้น	- กระดูกฝ่าเท้า ข้างละ 5 ชิ้น	รวม	10 ชิ้น
		- กระดูกนิ้วเท้า ข้างละ 14 ชิ้น	รวม	28 ชิ้น
รวมกระดูกแกนทั้งหมด	80 ชิ้น	รวมกระดูกรยางค์ทั้งหมด		126 ชิ้น

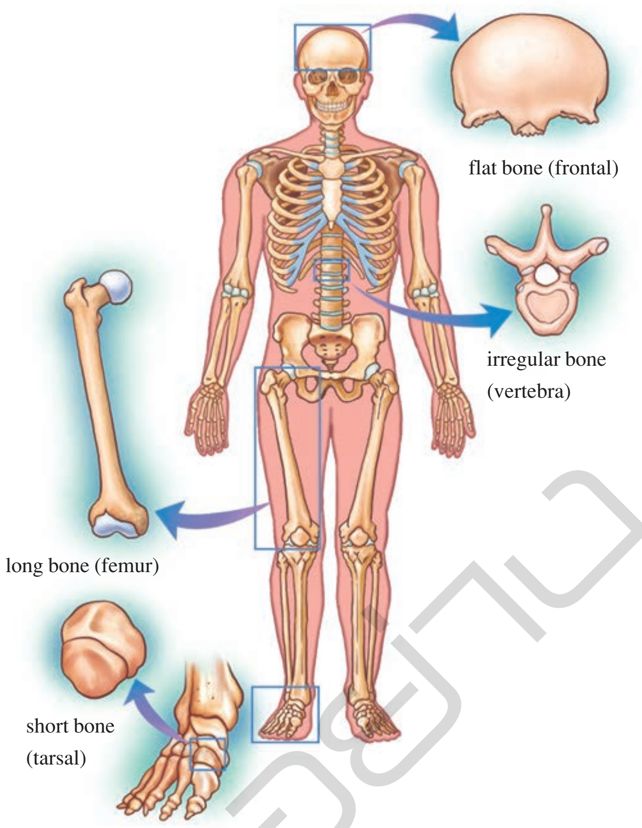
จากตารางแสดงกระดูกชนิดต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาตามลักษณะรูปร่างของกระดูกสามารถจำแนกกระดูกออกเป็นประเภทต่าง ๆ ดังนี้

1. กระดูกท่อนยาว (long bone) ได้แก่ กระดูกต้นแขน กระดูกปลายแขน กระดูกต้นขา กระดูกหน้าแข้ง และกระดูกน่อง

2. กระดูกท่อนสั้น (short bone) ได้แก่ กระดูกข้อมือและกระดูกข้อเท้า

3. กระดูกแบน (flat bone) ได้แก่ กระดูกหน้าผาก กระดูกข้างศีรษะ กระดูกท้ายทอย และกระดูกซี่โครง

4. กระดูกรูปร่างไม่แน่นอนหรือกระดูกรูปแปลก (irregular bone) ได้แก่ กระดูกกระเบนเหน็บและกระดูกก้นกบ



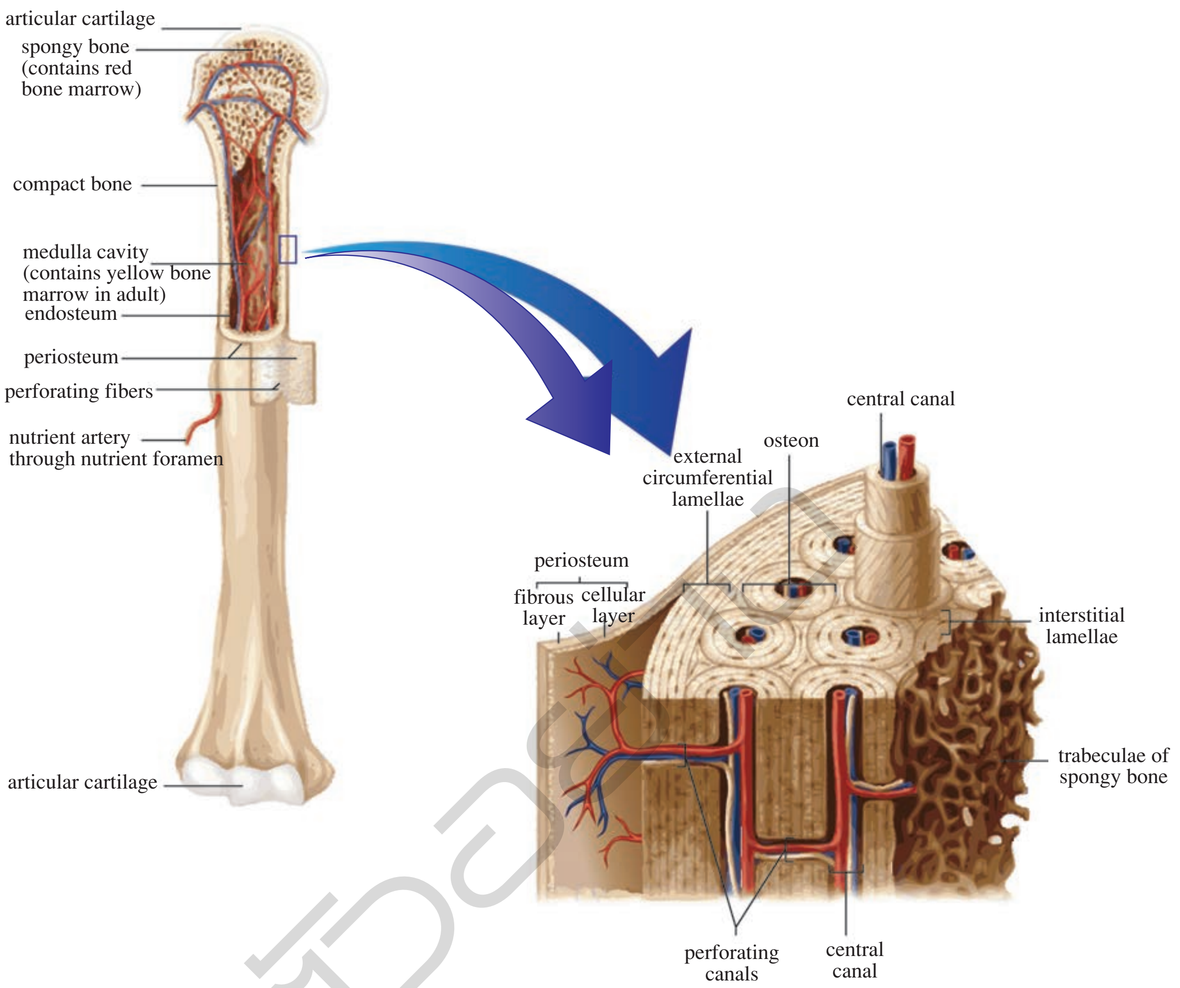
รูปแสดงกระดูกรูปร่างต่าง ๆ

โครงสร้างของกระดูก

กระดูกทุกชนิดมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย

1. เยื่อกระดูก หรือเยื่อหุ้มกระดูก (periosteum) ทำหน้าที่ช่วยให้กล้ามเนื้อและเอ็นยึดติดกับกระดูก ขณะเดียวกันหลอดเลือดในเยื่อกระดูกยังทำหน้าที่ลำเลียงอาหารและออกซิเจนไปหล่อเลี้ยงกระดูก ด้านในของเยื่อกระดูกมีเซลล์ที่สามารถเจริญไปเป็นเซลล์กระดูกได้ นอกจากนี้ยังมีเส้นประสาทจำนวนมากที่เยื่อกระดูก

2. ส่วนประกอบภายในกระดูก คือ เนื้อกระดูก ได้แก่ กระดูกเนื้อแน่น (compact bone) และกระดูกฟองน้ำ (spongy bone) ซึ่งประกอบไปด้วยเซลล์กระดูก (osteocyte) ที่มีหลอดเลือดและเนื้อเยื่อประสาท ทำหน้าที่หล่อเลี้ยงและควบคุมการทำงานของเซลล์กระดูก สารที่เป็นส่วนสำคัญในกระดูก คือ แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และแคลเซียมฟอสเฟต ($CaPO_4$) ในกระดูกท่อนยาวมีเซลล์ไขกระดูก (bone marrow cell) ที่ทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงและเพลตเลตขณะที่อยู่ในวัยเด็ก แต่เมื่อร่างกายเจริญเติบโตเต็มที่ เซลล์ไขกระดูกจะไม่สามารถสร้างเซลล์เม็ดเลือดแดงได้ ยกเว้นไขกระดูกแดงบริเวณปลายกระดูกเท่านั้นที่ยังทำหน้าที่สร้างเซลล์เม็ดเลือดแดง



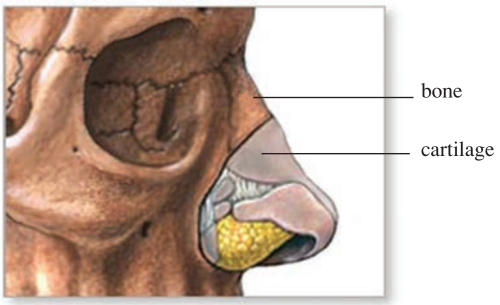
รูปแสดงโครงสร้างภายในกระดูก

กระดูกอ่อน (cartilage)

กระดูกอ่อนเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์กระดูกอ่อน สารระหว่างเซลล์และเส้นใย ในกระดูกอ่อนไม่มีหลอดเลือดหล่อเลี้ยง กระดูกอ่อนแบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ

1. กระดูกอ่อนไฮอะลีน (hyaline cartilage) ได้แก่ กระดูกอ่อนที่ผนังกั้นรูจมูก เป็นกระดูกอ่อนที่เส้นใยแทรกอยู่จำนวนน้อย

2. กระดูกอ่อนไฟโบร (fibro cartilage) จัดเป็นกระดูกอ่อนที่มีความเหนียวและแข็งแรงมากเนื่องจากมีเส้นใยคอลลาเจนแทรกอยู่จำนวนมาก เช่น กระดูกอ่อนที่กั้นระหว่างข้อของกระดูกสันหลัง



รูปแสดงกระดูกอ่อนของจมูก

รูปแสดงตำแหน่งกระดูกอ่อนที่ใบหู

3. กระดูกอ่อนอิลาสติก (elastic cartilage) เป็นกระดูกอ่อนที่มีความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากมีเส้นใยอิลาสติกแทรกอยู่จำนวนมาก เช่น กระดูกอ่อนที่ใบหู

ข้อต่อ (joint)

ข้อต่อ คือ ตำแหน่งที่กระดูกแต่ละชิ้นเชื่อมต่อกัน มีบทบาทสำคัญโดยทำหน้าที่ช่วยให้กระดูกแต่ละชิ้นต่อเข้าด้วยกันเพื่อประกอบเป็นรูปร่าง และทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวโดยการทำงานร่วมกันระหว่างกระดูกและกล้ามเนื้อ รวมทั้งช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการเสียดสีระหว่างกระดูกที่เชื่อมต่อกัน ข้อต่อแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้ (immovable joint) ได้แก่ ข้อต่อของกะโหลกศีรษะ จัดเป็นข้อต่อที่มีความแข็งแรงมาก ทำหน้าที่เชื่อมต่อกระดูกกะโหลกศีรษะให้แนบสนิท

2. ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้เล็กน้อย (movable joint) ได้แก่ ข้อต่อของกระดูกซี่โครง ข้อต่อกระดูกสันหลัง และข้อต่อกระดูกเชิงกราน

3. ข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้มาก (synovial joint) เป็นข้อต่อที่ทำให้กระดูกที่เชื่อมต่อกันสามารถเคลื่อนไหวได้ในลักษณะที่แตกต่างกัน ได้แก่

3.1 ข้อต่อแบบบานพับ (hinge joint) ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะบานพับประตู ทำให้เกิดการงอเข้าหรือเหยียดออกได้ เช่น ข้อต่อบริเวณข้อศอก ข้อต่อบริเวณเข่า ข้อต่อระหว่างข้อมือ

3.2 ข้อต่อแบบลูกกลมในเบ้ากระดูก (ball and socket joint) เป็นข้อต่อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวอย่างอิสระหลายทิศทาง เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูกต้นแขนกับกระดูกสะบัก และข้อต่อระหว่างกระดูกต้นขากับกระดูกเชิงกราน

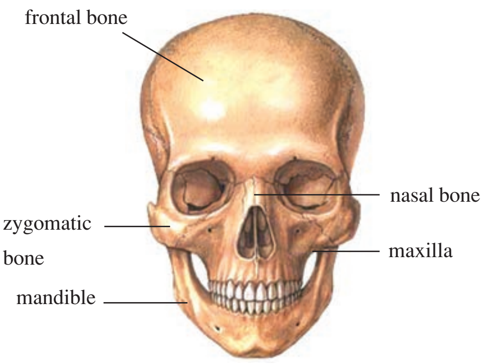
ตัวอย่าง

3.3 ข้อต่อแบบสไลด์ (gliding joint) ประกอบด้วยกระดูกแบน 2 ชิ้น เช่น ข้อต่อกระดูกข้อมือ ข้อต่อกระดูกข้อเท้า ข้อต่อกระดูกสันหลัง

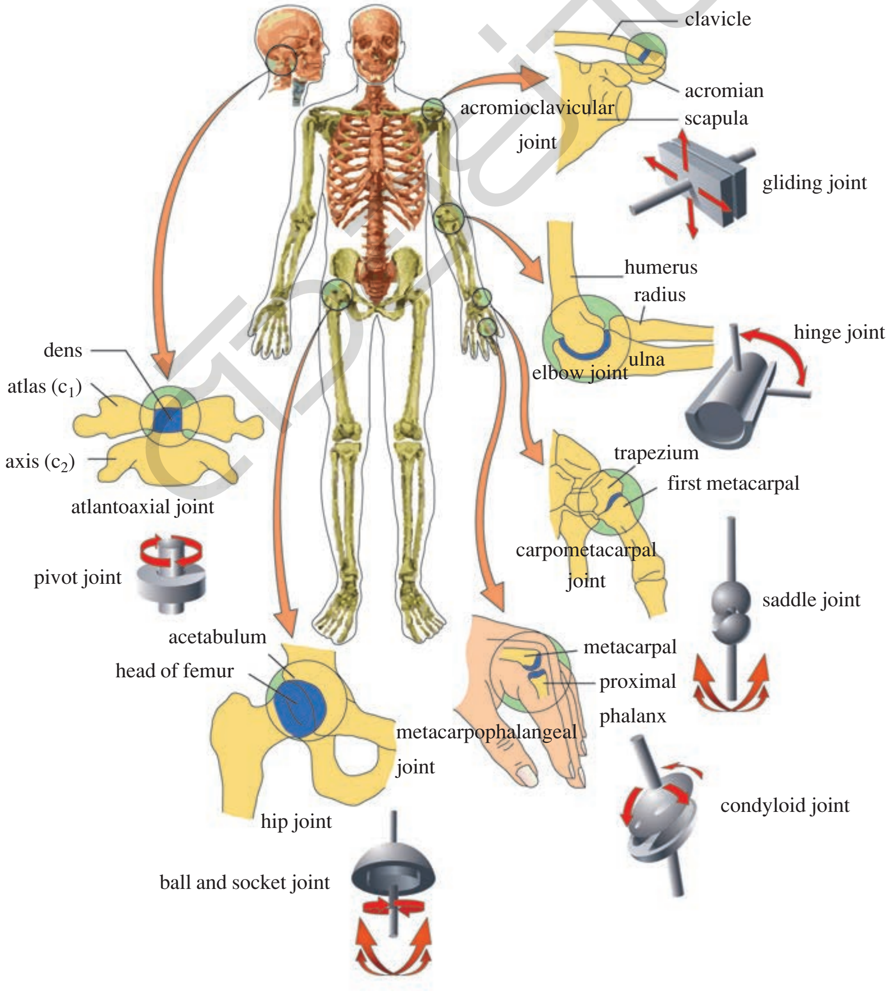
3.4 ข้อต่อแบบอานม้า (saddle joint) เป็นข้อต่อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้บางส่วน เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูกฝ่ามือกับกระดูกนิ้วหัวแม่มือ

3.5 ข้อต่อแบบเดือย (pivot joint) จัดเป็นข้อต่อที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวในลักษณะของการก้มเงย การบิดตัวไปด้านซ้ายหรือด้านขวา เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูกต้นคอกับฐานของกะโหลกศีรษะ

3.6 ข้อต่อแบบปุ่ม (condyloid joint) มีลักษณะคล้ายข้อต่อแบบลูกกลมในเบ้าแต่เคลื่อนไหวได้น้อยกว่า เช่น ข้อต่อระหว่างกระดูกฝ่ามือกับกระดูกนิ้วมือ



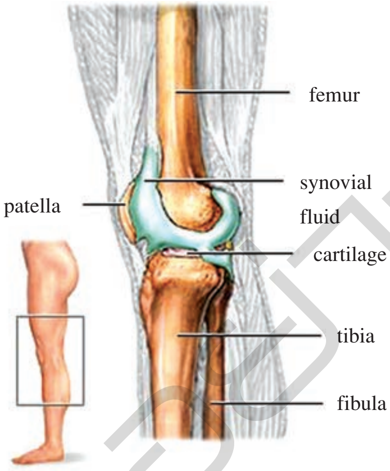
รูปแสดงข้อต่อที่เคลื่อนไหวไม่ได้



รูปแสดงข้อต่อที่เคลื่อนไหวได้

บริเวณข้อต่อที่กระดูกเชื่อมต่อกันนั้นมีโครงสร้างหรือสารที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างกระดูก ป้องกันการเสียดสีของกระดูก และทำให้กระดูกเคลื่อนไหวได้สะดวกคือ **กระดูกอ่อน (cartilage)** อยู่บริเวณปลายของกระดูกในตำแหน่งที่เชื่อมต่อกัน มีลักษณะเหนียว และมีความยืดหยุ่นเป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังมี **น้ำไขข้อ (synovial fluid)** ช่วยหล่อลื่นบริเวณดังกล่าว ในผู้สูงอายุปริมาณน้ำไขข้อจะลดลงและกระดูกอ่อนบริเวณข้อต่อเสื่อมคุณภาพ จึงมักพบว่าผู้สูงอายุจะมีอาการเจ็บปวดตามข้อต่อของกระดูก เช่น เข่า สะโพก ข้อเท้า เมื่อมีการเคลื่อนไหวของกระดูกบริเวณนั้น ๆ

เอ็นยึดข้อ (ligament) เป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความเหนียวและทนทาน ทำหน้าที่ยึดกระดูกให้เชื่อมต่อกันเป็นโครงร่างค้ำจุนร่างกาย รวมทั้งช่วยให้กระดูกทำงานประสานกันในการเคลื่อนไหว



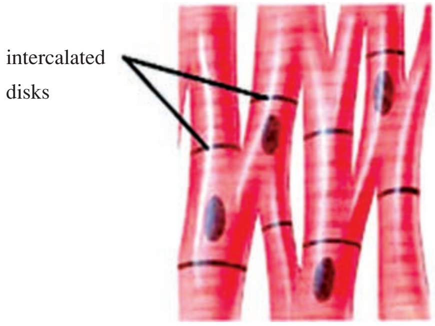
รูปแสดงบริเวณข้อต่อของกระดูก

- **ระบบกล้ามเนื้อ** การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลังเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบโครงกระดูกกับระบบกล้ามเนื้อ โดยระบบกล้ามเนื้อจะเป็นแหล่งของพลังงานที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวได้ กล้ามเนื้อของคนมี 3 ชนิด ดังนี้

1. กล้ามเนื้อยึดกระดูก (skeletal muscle) หรือกล้ามเนื้อลาย (striated muscle) ประกอบด้วยน้ำร้อยละ 70–80 โปรตีนร้อยละ 20 และยังมีสารจำพวกไกลโคเจนและไอออนต่าง ๆ เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) ลักษณะของกล้ามเนื้อเป็นลาย (striation) โดยมีแถบลายสีอ่อนและสีเข้มสลับกัน เซลล์ของกล้ามเนื้อยึดกระดูกมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอกยาว เยื่อหุ้มเซลล์เรียกว่า **ซาร์โคเลมมา (sarcolemma)** ของเหลวภายในเซลล์เรียกว่า **ซาร์โคพลาซึม (sarcoplasm)** ภายในเซลล์ประกอบด้วยโปรตีนแอกทิน (actin) และโปรตีนไมโอซิน (myosin) ซึ่งแต่ละเซลล์ของเซลล์กล้ามเนื้อยึดกระดูกจะมีนิวเคลียสหลายอัน กล้ามเนื้อชนิดนี้จะยึดเกาะติดกับโครงกระดูก เช่น กล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อลำคอ จึงเป็นกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวร่วมกับระบบโครงกระดูกโดยตรง การทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูกอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ ถูกควบคุมโดยระบบประสาทโซมาติก (somatic nervous system) กล่าวคือ ร่างกายสามารถบังคับการทำงานของกล้ามเนื้อชนิดนี้ได้

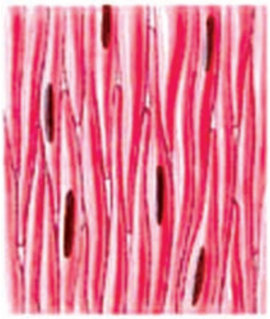
รูปแสดงกล้ามเนื้อยึดกระดูก

2. กล้ามเนื้อหัวใจ (cardiac muscle) เป็นกล้ามเนื้อของหัวใจโดยเฉพาะ มีลักษณะเป็นแถบลายเช่นเดียวกับกล้ามเนื้อยึดกระดูก เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีรูปร่างลักษณะเป็นทรงกระบอกโดยส่วนปลายของเซลล์จะแตกแขนงเชื่อมโยงกับเซลล์ที่อยู่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจต้องการพลังงานปริมาณมาก ภายในเซลล์จึงมีไมโทคอนเดรียจำนวนมาก การทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจอยู่นอกเหนืออำนาจจิตใจ ร่างกายไม่สามารถควบคุมได้ การหดและคลายตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ (autonomic nervous system)



รูปแสดงกล้ามเนื้อหัวใจ

3. กล้ามเนื้อเรียบ (smooth muscle) เป็นกล้ามเนื้อที่ไม่มีลาย ซึ่งแตกต่างจากกล้ามเนื้อยึดกระดูกและกล้ามเนื้อหัวใจ กล้ามเนื้อเรียบประกอบด้วยเซลล์ที่มีลักษณะรูปร่างเป็นเซลล์ยาว ส่วนหัวและส่วนท้ายแหลมคล้ายรูปกระสวย แต่ละเซลล์มีนิวเคลียสอันเดียวอยู่ตรงกลางเซลล์ กล้ามเนื้อเรียบพบอยู่ตามอวัยวะภายในของร่างกาย เช่น ผนังหลอดอาหาร ผนังกระเพาะอาหาร ผนังลำไส้ ผนังมดลูก กล้ามเนื้อหูรูดที่ม่านตา การทำงานของกล้ามเนื้อเรียบอยู่นอกอำนาจจิตใจ ร่างกายไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนวัติ



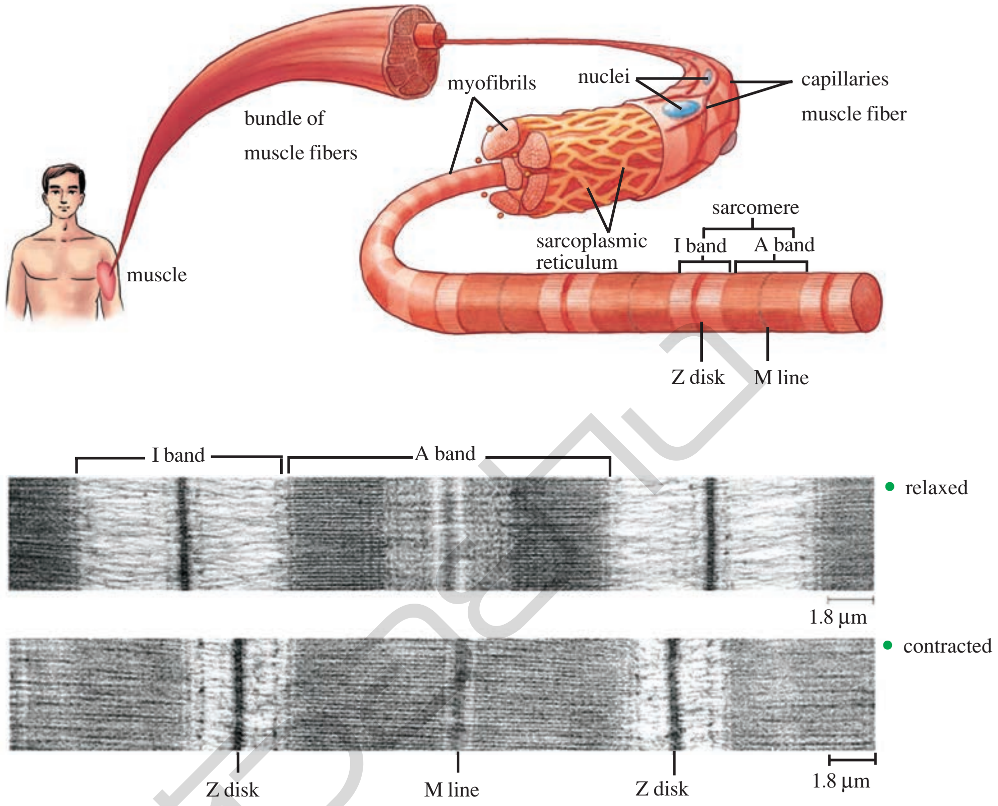
รูปแสดงกล้ามเนื้อเรียบ

โครงสร้างและการทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูก

โครงสร้างภายในของกล้ามเนื้อยึดกระดูกประกอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อ (muscle cell) หรือเส้นใยกล้ามเนื้อ (muscle fiber) ภายในเส้นใยกล้ามเนื้อประกอบด้วยเส้นใยกล้ามเนื้อเล็ก เรียกว่า **ไมโอไฟบริล (myofibrils)** จำนวนมากอยู่รวมกันเป็นมัด ไมโอไฟบริลมีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกขนาดยาวที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1–2 μm ไมโอไฟบริลแต่ละเส้นประกอบด้วยเส้นใยขนาดเล็ก เรียกว่า **ไมโครฟิลาเมนท์ (microfilament)** มีอยู่ 2 ชนิด คือ ไมโครฟิลาเมนท์เส้นบาง (thin filament) เป็นไมโครฟิลาเมนท์ที่ประกอบด้วยโปรตีนแอกทิน (actin) และไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนา (thick filament) เป็นไมโครฟิลาเมนท์ที่ประกอบด้วยโปรตีนไมโอซิน (myosin) ทั้งโปรตีนแอกทินและไมโอซินจะเรียงตัวกันในแนวขนาน จึงมองเห็นเส้นใยกล้ามเนื้อมีลาย (striated pattern) เป็นแถบลายสีอ่อนสลับกับแถบลายสีเข้มโดยตลอด แถบลายสีอ่อนเรียกว่า **I band** เป็นแถบลายเส้นบางหรือโปรตีนแอกทินเท่านั้น แต่แถบลายสีเข้มประกอบด้วยไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางและเส้นหนา เรียกว่า **A band** บริเวณตรงกลางของ A band เรียกบริเวณนี้ว่า **H band** ส่วนบริเวณกึ่งกลางของแถบลาย I band ถูกแบ่งด้วยเส้นสีดำที่เรียกว่า **Z line** ระยะระหว่าง Z line หนึ่งถึงอีก Z line หนึ่งในไมโอไฟบริล เรียกว่า **1 ซาร์โคเมียร์ (sarcomere)** แต่ละซาร์โคเมียร์มีความยาวประมาณ 2.5 μm เมื่อไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางหรือโปรตีนแอกทินเลื่อนเข้าหากัน ทำให้ซาร์โคเมียร์หดตัวสั้นเข้า เมื่อซาร์โคเมียร์หลาย ๆ ซาร์โคเมียร์หดตัวมีผลให้มัดกล้ามเนื้อ

ตัวอย่าง

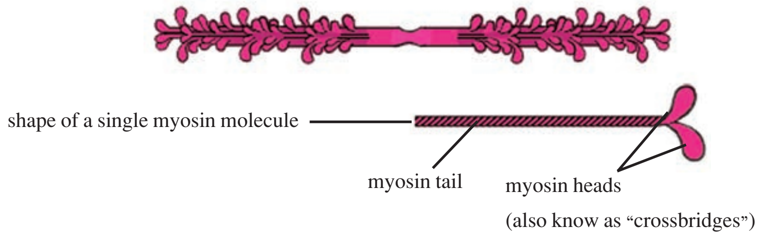
เกิดการหดตัว ซาร์โคเมียร์จึงเป็นหน่วยที่ทำหน้าที่ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ เนื่องจากกล้ามเนื้อยึดติดอยู่กับกระดูก เมื่อกล้ามเนื้อหดตัวจึงทำให้กระดูกเคลื่อนไหวไปด้วย



รูปแสดงโครงสร้างของกล้ามเนื้อยึดกระดูก

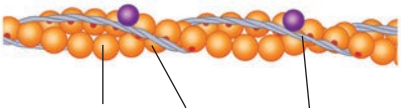
1. โครงสร้างของไมโครฟิลาเมนท์

1.1 ไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนา (thick filament) ประกอบด้วยโปรตีนไมโอซินเรียงตัวกันเป็นมัดยาวที่มีส่วนหัวยื่นออกมาเป็นระยะ ๆ โมเลกุลของไมโอซินประกอบด้วยโปรตีน 2 สายพันกันเป็นเกลียว โดยปลายข้างหนึ่งของสายโปรตีนทั้ง 2 สายแยกออกจากกัน ส่วนปลายของแต่ละสายที่แยกออกจากกันนั้นจะพันกันแล้วขมวดมีรูปร่างเป็นรูปกลม (globular) ซึ่งจัดเป็นหัวของไมโอซินมี 2 หัว บริเวณดังกล่าวนี้มีเอนไซม์ ATPase ที่ทำหน้าที่ในการสลายสารพลังงานสูง ATP พลังงานที่ได้ถูกนำมาใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อ

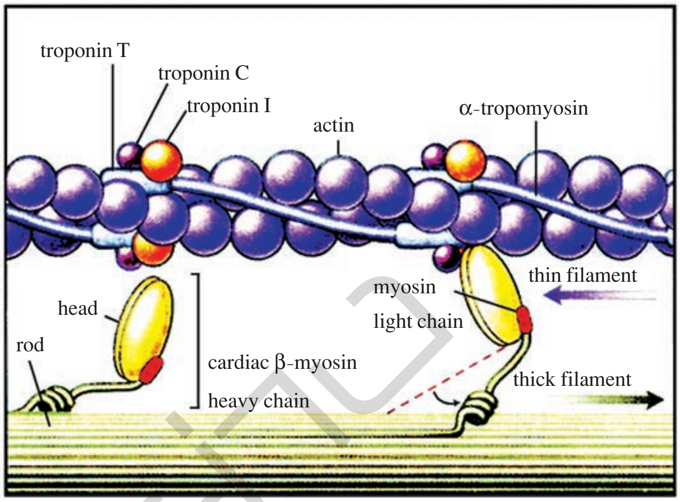


รูปแสดงโครงสร้างของไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนา

1.2 ไมโครฟิลาเมนท์เส้นบาง (thin filament) ประกอบด้วยโมเลกุลของโปรตีนแอกทินเรียงตัวกันเป็นสายยาว 2 สายพันกันเป็นเกลียว และมีโปรตีนโทรโปไมโอซิน (tropomyosin) ซึ่งเป็นโปรตีนสายสั้นแทรกอยู่ระหว่างร่องเกลียว ที่ปลายของโปรตีนโทรโปไมโอซินมีโปรตีนโทรโปนิน (troponin) ติดอยู่ โดยแต่ละช่วงเกลียวจะมีโทรโปไมโอซิน 1 โมเลกุล และโทรโปนิน 1 โมเลกุล



รูปแสดงโครงสร้างของไมโครฟิลาเมนท์เส้นบาง



รูปแสดงการเกาะกันระหว่างไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนากับเส้นบาง

ตัวอย่าง

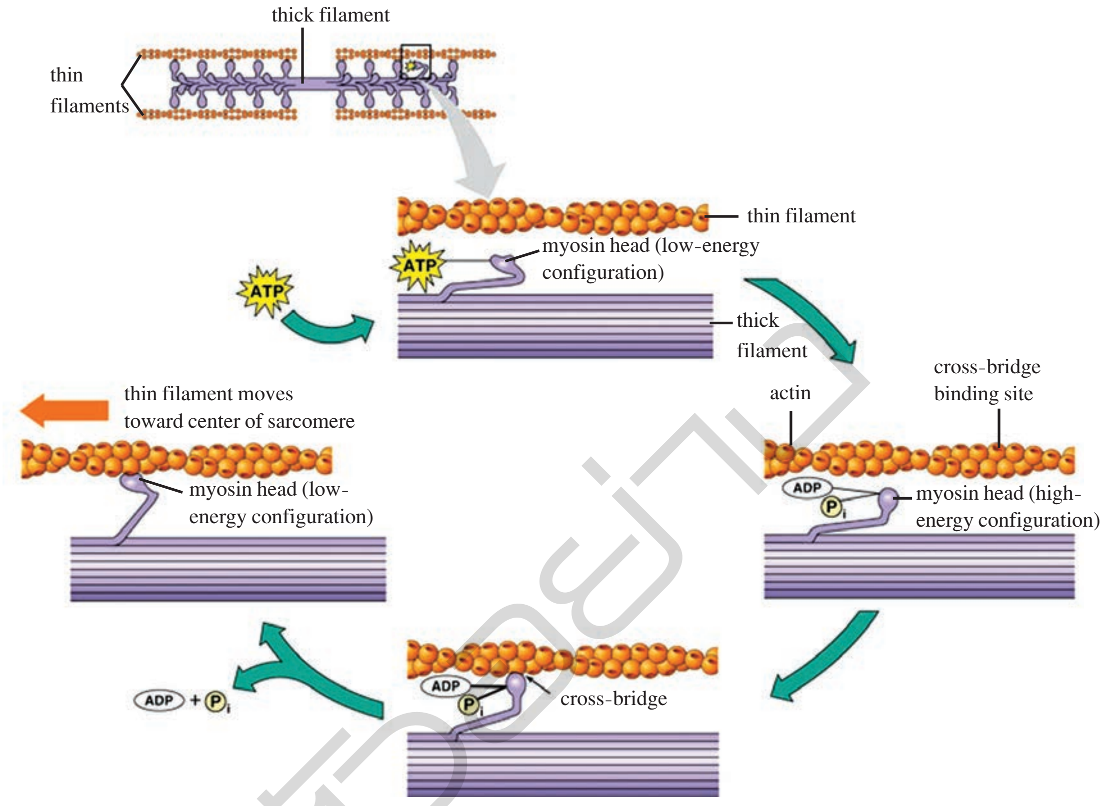
2. กลไกการทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูก ฮักซ์เลย์ และแฮนสัน (H.E. Huxley and Jean Hanson) ได้เสนอสมมติฐาน sliding filament hypothesis ขึ้นในปี ค.ศ. 1954 โดยกล่าวไว้ว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อเกิดจากการเลื่อนตัวของแอกทินเข้าหากันบริเวณตรงกลาง จากสมมติฐานดังกล่าว อธิบายการทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูกได้ว่า เมื่อไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางหรือโปรตีนแอกทินเลื่อนตัวเข้าหากันบริเวณตรงกลางของแต่ละซาร์โคเมียร์ โดยอาศัยพลังงานจากสารพลังงานสูง ATP และมีแคลเซียมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดสารประกอบเชิงซ้อนเรียกว่า **แอกโทไมโอซิน (actomyosin)** มีผลให้กล้ามเนื้อยึดกระดูกเกิดการหดตัว กล้ามเนื้อจึงดึงกระดูกที่ยึดติดอยู่นั้นให้เคลื่อนไหวไปด้วย เมื่อปริมาณแคลเซียมลดลงแต่ปริมาณแมกนีเซียมสูงขึ้น โปรตีนแอกทินจะเลื่อนออกจากกันทำให้กล้ามเนื้อคลายตัว

จึงกล่าวได้ว่าการหดตัวของกล้ามเนื้อยึดกระดูกเกิดจากการเลื่อนเข้ามาซ้อนกันของไมโครฟิลาเมนท์ เรียกว่า **sliding filament model** กล่าวคือ เมื่อกล้ามเนื้อเริ่มหดตัวไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางจะดึงเอา Z line เข้าสู่บริเวณตรงกลางของซาร์โคเมียร์ ทำให้ซาร์โคเมียร์แคบลง A band คงที่ I band แคบเข้า ขณะที่ H band หายไป ซาร์โคเมียร์จะแคบเข้าไปมากขึ้นเมื่อกล้ามเนื้อหดตัวเต็มที่

การหดตัวของกล้ามเนื้อ มีขั้นตอนการเกิดดังนี้

1. เมื่อกล้ามเนื้ออยู่ในระยะพัก (resting) โปรตีนแอกทินไม่เกาะกับไมโอซิน
2. ส่วนหัวของไมโอซินเกาะที่แอกทินโดยทำมุม 90 องศา การเกาะกันระหว่างแอกทินกับไมโอซินในระยะนี้ยังไม่มีการหดตัวของกล้ามเนื้อ
3. เมื่อกล้ามเนื้อเกิดการหดตัว จะเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีนในส่วนหัวของไมโอซิน ทำให้มุมที่เกาะกันระหว่างแอกทินกับไมโอซินเปลี่ยนเป็น 45 องศา และไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางที่เกาะอยู่เลื่อนไปในทิศทางที่หัวของไมโอซินเอียง นั่นคือ ไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางเลื่อนผ่านเข้าไปในไมโครฟิลาเมนท์เส้นหนา ซึ่งจะดึง Z line เข้าหากัน ทำให้ระยะห่างระหว่าง Z line หดสั้นลง

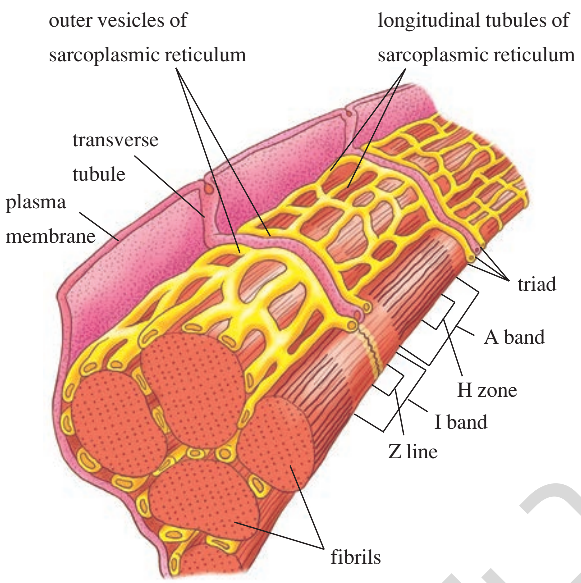
4. ส่วนหัวของไมโอซินที่เกาะอยู่กับแอกทินหลุดออก เนื่องจากสาร ATP ไปเกาะที่ไมโอซินแทนที่แอกทิน ดังนั้นไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางจึงเลื่อนกลับสู่สภาพเดิม



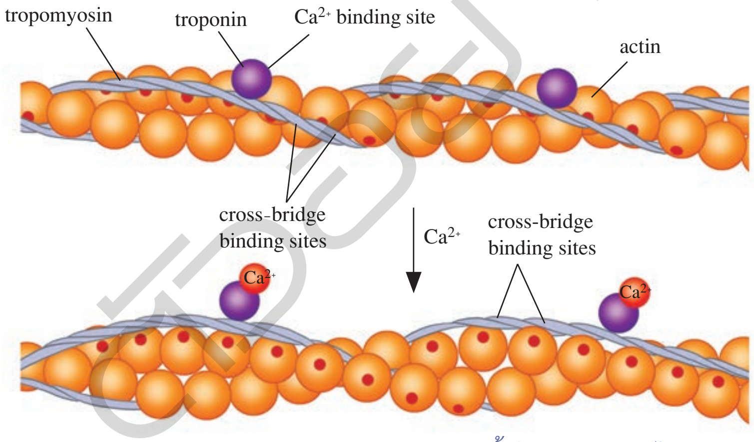
รูปแสดงขั้นตอนการหดตัวของกล้ามเนื้อ

ตัวอย่าง

3. กลไกการควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) เนื่องจากไมโอไฟบริลถูกล้อมรอบด้วยร่างแหซาร์โคพลาสมิกที่มีลักษณะเป็นหลอดกลวง ทำหน้าที่ในการสะสม Ca^{2+} ขณะที่กล้ามเนื้ออยู่ในระยะพักนั้น โปรตีนโทรโปไมโอซินจะกันไม่ให้ไมโอซินจับกับแอกทิน แต่เมื่อร่างแหซาร์โคพลาสมิกได้รับการกระตุ้นจากกระแสประสาท Ca^{2+} จะถูกปล่อยออกมาจากร่างแหซาร์โคพลาสมิก จากนั้น Ca^{2+} จะไปเกาะกับโปรตีนโทรโปนินในไมโครฟิลาเมนท์เส้นบาง ทำให้โครงสร้างของโทรโปนินเปลี่ยนไปและโปรตีนโทรโปไมโอซินของแอกทินหรือไมโครฟิลาเมนท์เส้นบางเปลี่ยนตำแหน่งไป ทำให้แอกทินสามารถเกาะอยู่กับไมโอซินได้ กล้ามเนื้อจึงเกิดการหดตัว หลังจากนั้น Ca^{2+} จะถูกนำไปเก็บไว้ที่ร่างแหซาร์โคพลาสมิกเช่นเดิม



รูปแสดงร่างแหซาร์โคพลาสมิก



รูปแสดงการควบคุมการหดตัวของกล้ามเนื้อโดยแคลเซียมไอออน

แหล่งพลังงานสำหรับกระบวนการหดตัวของกล้ามเนื้อ

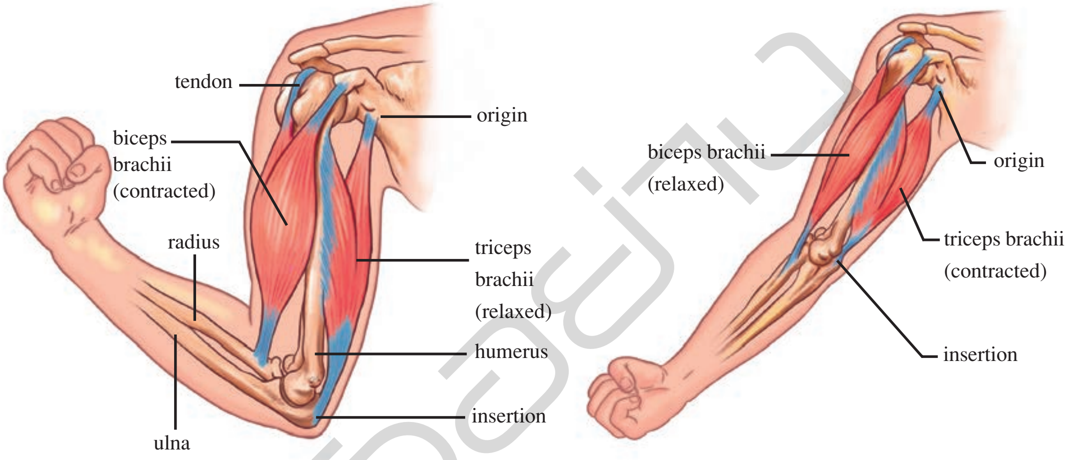
การหดตัวของกล้ามเนื้อยึดกระดูกหรือกล้ามเนื้อลายนั้นอาศัยพลังงานจากการสลายตัวของสารพลังงานสูง ATP ในกล้ามเนื้อ โดยเอนไซม์ ATPase เนื่องจากปริมาณของสาร ATP ในกล้ามเนื้อมีปริมาณต่ำมาก กล้ามเนื้อจึงต้องใช้พลังงานของสารพลังงานสูง ATP จากกลูโคส กรดไขมัน และคีโตนบอดี (ketone bodies) ในสภาวะที่ร่างกายได้รับแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอจะมีการนำไกลโคเจนมาสลายเพื่อให้ได้ สาร ATP ในกรณีเช่นนี้ จะมีสาร ATP เกิดขึ้นปริมาณน้อย ขณะเดียวกันจะมีกรดแลกติกเกิดขึ้นด้วย ถ้ากรดแลกติกสะสมในกล้ามเนื้อมากจะทำให้กล้ามเนื้อเกิดอาการล้าได้

การเคลื่อนไหวของสัตว์ที่อาศัยการหดตัวของกล้ามเนื้อยึดกระดูก

การทำงานของกล้ามเนื้อยึดกระดูกเพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวนั้น กล้ามเนื้อยึดกระดูกจะทำงานเป็นคู่แบบสภาวะตรงกันข้าม เรียกว่า **แอนตาโกนิซึม (antagonism)** ดังนั้นเมื่อกล้ามเนื้อด้านหนึ่งหดตัว กล้ามเนื้อ

อีกด้านหนึ่งจะคลายตัว การหดตัวของกล้ามเนื้อทำให้เกิดแรงดึงให้กระดูกทั้งท่อนเคลื่อนไหวได้ด้วย เนื่องจากระหว่างกล้ามเนื้อกับกระดูกมีเอ็นยึดกระดูก (tendon) ยึดอยู่ เอ็นยึดกระดูกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีความเหนียวแข็งแรงและทนทานต่อแรงดึงหรือการรองรับน้ำหนัก

กล้ามเนื้อที่หดตัวแล้วทำให้อวัยวะงอเข้าเรียกว่า **กล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ (flexor)** ส่วนกล้ามเนื้อที่หดตัวแล้วทำให้อวัยวะเหยียดออก เรียกว่า **กล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์ (extensor)** เช่น การเคลื่อนไหวของแขนคน โครงสร้างของแขนคนประกอบด้วยกล้ามเนื้อไบเซพ (bicep) และกล้ามเนื้อไตรเซพ (tricep) เมื่อกล้ามเนื้อไบเซพหดตัว กล้ามเนื้อไตรเซพคลายตัวทำให้แขนงอเข้า แต่ถ้ากล้ามเนื้อไตรเซพหดตัว กล้ามเนื้อไบเซพคลายตัวแขนจะเหยียดออก ดังนั้น กล้ามเนื้อไบเซพจึงเป็นกล้ามเนื้อเฟล็กเซอร์ กล้ามเนื้อไตรเซพจัดเป็นกล้ามเนื้อเอ็กเทนเซอร์



รูปแสดงการทำงานของกล้ามเนื้อไบเซพและกล้ามเนื้อไตรเซพ

ตัวอย่าง

ตัวอย่าง

Compact ชีววิทยา
ม.5 เล่ม 3
1532610100

MODERN ACADEMIC CENTER
สัญลักษณ์แห่งคุณภาพทางวิชาการ
MACeducation.com
Your Education Online
www.MACeducation.com

9 789744 126375
ราคา 310 บาท