



หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๕

ISBN 978-616-576-355-4

จำนวน ๑๓๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๖

จัดจำหน่ายโดย

องค์การค้ำของ สกสศ. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสศ. ลาดพร้าว

๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

❖ มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ



ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ ตามผลการเรียนรู้กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้ว อนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๕ มกราคม พ.ศ. ๒๕๖๗

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

กระทรวงศึกษาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่น ๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

ว่าที่ร้อยตรี

(ธนุ วงษ์จินดา)

เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษา ขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติ เพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๑ – เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ – ๖ แล้วจะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๕ นี้มีเนื้อหาที่จำเป็นต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องระบบประสาทและอวัยวะรับรู้ การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต ระบบต่อมไร้ท่อ ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต และพฤติกรรมของสัตว์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ วิศวกร เทคนิคการแพทย์ วิทยาศาสตร์การกีฬา เทคโนโลยีชีวภาพ ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ชีววิทยา เล่ม ๕ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

ส. ธีระเดช

(รองศาสตราจารย์ธีระเดช เจียรสุขสกุล)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1	คำถามสำคัญ  คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว	2	จุดประสงค์การเรียนรู้  เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ
3	ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน  ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหาในบทก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท	4	ชวนคิด  คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา
5	ตรวจสอบความเข้าใจ  คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง	6	ลองทำดู  การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7	กิจกรรม	8	ตัวอย่าง
	การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง		การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อเพิ่มความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น
9	กิจกรรมเสนอแนะ	10	ความรู้เพิ่มเติม
	การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้		ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้ให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล
11	รู้หรือไม่	12	การเชื่อมโยงความรู้
	ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน		เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ
13	กรณีศึกษา	14	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
	ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้ นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง		การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด
15	แบบฝึกหัดท้ายบท	16	สื่อ AR (Augmented Reality)
	คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้		สื่อเสริมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยี AR ผู้เรียนสามารถดาวน์โหลดเพื่อใช้งานผ่านแอปพลิเคชัน "AR วิทย ม.ปลาย"

สารบัญ		บทที่ 18 - 22		
บทที่		เนื้อหา		หน้า
18	ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก	18 ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก		1
		18.1 การรับรู้และการตอบสนองของสัตว์		4
		18.2 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์ประสาท		8
		18.3 ศูนย์ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์		23
		18.4 การทำงานของระบบประสาท		34
		18.5 อวัยวะรับความรู้สึก		41
		สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน		60
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 18		62		
19	การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต	19 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิต		69
		19.1 การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว		72
		19.2 การเคลื่อนที่ของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง		75
		19.3 การเคลื่อนที่ของสัตว์มีกระดูกสันหลัง		82
		19.4 การเคลื่อนที่ของมนุษย์		85
		สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน		97
		แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 19		98

สารบัญ	บทที่ 18 - 22	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
20	20 ระบบต่อมไร้ท่อ	101
	20.1 การทำงานร่วมกันของระบบต่อมไร้ท่อและระบบประสาท	104
	20.2 ต่อมไร้ท่อ	106
	20.3 ฮอร์โมนและการทำงานของฮอร์โมน	108
	20.4 การรักษาสสมดุลของฮอร์โมน	132
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	136
	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 20	137
21	21 ระบบสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต	143
	21.1 การสืบพันธุ์ของสัตว์	146
	21.2 การสืบพันธุ์ของมนุษย์	152
	21.3 การเจริญเติบโตของสัตว์	165
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	179
ระบบสืบพันธุ์และ การเจริญเติบโต	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 21	181

สารบัญ	บทที่ 18 - 22	
บทที่	เนื้อหา	หน้า
22	22 พฤติกรรมของสัตว์	191
	22.1 การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์	194
	22.2 กลไกการเกิดพฤติกรรม	195
	22.3 ประเภทพฤติกรรมของสัตว์	198
	22.4 ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมและวิวัฒนาการ ของระบบประสาท	213
	22.5 การสื่อสารระหว่างสัตว์	215
	สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน	223
พฤติกรรมของสัตว์	แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 22	224
ภาคผนวก	ภาคผนวก	231
	คำศัพท์	232
	บรรณานุกรม	247
	ที่มาของรูป	251
	คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียน	253

บทที่

18

| ระบบประสาทและอวัยวะรับความรู้สึก



ipst.me/10774



การเล่นดนตรี เช่น การเล่นเปียโน ต้องใช้ประสาทสัมผัสและการทำงานประสานกันของระบบต่างๆ ของร่างกาย โดยมีระบบประสาทควบคุม ออกคำสั่งไปยังกล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณแขนและนิ้วมือให้กดคีย์บอร์ดเปียโน แต่การที่เล่นเปียโนได้นั้น ผู้เล่นต้องอ่านโน้ตเพลงซึ่งเป็นสิ่งเราที่ให้ข้อมูลเข้าสู่สมองที่มีหน้าที่ประมวลผลว่าเป็นตัวโน้ตใดที่ผู้เล่นได้มีประสบการณ์หรือมีการเรียนรู้มาก่อนเพื่อตัดสินใจที่จะกดคีย์บอร์ดเปียโนตามตัวโน้ตนั้น แล้วสมองจะสั่งการไปที่กล้ามเนื้อโครงร่างที่นิ้วมือเพื่อกดคีย์บอร์ดให้ถูกต้อง กลไกการรับรู้และตอบสนองดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีโครงสร้างหรืออวัยวะใดเกี่ยวข้องบ้าง



คำถามสำคัญ

1. สัตว์รับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้อย่างไร
2. ระบบประสาทของมนุษย์มีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร
3. อวัยวะรับรู้ความรู้สึกของมนุษย์มีโครงสร้างและการทำงานอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทของไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน กุ้ง หอย แมลง และสัตว์มีกระดูกสันหลัง
2. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ประสาท
3. ระบุชนิดของเซลล์ประสาทที่จำแนกตามจำนวนเส้นใยประสาทและหน้าที่
4. อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาท
5. อธิบายเกี่ยวกับกลไกการเกิดกระแสประสาทและการถ่ายทอดกระแสประสาท
6. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก
7. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่างๆ ของสมอง และไขสันหลัง
8. สืบค้นข้อมูล อธิบายการทำงานของระบบประสาทไขมาติกและระบบประสาทอัตโนมัติ
9. เปรียบเทียบและยกตัวอย่างการทำงานของระบบประสาทไขมาติกและระบบประสาทอัตโนมัติ
10. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของตา
11. สังเกตและอธิบายการหาตำแหน่งของจุดบอดและโฟเวีย
12. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของหู
13. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของจมูก
14. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของลิ้น
15. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของผิวหนัง
16. สังเกตและอธิบายความไวในการรับสัมผัสของผิวหนังในแต่ละบริเวณ
17. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างโรคที่เกี่ยวข้องกับตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนัง และนำความรู้มาใช้ในการดูแลรักษาและป้องกันอันตรายต่ออวัยวะรับรู้ต่างๆ



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

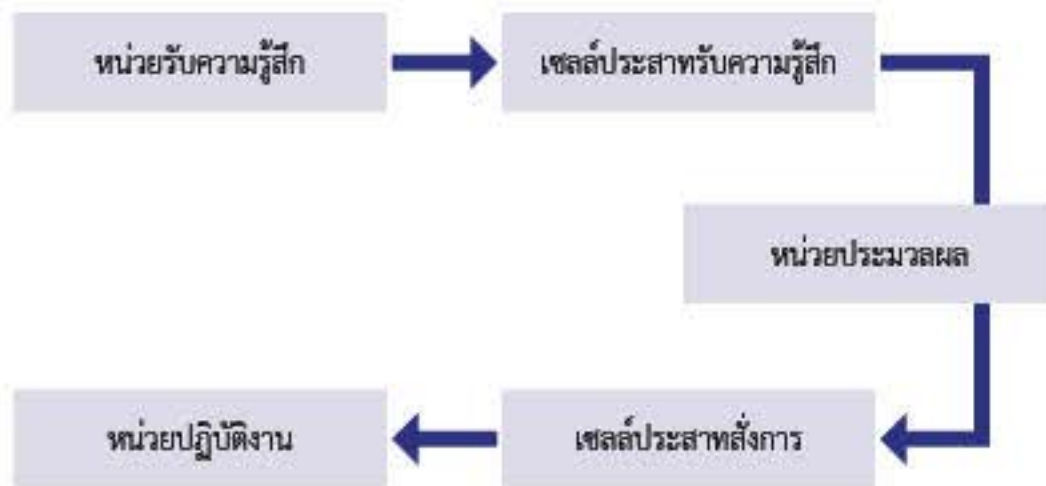
ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (✓) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

- ☐ 1. เซลล์ประสาทประกอบด้วยตัวเซลล์และเส้นใยประสาท
- ☐ 2. ศูนย์กลางของระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลังประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง
- ☐ 3. เดนไดรต์เป็นเส้นใยประสาทที่ทำหน้าที่รับกระแสประสาท ขณะที่แอกซอนทำหน้าที่ส่งกระแสประสาท
- ☐ 4. การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่นๆ ส่วนใหญ่ต้องใช้สารสื่อประสาท
- ☐ 5. ไซแนปส์เป็นบริเวณที่อยู่ติดกันระหว่างปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่งกับตัวเซลล์หรือส่วนของเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง
- ☐ 6. การเกิดรีเฟล็กซ์ของการกระตุกขาเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าถูกควบคุมด้วยไขสันหลังและสมอง
- ☐ 7. ทาลามัสควบคุมสมดุลของน้ำในร่างกาย
- ☐ 8. ลิ้นแต่ละส่วนสามารถรับรสได้เพียงรสเดียวเท่านั้น
- ☐ 9. ผู้ที่มีสายตาสั้นแก้ไขให้มองเห็นภาพชัดเป็นปกติได้โดยการใส่แว่นที่มีเลนส์นูน ส่วนผู้ที่มีสายตายาวแก้ไขได้โดยการใส่แว่นที่มีเลนส์เว้า
- ☐ 10. ซีโคล คือผิวหนังที่หลุดลอกจากผิวหนังชั้นหนังกำพร้า

ขณะที่อ่านโน้ตเพลงเพื่อเล่นเปียโน สมองได้รับข้อมูลจากการมองเห็นตัวโน้ตเพลงด้วยตาซึ่งจัดเป็นอวัยวะรับรู้ความรู้สึกที่เป็นหน่วยรับรู้ความรู้สึกอย่างหนึ่ง จากนั้นสมองจะเกิดการประมวลผลข้อมูลจากสิ่งที่ตาเห็น ซึ่งการประมวลผลของสมองจะมีการส่งสัญญาณให้ผู้เล่นเปียโนตอบสนองโดยใช้นิ้วมือกดคีย์บอร์ดเปียโนจนเกิดเป็นเสียงเพลงขึ้น การตอบสนองดังกล่าวเกิดขึ้นได้อย่างไร

18.1 การรับรู้และการตอบสนองของสัตว์

ในการตอบสนองของสิ่งมีชีวิตจะเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้า (stimulus) ทั้งสิ่งเร้าภายในร่างกายและสิ่งเร้าภายนอกในร่างกาย สิ่งเร้าดังกล่าวทำให้สิ่งมีชีวิตมีการรับรู้และตอบสนองในรูปแบบที่แตกต่างกัน การรับรู้เพื่อตอบสนองของสิ่งมีชีวิตโดยทั่วไปจะประกอบด้วยองค์ประกอบดังรูป 18.1



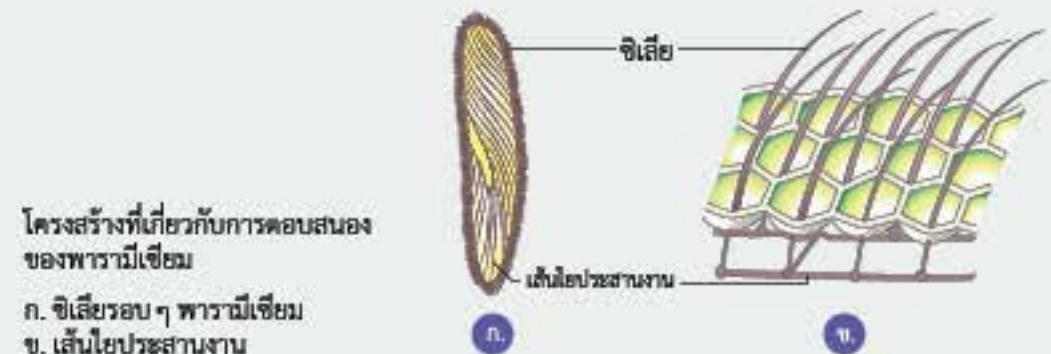
รูป 18.1 องค์ประกอบในการรับรู้เพื่อตอบสนองของสิ่งมีชีวิต

ในบางกรณีการตอบสนองของสัตว์จะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาท (nervous system) และระบบต่อมไร้ท่อ (endocrine system) โดยระบบประสาทจะควบคุมการตอบสนองที่เกิดขึ้นและสิ้นสุดเร็ว เช่น การวิ่งหนีสัตว์ร้าย ระบบประสาทจะสั่งให้กล้ามเนื้อหดตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ส่วนระบบต่อมไร้ท่อจะควบคุมการตอบสนองที่เกิดขึ้นช้ากว่า แต่เมื่อเกิดขึ้นแล้วจะมีผลต่อเนื่องเป็นเวลานาน เช่น การเต้นของหัวใจที่ยังถี่ เร็ว และแรง ถึงแม้จะหนีพ้นจากสัตว์ร้ายแล้วก็ตาม



ความรู้เพิ่มเติม

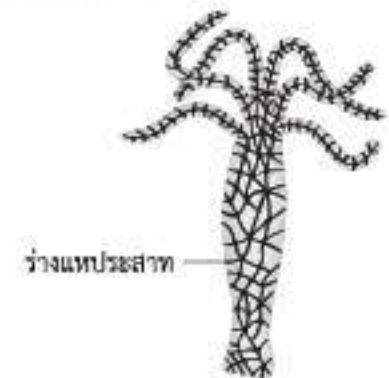
สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิด เช่น พารามีเซียม ไม่มีเซลล์ประสาทแต่ยังสามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ เช่น มีการเคลื่อนที่เข้าหาหรือหนีแสงสว่าง อุณหภูมิ หรือสารเคมี จากการศึกษาพบว่าพารามีเซียมมีเส้นใยเชื่อมโยงระหว่างโคนของซิเลีย เรียกว่า เส้นใยประสานงาน (coordinating fiber) ดังรูป ซึ่งควบคุมการพัดโบกของซิเลียเพื่อให้เคลื่อนที่ไปยังทิศทางที่ต้องการได้



18.1.1 การตอบสนองของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง

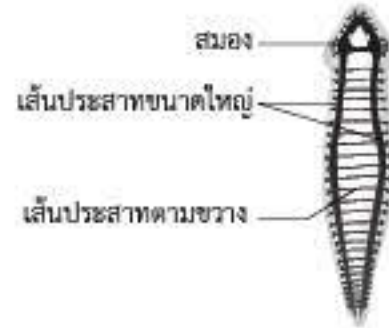
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังมีการพัฒนาของระบบประสาทซับซ้อนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวิวัฒนาการของสัตว์กลุ่มนั้น ทำให้มีการรับรู้และการตอบสนองที่แตกต่างกัน เช่น

- ฟองน้ำ เซลล์แต่ละเซลล์สามารถรับรู้และตอบสนองได้ แต่ไม่มีเซลล์ที่ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างเซลล์ต่างๆ โดยเฉพาะ
- ไฮดรา มีร่างแหประสาท (nerve net) ประกอบด้วยเซลล์ประสาทเชื่อมโยกัน ดังรูป 18.2 เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นจะเกิดกระแสประสาท (nerve impulse) เคลื่อนไปตามเซลล์ประสาทที่สานกันเป็นร่างแหจากจุดที่ถูกกระตุ้นและกระจายไปทั่วทั้งตัว ทำให้ไฮดราสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้



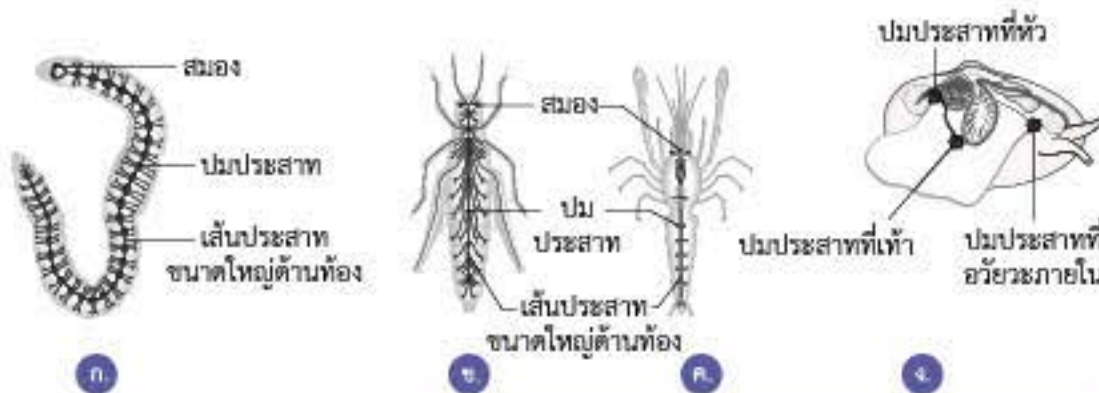
รูป 18.2 ร่างแหประสาทของไฮดรา

- พลาเนเรีย มีเซลล์ประสาทรวมกันเป็นกลุ่ม โดยเฉพาะบริเวณส่วนหัวเรียกว่า **ปมประสาท** (nerve ganglion) หรืออาจเรียกว่าสมอง ด้านล่างของปมประสาทยังมีเส้นประสาทที่แยกออกทั้งสองข้างของลำตัวเรียกว่า **เส้นประสาทขนาดใหญ่** (nerve cord) ยาวขนานไปตามลำตัวจากหัวจรดท้าย และระหว่างเส้นประสาทนี้มีเส้นประสาทเชื่อมเป็นระยะๆ เรียกว่า **เส้นประสาทตามขวาง** (transverse nerve) ทำให้มีลักษณะเป็นแบบ **ขั้นบันได** (ladder type) ดังรูป 18.3



รูป 18.3 ระบบประสาทของพลาเนเรีย

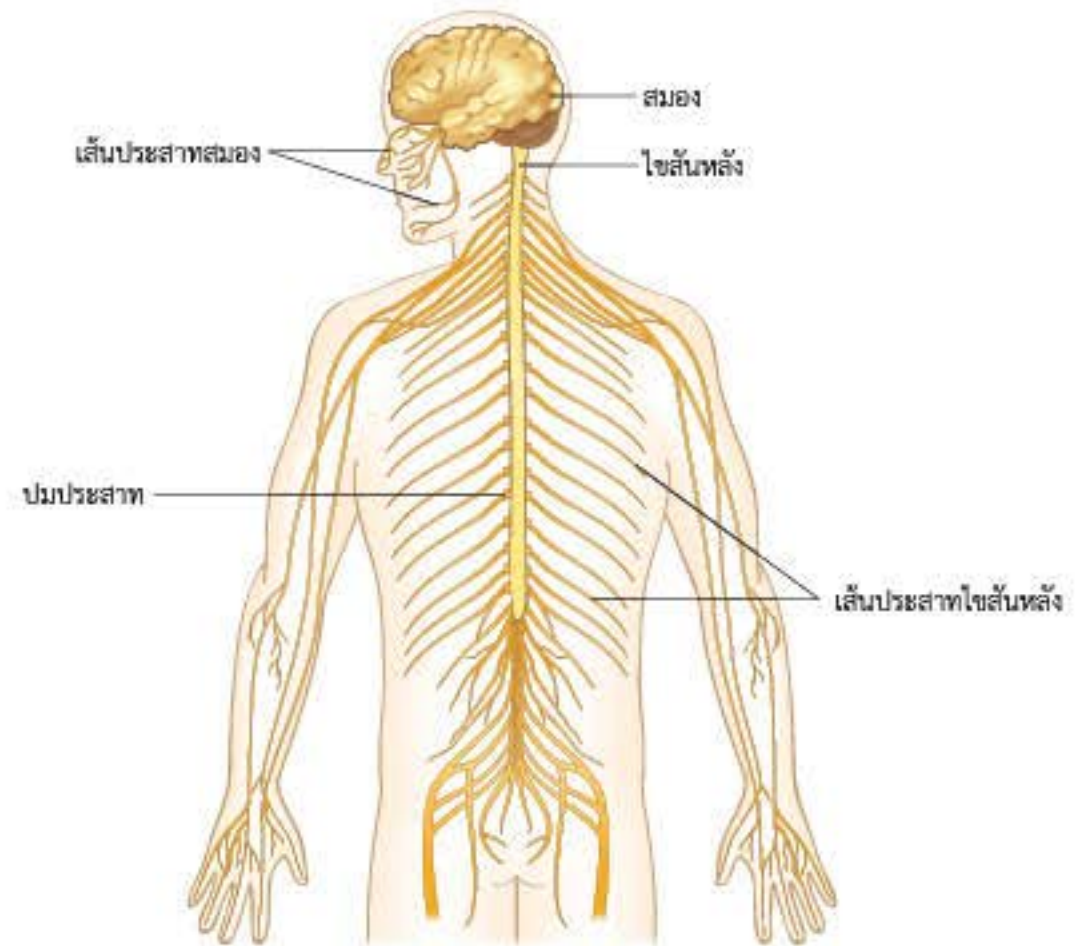
- ไส้เดือนดิน แมลง และกิ้ง มีปมประสาทที่ใหญ่ขึ้นทำหน้าที่เป็นสมองอยู่ด้านหัว มี **เส้นประสาทขนาดใหญ่ด้านท้อง** (ventral nerve cord) ที่มีปมประสาทอยู่เป็นระยะๆ ตามความยาวลำตัว ดังรูป 18.4 ก. ข. และ ค. ส่วนสัตว์ในกลุ่มหอยและหมีก็มีปมประสาทอยู่ที่หัว อวัยวะภายใน และบริเวณที่เป็นเท้า (foot) ดังรูป 18.4 ง.

รูป 18.4 ระบบประสาทของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด
ก. ไส้เดือนดิน ข. แมลง ค. กิ้ง ง. หอย

- ? ไฮดราพลาเนเรีย ไส้เดือนดิน แมลง กิ้ง และหอยมีโครงสร้างของระบบประสาทแตกต่างกันอย่างไร
- ? การที่พลาเนเรีย ไส้เดือนดิน แมลง กิ้ง และหอย มีปมประสาทอยู่บริเวณหัวมีผลต่อการรับรู้และการตอบสนองอย่างไร
- ? สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังชนิดอื่นมีระบบประสาทที่มีโครงสร้างแบบอื่นอีกหรือไม่ อย่างไร

18.1.2 การตอบสนองของสัตว์มีกระดูกสันหลัง

มนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลังมีระบบประสาทที่พัฒนามาก เซลล์ประสาทส่วนใหญ่รวมกันอยู่ที่ส่วนหัวเรียกว่า **สมอง** (brain) ซึ่งมีขนาดใหญ่และเจริญมาก และมีส่วนที่ทอดยาวตามลำตัวทางด้านหลังเรียกว่า **ไขสันหลัง** (spinal cord) สมองและไขสันหลังทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางของระบบประสาท รักษาคุณภาพของร่างกาย โดยมี **ปมประสาท** (nerve ganglion) และ **เส้นประสาท** (nerve) แยกออกมาจากสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.5



รูป 18.5 สมอง ไขสันหลัง เส้นประสาท และปมประสาท

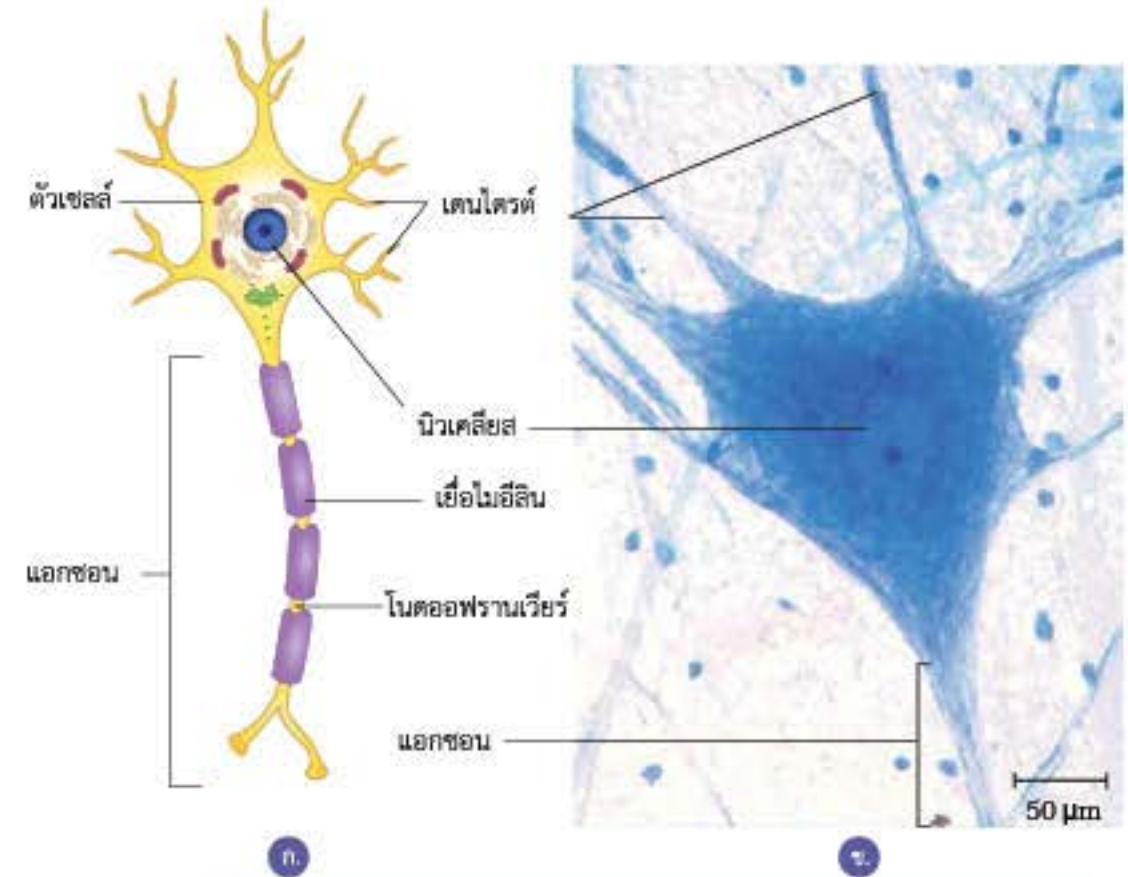
18.2 โครงสร้างและการทำงานของเซลล์ประสาท

มนุษย์สามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าในรูปแบบต่างๆ ได้ เป็นผลจากการทำงานร่วมกันของระบบประสาทซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system; CNS) ที่ประกอบไปด้วย สมองและไขสันหลัง และระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system; PNS) ที่ประกอบด้วยเส้นประสาทสมอง (cranial nerve) เส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve) และปมประสาท โครงสร้างของระบบประสาทมีอะไรบ้างและสามารถทำงานได้อย่างไร

18.2.1 เนื้อเยื่อประสาท

ระบบประสาทของมนุษย์ประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาทที่กระจายอยู่ทั่วไปในร่างกายเป็นเครือข่ายที่เชื่อมถึงกัน โดยประกอบด้วยหน่วยทำงานที่เล็กที่สุดคือ เซลล์ประสาท (nerve cell) หรือ นิวรอน (neuron) จำนวนมาก ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้ และส่งข้อมูลในลักษณะสัญญาณประสาท ในรูปของสัญญาณเคมีไฟฟ้า (electrochemical signal) หรือกระแสประสาท เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์อาจมีการเชื่อมโยงกับเซลล์ประสาทอื่นๆ จำนวนมาก และมีเซลล์เกลีย (glia cell) ทำหน้าที่สนับสนุนและบำรุงเซลล์ประสาท รายละเอียดของเนื้อเยื่อประสาทมีดังนี้

- เซลล์ประสาท ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ตัวเซลล์ (cell body) และเส้นใยประสาท (nerve fiber) ดังรูป 18.6 ภายในตัวเซลล์ประกอบด้วย นิวเคลียส ไซโทพลาซึม และออร์แกเนลล์ต่างๆ เช่น ไมโทคอนเดรีย เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม และกอลจิคอมเพล็กซ์จำนวนมาก บริเวณรอบตัวเซลล์มีเส้นใยประสาทซึ่งเป็นส่วนของเซลล์ที่ยื่นออกไป มีลักษณะเป็นแขนงเล็กๆ เส้นใยประสาทแบ่งได้ดังนี้
 - **เดนไดรต์ (dendrite)** คือ เส้นใยประสาทที่รับกระแสประสาท โดยเซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะมีเดนไดรต์แยกออกจากตัวเซลล์ 1 เส้นใยหรือหลายเส้นใย
 - **แอกซอน (axon)** คือ เส้นใยประสาทที่ส่งกระแสประสาท โดยทั่วไปแอกซอนจะมีเพียง 1 เส้นใยเท่านั้น แอกซอนอาจสั้นหรือยาวได้ถึงกว่า 1 เมตร บริเวณตอนปลายของแอกซอนมีการแตกแขนง และที่ปลายสุดของแขนงที่แตกนั้นมีลักษณะโป่งออกคล้ายกระเปาะ

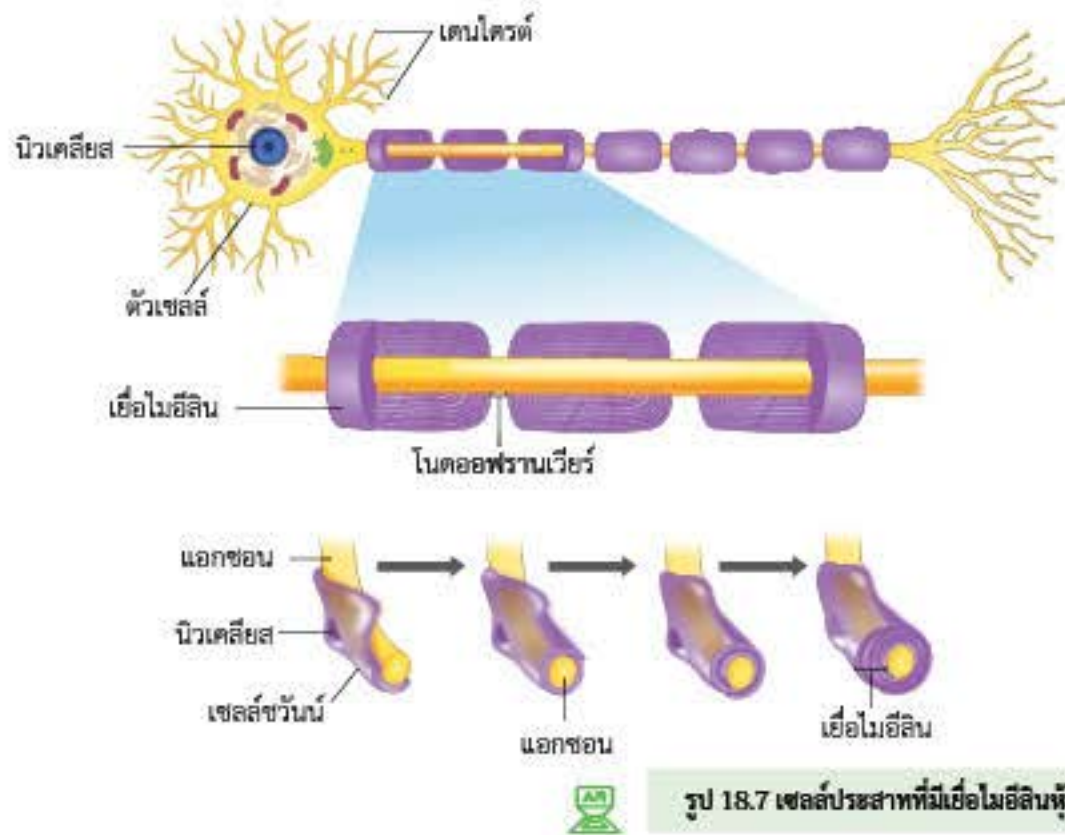


รูป 18.6 โครงสร้างเซลล์ประสาท

ก. รูปวาดเซลล์ประสาท ข. เซลล์ประสาทภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

- ? เซลล์ประสาทมีโครงสร้างเหมือนหรือแตกต่างจากเซลล์อื่นๆ ของร่างกายหรือไม่ อย่างไร
- ? ลักษณะของเซลล์ประสาทมีความสัมพันธ์กับการทำงานหรือไม่ อย่างไร

กรณีแอกซอนบางเส้นที่มีความยาวมาก ๆ มักจะพบเยื่อไมอีลิน (myelin sheath) มาหุ้มตลอดความยาวของแอกซอน เยื่อไมอีลินมีสารกลุ่มลิพิดเป็นองค์ประกอบ เมื่อศึกษาภาคตัดขวางของเยื่อไมอีลินพบว่าเยื่อไมอีลินเกิดจากเซลล์ชวานน์ (Schwann cell) ซึ่งเป็นเซลล์เกลียชนิดหนึ่งพันรอบแอกซอนหลายรอบทำให้เกิดเป็นชั้นจำนวนมาก ส่วนของแอกซอนตรงบริเวณรอยต่อระหว่างเซลล์ชวานน์แต่ละเซลล์เป็นบริเวณที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มเรียกว่า โนตออฟรานเวียร์ (node of Ranvier) ดังรูป 18.7 การที่แอกซอนมีเยื่อไมอีลินหุ้มจะช่วยให้กระแสประสาทได้เร็วกว่าแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม



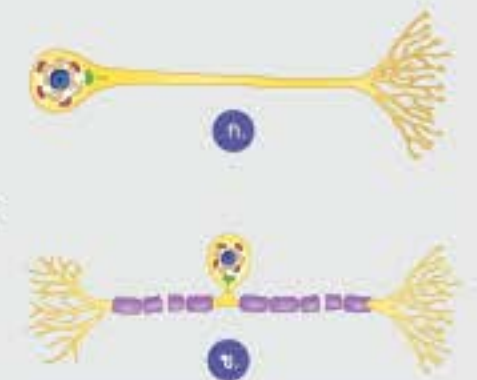
รูป 18.7 เซลล์ประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

- **เซลล์เกลีย** เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ค้ำจุน ลำเลียงของเสียออกจากเซลล์ประสาท รักษาคุณภาพของสารต่าง ๆ ของเซลล์ประสาท เซลล์เกลียมีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาทถึง 50 เท่า และมีหลายชนิดพบได้ทั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก เซลล์เกลียแต่ละชนิดมีหน้าที่แตกต่างกัน เช่น เซลล์ชวันน์ที่ระบบประสาทรอบนอกมีหน้าที่สร้างเยื่อไมอีลินซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าล้อมรอบแอกซอน ส่วนเซลล์โอลิโกเดนโดรไซต์ (oligodendrocyte) ที่ระบบประสาทส่วนกลางมีหน้าที่เช่นเดียวกับเซลล์ชวันน์

จากการศึกษาโครงสร้างของเซลล์ประสาทพบว่ารูปร่างและเส้นใยประสาทแตกต่างกันไปตามชนิดและหน้าที่ของเซลล์ ถ้าใช้จำนวนเส้นใยประสาทต่อ 1 เซลล์ประสาทเป็นหลัก อาจแบ่งเซลล์ประสาทได้เป็น 3 ชนิด ดังรูป 18.8-18.10

1. เซลล์ประสาทขั้วเดียว (unipolar neuron)

มีเส้นใยประสาทแยกออกมาจากตัวเซลล์เพียง 1 เส้นใย คือ แอกซอน พบในเซลล์ประสาทที่หลังฮอว์โมนของสัตว์ต่างๆ เซลล์ประสาทในกลุ่มนี้ยังมีเซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม (pseudounipolar neuron) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีแอกซอนออกจากตัวเซลล์เส้นใยเดียวแล้วแตกออกเป็น 2 เส้น โดยเส้นใยหนึ่งตรงปลายแตกแขนงเป็นเดนไดรต์ไปรับสัญญาณจากหน่วยรับรู้ความรู้สึกที่ส่วนต่างๆ ของร่างกายแล้วส่งผ่านข้อมูลให้กับเซลล์ประสาทอีกเซลล์ในโซ่สันหลังพบที่ปมประสาทรากบนในโซ่สันหลัง

รูป 18.8 ก. เซลล์ประสาทขั้วเดียว
ข. เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม

2. เซลล์ประสาทสองขั้ว (bipolar neuron)

มีเส้นใยประสาทแยกออกมาจากตัวเซลล์ 2 เส้นใย เป็นแอกซอน 1 เส้น และอีกเส้นเป็นเดนไดรต์ พบที่อวัยวะรับรู้ความรู้สึกบางแห่ง เช่น เซลล์ประสาทที่บริเวณเรตินา เซลล์ประสาทรับกลิ่นในช่องจมูก เซลล์ประสาทรับรู้ความรู้สึกที่หูส่วนใน



รูป 18.9 เซลล์ประสาทสองขั้ว

3. เซลล์ประสาทหลายขั้ว (multipolar neuron)

มีเดนไดรต์แยกออกมาจากตัวเซลล์จำนวนมากและมีแอกซอน 1 เส้นใย เซลล์ประสาทส่วนใหญ่เป็นเซลล์ประสาทหลายขั้ว เช่น เซลล์ประสาทประสานงานและเซลล์ประสาทสั่งการ

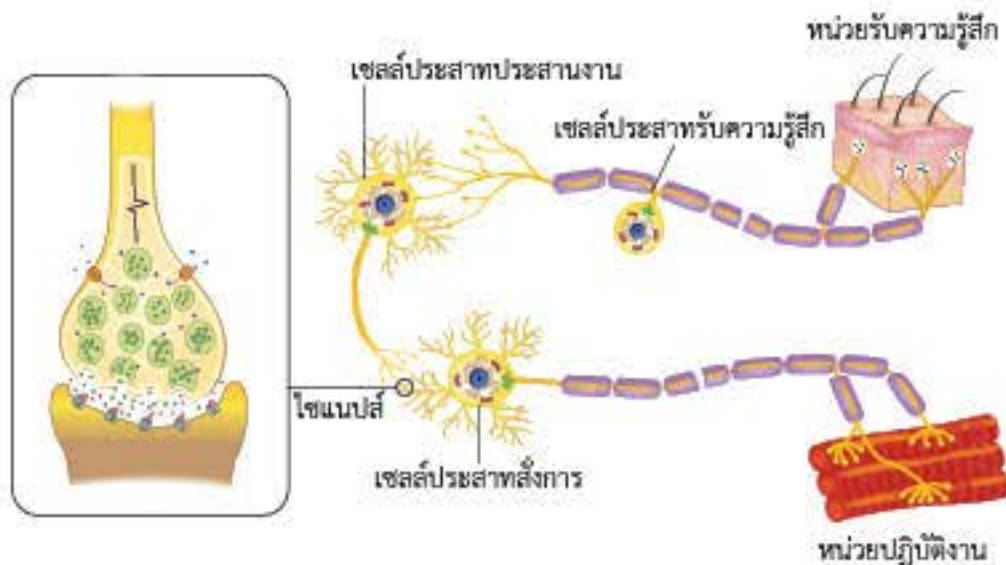


รูป 18.10 เซลล์ประสาทหลายขั้ว

นอกจากนี้ยังมีจำแนกเซลล์ประสาทตามหน้าที่ออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. เซลล์ประสาทรับความรู้สึก (sensory neuron) ทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกแล้วถ่ายทอดต่อไปยังเซลล์ประสาทอื่น
2. เซลล์ประสาทสั่งการ (motor neuron) บางเซลล์อาจมีแอกซอนที่ยาวซึ่งอาจยาวกว่า 1 เมตร เพราะเซลล์ประสาทนี้จะอยู่ที่ไขสันหลังซึ่งต้องนำกระแสประสาทออกจากไขสันหลังไปยังหน่วยปฏิบัติงาน เช่น กล้ามเนื้อแขน ขา ซึ่งอยู่ห่างจากไขสันหลังมาก
3. เซลล์ประสาทประสานงาน (association neuron) ส่วนใหญ่พบในสมองและไขสันหลัง ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึกกับเซลล์ประสาทสั่งการ

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะสานต่อกันเป็นร่างแหเพื่อถ่ายทอดกระแสประสาทโดยส่วนปลายของแอกซอนที่แตกออกเป็นกิ่งก้านหลายเส้นใยประสาท แล้วไปอยู่ชิดกับตัวเซลล์ประสาทหรือส่วนของเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทอื่นหรือเซลล์กล้ามเนื้อที่เป็นหน่วยปฏิบัติงาน ดังรูป 18.11 โดยบริเวณที่อยู่ชิดกันนั้นเรียกว่า **ไซแนปส์ (synapse)** ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไป



รูป 18.11 ไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซลล์ประสาทประสานงานและเซลล์ประสาทสั่งการ

การที่เซลล์ประสาทสานต่อกันเป็นร่างแหทำให้สามารถถ่ายทอดกระแสประสาทไปเซลล์ประสาทอื่น ๆ ได้ กระแสประสาทเกิดขึ้นได้อย่างไร และสามารถถ่ายทอดไปยังเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ ได้อย่างไร

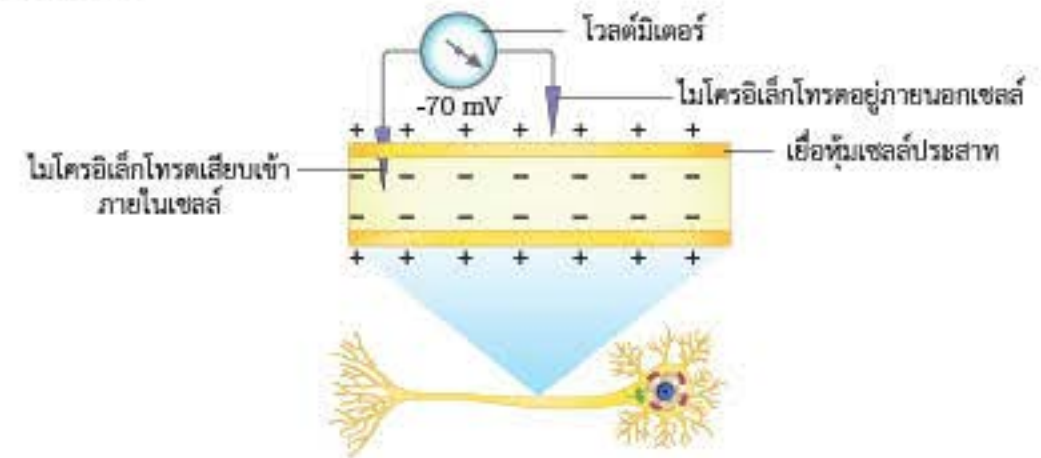
18.2.2 การทำงานของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์สามารถรับและส่งข้อมูลถึงกันได้เพราะมีกระแสประสาท มีการนำกระแสประสาท และการถ่ายทอดกระแสประสาท โดยกระแสประสาทนี้เป็นสัญญาณเคมีไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ประสาท เมื่อมีการกระตุ้นเซลล์ประสาทจะทำให้เกิดเป็นกระแสประสาทขึ้น

การเกิดกระแสประสาท

นักสรีรวิทยา อัลัน ลอยด์ ฮอดจกิน (Alan Lloyd Hodgkin) และ แอนดรู ฟิลดิง ฮักซลีย์ (Andrew Fielding Huxley) ได้ทดลองว่ากระแสประสาทเกิดขึ้นได้อย่างไรในแอกซอนของหมึก โดยการนำไมโครอิเล็กโทรด (microelectrode) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่ดัดให้ยาว ตรงปลายเรียวเป็นท่อขนาดเล็กมาต่อกับโวลต์มิเตอร์ (voltmeter) เพื่อให้เห็นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้ จากนั้นเสียบปลายของไมโครอิเล็กโทรดเข้าไปในแอกซอนของหมึกและให้ปลายอีกข้างหนึ่งอยู่ด้านนอกของแอกซอนของหมึก ดังรูป 18.12

รู้หรือไม่
ความต่างศักย์ไฟฟ้า คือ ผลต่างของศักย์ไฟฟ้า ณ สองตำแหน่งใด ๆ

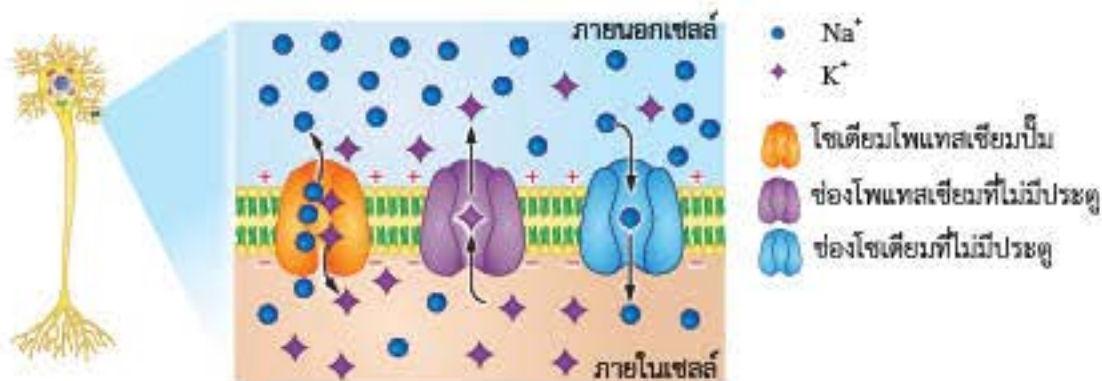


รูป 18.12 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ประสาทของหมึก

เยื่อหุ้มเซลล์ประสาทเป็นฟอสโฟลิพิดจัดเรียงตัวเป็น 2 ชั้น จึงมีสมบัติป้องกันไม่ให้ไอออนผ่านเข้าออกได้อย่างอิสระ แต่เนื่องจากที่เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนแทรกอยู่ทั่วไปทำให้เกิดเป็นช่องที่ไอออนบางชนิดแพร่ผ่านเข้าหรือออกได้บ้างตามความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนเหล่านั้น เช่น ช่องโซเดียม ช่องโพแทสเซียม ซึ่งมีทั้งแบบที่ไม่มีประตูด (ungated channel) และมีประตูด (gated channel)

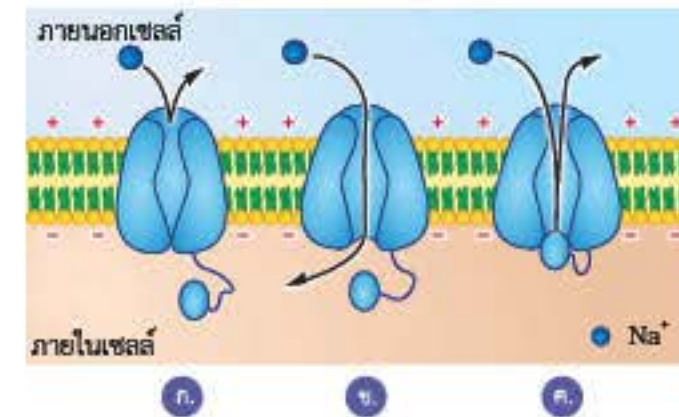
ในภาวะปกติที่เซลล์ประสาทยังไม่ถูกสิ่งเร้ากระตุ้น สารละลายภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ประสาทจะมีไอออนต่างกัน โดยภายนอกเซลล์มีโซเดียมไอออน (Na^+) สูงกว่าภายในเซลล์ (ประมาณ 10 เท่า) ขณะเดียวกันภายในเซลล์จะมีโพแทสเซียมไอออน (K^+) สูงกว่าภายนอกเซลล์ (ประมาณ 30 เท่า) ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างเยื่อเซลล์ด้านในและด้านนอกมีค่าประมาณ -70 มิลลิโวลต์ ซึ่งเป็นศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพัก (resting membrane potential) เรียกว่าเกิดภาวะมีขั้ว (polarization) เซลล์จะรักษาความเข้มข้นของไอออนที่ต่างกันอย่างนี้ตลอดเวลา โดยการทำงานของโซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม (sodium potassium pump; Na^+/K^+ pump) ซึ่งต้องใช้พลังงานจากการสลาย ATP ทำให้ Na^+ ถูกส่งออกไปนอกเซลล์ และ K^+ จะถูกดึงเข้ามาสะสมอยู่ภายในเซลล์ในอัตราส่วน $3\text{Na}^+ : 2\text{K}^+$ โดยที่โซเดียมโพแทสเซียมปั๊มต้องทำงานตลอดเวลา เนื่องจากยังมีการแพร่ของ Na^+ และ K^+ ผ่านทางช่องไอออนที่ไม่มีประตูดตามความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออน ดังรูป 18.13 ในระยะพักนี้ช่องไอออนที่มีประตูดจะปิด

แม้ว่า K^+ จะเข้ามาสะสมอยู่ภายในเซลล์เป็นจำนวนมากก็ตาม แต่เนื่องจากภายในเซลล์ยังมีสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่เป็นจำนวนมาก เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ซึ่งไม่สามารถผ่านออกไปนอกเซลล์ได้ และสารเหล่านี้มีประจุลบจึงทำให้ภายในเซลล์มีผลรวมของประจุเป็นลบเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์



รูป 18.13 โซเดียมโพแทสเซียมปั๊ม ช่องโพแทสเซียมที่ไม่มีประตูด และช่องโซเดียมที่ไม่มีประตูด

ถ้ามีสิ่งเร้ามากระตุ้นจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนไปเนื่องจากเยื่อหุ้มเซลล์ยังประกอบด้วยช่องไอออนที่มีประตูด ซึ่งช่องไอออนนี้สามารถปิดหรือเปิดได้ ทำให้สมบัติการยอมให้ไอออนผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนไป และทำให้เกิดกระแสประสาทของเซลล์ประสาทขึ้น โดยช่องไอออนที่มีประตูดพบที่บริเวณแอกซอนของเซลล์ประสาทส่วนใหญ่จะเป็นช่องที่ต้องใช้สัญญาณไฟฟ้าในการปิดหรือเปิดประตูด (voltage-gated ion channel) ซึ่งในระยะพักช่องโซเดียมที่มีประตูด (voltage-gated Na^+ channel) และช่องโพแทสเซียมที่มีประตูด (voltage-gated K^+ channel) จะปิด ทั้งนี้ช่องโซเดียมที่มีประตูดจะมี 3 สถานะ ดังรูป 18.14 ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประตูดมี 2 สถานะ คือ ปิด และเปิด

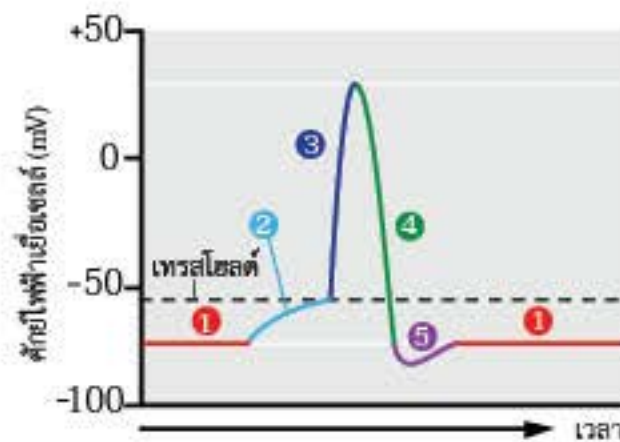


รูป 18.14 ลำดับการเปลี่ยนสถานะของช่องโซเดียมที่มีประตูด

- ก. สถานะ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" ซึ่งสามารถเปิดได้เมื่อได้รับการกระตุ้น พบในรอยซอก
ข. สถานะ "เปิด" เมื่อได้รับการกระตุ้น
ค. สถานะ "ปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน (inactivation)" ซึ่งไม่สามารถเปิดได้แม้ได้รับการกระตุ้น แต่จะปรับเป็นสถานะ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" (ก) เมื่อศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ต่ำกว่าปกติ

เมื่อมีสิ่งเร้า เช่น เสียง ความร้อน หรือสารเคมีมากระตุ้นเซลล์ประสาท การกระตุ้นนี้ทำให้ไอออนบางชนิดผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งส่งผลให้ค่าความต่างศักย์ระหว่างภายในและภายนอกเซลล์เปลี่ยนไป โดยถ้าความต่างศักย์บริเวณแอกซอนเปลี่ยนถึงจุดหนึ่งหรือเทอร์สโฮลด์ (threshold) สมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์จะเปลี่ยนแปลงชั่วคราวคือ ช่องโซเดียมที่มีประตูดเปิด ยอมให้โซเดียมไอออนผ่านเข้าทางช่องโซเดียมที่มีประตูดได้ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ด้านในบริเวณที่โซเดียมไอออนผ่านเข้าเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นประจุบวกมากขึ้นเมื่อเทียบกับภายนอกเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนจาก -70 มิลลิโวลต์ เป็นประมาณ +30 มิลลิโวลต์ เรียกว่า ดีโพลาไรเซชัน (depolarization) โดยการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้จะเกิดอย่างรวดเร็ว

เมื่อเกิดดีโพลาไรเซชันแล้วทำให้ช่องไอออนที่มีประจุเปลี่ยนไปอยู่ในสถานะปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน ดังรูป 18.14 ค. ในขณะเดียวกันช่องโพแทสเซียมที่มีประจุจะเปิดยอมให้ K^+ ผ่านออกไปนอกเซลล์ ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์จาก +30 มิลลิโวลต์ลดลงและกลายเป็นค่าลบในสภาพเดิมเรียกว่า รีโพลาไรเซชัน (repolarization) และค่าความต่างศักย์นี้จะลดต่ำกว่าภาวะปกติเรียกว่า ไฮเพอร์โพลาไรเซชัน (hyperpolarization) ก่อนที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประจุจะปิด จากนั้นศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์กลับเข้าสู่ระยะพัก เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนไปนี้ว่า แอกชันโพเทนเชียล (action potential) ซึ่งสรุปได้ดังรูป 18.15–18.16 การเกิดแอกชันโพเทนเชียลจะเกิดขึ้นต่อเมื่อ ดีโพลาไรเซชันถึงระดับเทรชโฮลด์เท่านั้นและถ้าไม่ถึงเทรชโฮลด์ก็จะมีแอกชันโพเทนเชียล การเกิดแอกชันโพเทนเชียลต้องอาศัยช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นถ้ากระตุ้นเซลล์ประสาทในขณะที่ยังเกิดแอกชันโพเทนเชียลอยู่ หรือในขณะที่ยังเกิดไฮเพอร์โพลาไรเซชันอยู่ เซลล์ประสาทจะไม่ตอบสนองจึงไม่เกิดกระแสประสาทระลอกใหม่ขึ้น



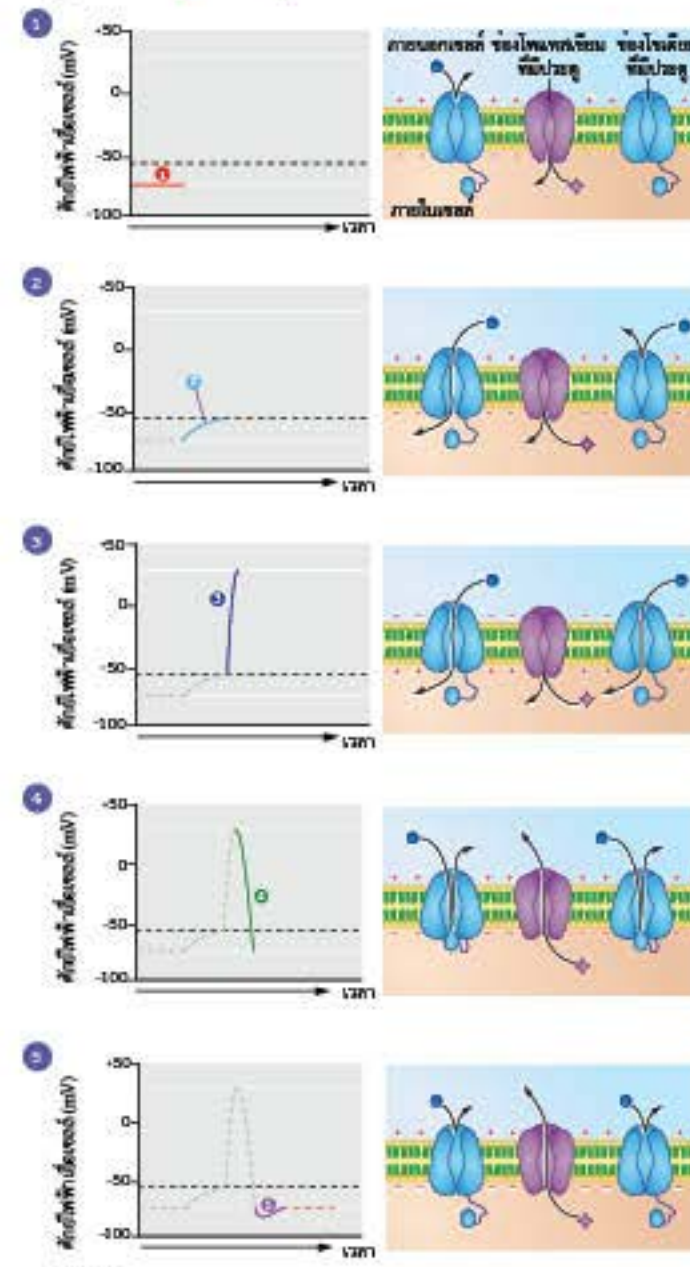
รูป 18.15 กราฟแสดงการเกิดแอกชันโพเทนเชียล



ชวนคิด

? ถ้าไม่มี ATP เซลล์ประสาทจะรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพักได้หรือไม่ เพราะเหตุใด

สัญลักษณ์ ● Na^+ ◆ K^+



รูป 18.16 การเกิดแอกชันโพเทนเชียล (แสดงเฉพาะช่องไอออนที่มีประจุและช่องโพแทสเซียมที่มีประจุ)

1. ระยะพัก ช่องไอออนที่มีประจุปิดแบบพร้อมใช้งานและช่องโพแทสเซียมที่มีประจุเปิด แต่เซลล์ยังรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพักไว้ได้เพราะการทำงานของช่องไอออนโพแทสเซียม

2. ระยะดีโพลาไรเซชัน (ช่วงแรก) เมื่อมีการกระตุ้นจะทำให้ช่องไอออนที่มีประจุบางส่วนเริ่มเปิด ไอออนโซเดียมเริ่มเข้าสู่ภายในเซลล์ และถ้ากระตุ้นถึงระดับเทรชโฮลด์จะทำให้เกิดแอกชันโพเทนเชียลขึ้น ส่วนช่องโพแทสเซียมที่มีประจุยังปิดอยู่

3. ระยะดีโพลาไรเซชัน (ช่วงหลัง) การเกิดดีโพลาไรเซชันทำให้ช่องไอออนที่มีประจุเปิดเพิ่มมากขึ้น ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประจุยังปิดอยู่ ทำให้ไอออนโซเดียมเข้าสู่เซลล์เป็นจำนวนมาก ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ด้านในมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับด้านนอก

4. ระยะรีโพลาไรเซชัน ช่องไอออนที่มีประจุส่วนใหญ่ปิดแบบไม่พร้อมใช้งานไอออนโซเดียมไม่สามารถเข้าสู่เซลล์ได้อีก ส่วนช่องโพแทสเซียมที่มีประจุเริ่มเปิด โพแทสเซียมไอออนผ่านออกไปนอกเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์มีค่าเป็นลบอีกครั้ง

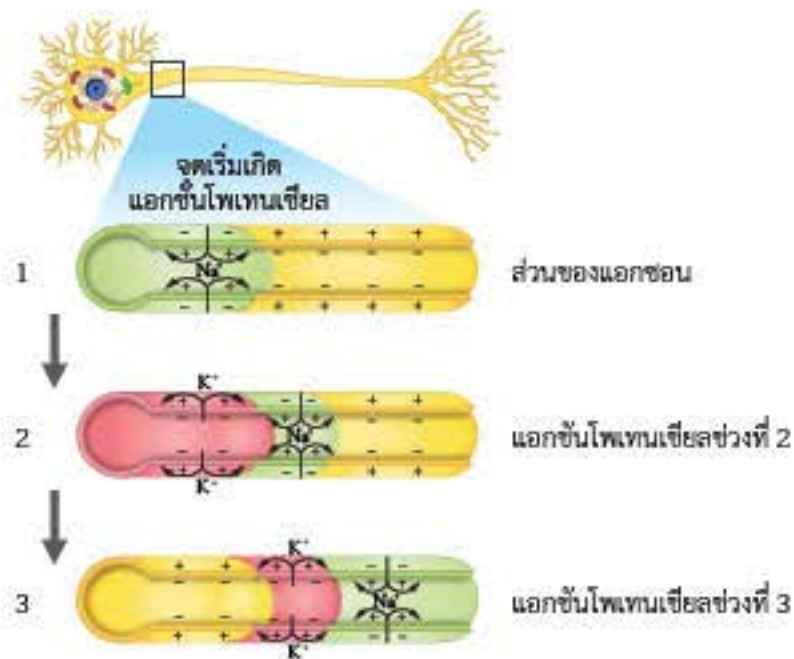
5. ระยะไฮเพอร์โพลาไรเซชัน ช่องไอออนที่มีประจุเปลี่ยนจากสถานะ "ปิดแบบไม่พร้อมใช้งาน" เป็นแบบ "ปิดแบบพร้อมใช้งาน" ไอออนโซเดียมยังคงไม่สามารถผ่านเข้าเซลล์ได้ ขณะที่ช่องโพแทสเซียมที่มีประจุยังคงเปิดอยู่ ทำให้โพแทสเซียมไอออนผ่านออกนอกเซลล์ ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์มีค่าเป็นลบมากกว่าในระยะพักและเมื่อช่องโพแทสเซียมที่มีประจุปิด ค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์จะกลับเข้าสู่ระยะพัก (1)

การนำกระแสประสาท

เมื่อการกระตุ้นจากสิ่งเร้าทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นจะเกิดการนำไฟฟ้าขึ้นในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งถ้าให้การเกิดดีโพลาไรเซชันที่บริเวณถัดไปถึงระดับเทรชโฮลด์จะทำให้เกิดกระแสประสาทขึ้นที่บริเวณใหม่ได้ และจะเกิดเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ ตามความยาวของแอกซอน

การนำกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

เซลล์ประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม การนำกระแสประสาทจะเกิดขึ้นต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จากจุดที่ถูกกระตุ้นไปตลอดจนถึงปลายแอกซอน โดยเกิดการเปลี่ยนแปลงประจุในจุดถัดไป เมื่อผ่านไปแล้วจุดนั้นก็กลับคืนสู่ภาวะปกติ ดังรูป 18.17



รูป 18.17 การนำกระแสประสาทไปตามแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม



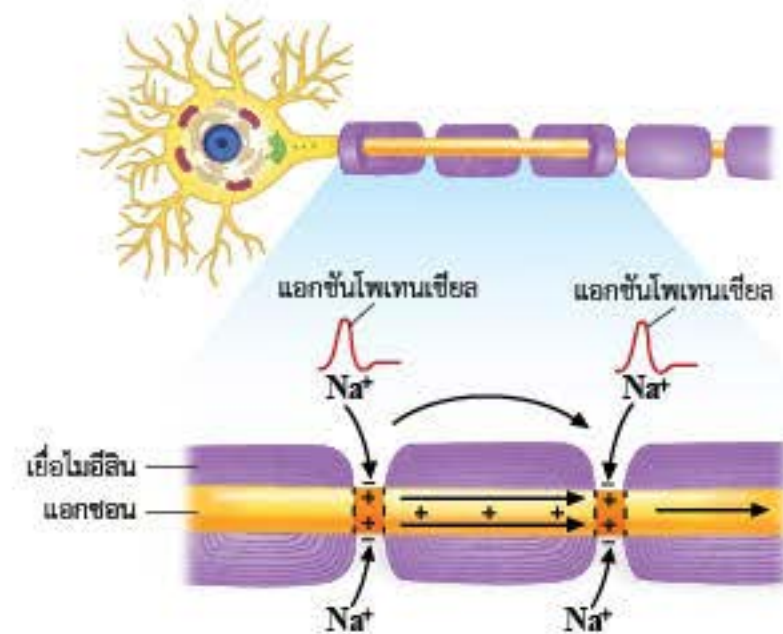
ตรวจสอบความเข้าใจ

? เพราะเหตุใดการนำกระแสประสาทจึงเกิดขึ้นได้เพียงทิศทางเดียว

สำหรับความเร็วของการนำกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยประสาท ถ้าเส้นใยประสาทมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าขนาดเล็กเพราะความต้านทานการเคลื่อนที่ของไอออนจะแปรผกผันกับพื้นที่ภาคตัดขวางของเส้นใยประสาท

การนำกระแสประสาทในแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

แอกซอนของเซลล์ประสาทบางเซลล์มีเยื่อไมอีลินหุ้มซึ่งมีสมบัติเป็นฉนวนกันประจุไฟฟ้าไม่ให้อิออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นบริเวณนี้จะไม่เกิดแอกชันโพเทนเชียลขึ้น การเกิดแอกชันโพเทนเชียลจะเกิดเฉพาะที่โนดออฟรานเวียร์ซึ่งเป็นบริเวณที่มีช่องโซเดียมที่มีประจุและช่องโพแทสเซียมที่มีประจุจำนวนมาก โดยดีโพลาไรเซชันเกิดจากการเคลื่อนที่เข้าของโซเดียมไอออนบริเวณโนดออฟรานเวียร์แม้ไปยังบริเวณถัดไป การนำกระแสประสาทแบบนี้เปรียบเสมือนกระโดดจากโนดออฟรานเวียร์หนึ่งไปยังอีกโนดออฟรานเวียร์หนึ่ง ดังรูป 18.18 ทำให้การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทไปยังปลายแอกซอนเกิดเร็วกว่าในกรณีที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม นอกจากนี้พบว่าแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มที่มีระยะห่างระหว่างโนดออฟรานเวียร์มากกว่าจะมีการนำกระแสประสาทได้เร็วกว่า



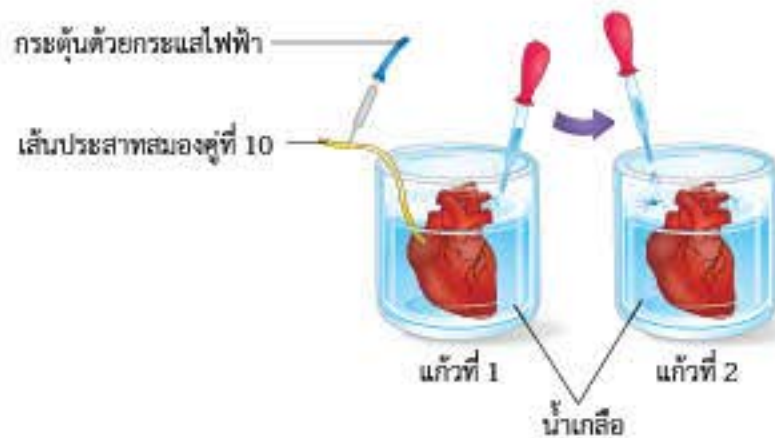
รูป 18.18 การนำกระแสประสาทไปตามแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

เมื่อมีการนำกระแสประสาทไปถึงปลายแอกซอนแล้วจะเกิดการถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น ๆ ได้อย่างไร

การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทหรือเซลล์อื่น ๆ

เมื่อมือสัมผัสกับวัตถุที่ร้อนร่างกายจะดึงมือกลับทันที การตอบสนองดังกล่าวเกิดจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกเกี่ยวกับความร้อนที่ผิวหนังถูกกระตุ้นและมีการถ่ายทอดกระแสประสาทเป็นทอด ๆ ต่อไปในรูปของสัญญาณเคมีไฟฟ้าไปยังเซลล์ประสาทประสานงานบริเวณไขสันหลังและถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านไขสันหลังไปที่เซลล์ประสาทสั่งการและไปที่เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณมือทำให้เกิดการดึงมือกลับทันที ในขณะเดียวกันจะมีกระแสประสาทส่งไปยังสมองแปลผลเป็นความรู้สึกร้อน การถ่ายทอดกระแสประสาทในเหตุการณ์ข้างต้นเกิดที่บริเวณไซแนปส์ระหว่างเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ (presynaptic neuron) กับเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ (postsynaptic neuron) หรือเซลล์ถัดไป โดยระหว่าง 2 เซลล์นี้จะมีช่องไซแนปส์ (synaptic cleft) ซึ่งมีขนาด 0.02 ไมโครเมตร (รูป 18.20) ทำให้กระแสประสาทไม่สามารถผ่านช่องนี้ได้ ดังนั้นร่างกายจึงต้องมีการกลไกในการถ่ายทอดกระแสประสาทให้ผ่านช่องดังกล่าว นั่นคือ การไซแนปส์ ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด ได้แก่

1. **ไซแนปส์เคมี (chemical synapse)** พบได้ในสัตว์มีกระดูกสันหลังเป็นส่วนใหญ่ นักวิทยาศาสตร์ชื่อ ออทโต ลอว์ (Otto Loewi) ได้ทำการทดลองนำหัวใจกบที่ยังมีชีวิตและยังมีเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ติดอยู่มาใส่ในแก้วที่มีน้ำเกลือแล้วกระตุ้นเส้นประสาทดังกล่าวด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าหัวใจกบเต้นช้าลง เมื่อดูดสารละลายจากแก้วที่ 1 มาใส่ลงในแก้วที่ 2 ซึ่งมีหัวใจกบที่ตัดเอาเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ออกไป ดังรูป 18.19 พบว่าหัวใจกบในแก้วที่ 2 มีอัตราการเต้นของหัวใจช้าลงเช่นเดียวกัน

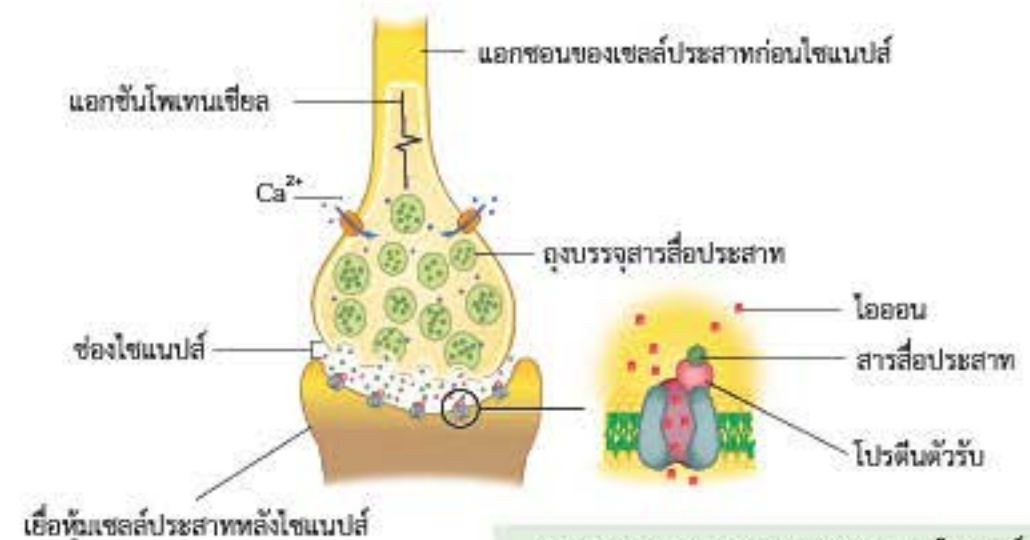


รูป 18.19 การทดลองของออโต ลอว์

การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ทำให้เกิดการหลั่งสารบางชนิดออกมายับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจเช่นเดียวกับการกระตุ้นเส้นใยประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้น สารที่หลั่งออกจากปลายเส้นใยประสาทเรียกว่า **สารสื่อประสาท (neurotransmitter)**

การศึกษาต่อมาพบว่าบริเวณปลายของแอกซอนมีสารสื่อประสาทที่บรรจุอยู่ในถุงปริมาณสูงมาก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง สารสื่อประสาทมีหลายชนิด เช่น **อะเซทิลโคลีน (acetylcholine)** **นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine)** **เอนเคอร์ฟิน (endorphin)** ซึ่งจากการทดลองของออโต ลอว์ สารที่หลั่งจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 คือ อะเซทิลโคลีน

เมื่อเซลล์ประสาทเกิดแอกชันโพเทนเชียลมาจนถึงบริเวณปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ แอกชันโพเทนเชียลจะชักนำให้เยื่อหุ้มเซลล์ปลายแอกซอนเกิดดีโพลาไรเซชัน ส่งผลให้แคลเซียมไอออนถูกนำเข้าสู่เซลล์ แคลเซียมไอออนจะไปกระตุ้นให้ถุงบรรจุสารสื่อประสาทเคลื่อนไปรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ตรงบริเวณไซแนปส์และมีผลต่อเนื่องทำให้ปล่อยสารสื่อประสาทเข้าสู่ช่องไซแนปส์ สารสื่อประสาทจะไปจับกับโปรตีนตัวรับที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ ดังรูป 18.20 ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ทำให้เกิดดีโพลาไรเซชันหรือไฮเพอร์โพลาไรเซชัน ขึ้นกับชนิดของไอออนที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าสู่เซลล์ และทำให้เกิดการกระตุ้นหรือยับยั้งการส่งกระแสประสาทต่อไป



รูป 18.20 การถ่ายทอดกระแสประสาทผ่านไซแนปส์เคมี

สารสื่อประสาทที่เหลือนอยู่ในช่องไซแนปส์จะถูกสลายโดยเอนไซม์ หรือลำเลียงกลับเข้าสู่เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเดนไดรต์จึงถูกกระตุ้นเฉพาะเวลาที่แอกซอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมาในช่วงสั้น ๆ เท่านั้น

- ❓ การที่สารสื่อประสาทพบเฉพาะที่ปลายแอกซอนเท่านั้น แต่ไม่พบที่ปลายเดนไดรต์ ลักษณะดังกล่าวจะมีผลต่อทิศทางการถ่ายทอดกระแสประสาทอย่างไร
- ❓ ถ้าสารสื่อประสาทไม่มีการสลายตัวและไม่มีการลำเลียงกลับเข้าสู่เซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ จะเกิดอะไรขึ้นกับร่างกาย



รู้หรือไม่

Botulinum toxin เป็นสารพิษที่ผลิตจากแบคทีเรีย *Clostridium botulinum* แบคทีเรียชนิดนี้เจริญได้ในที่ไม่มีออกซิเจน เช่น หน่อไม้ในภาชนะที่ปิดสนิทและมีสปอร์ *C. botulinum* ปนเปื้อน เมื่อแบคทีเรียเจริญจะสร้างสารพิษซึ่งไปยับยั้งหรือลดการหลั่งของอะเซทิลโคลีน ทำให้ไม่สามารถเกิดกระแสประสาทไปยังเซลล์อื่น ๆ ได้ หากได้รับสารพิษเข้าไปจะทำให้เกิดโรคโบทูลิซึม (Botulism) มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน กล้ามเนื้ออ่อนแรงหรือเป็นอัมพาตชั่วคราว ซึ่งหากเกิดกับกล้ามเนื้อทางเดินหายใจก็อาจทำให้เสียชีวิตได้

2. ไซแนปส์ไฟฟ้า (electrical synapse)
เกิดขึ้นที่รอยต่อระหว่างเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์และเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ที่อยู่ชิดกันจนเสมือนเป็นเยื่อหุ้มเซลล์เดียวกันซึ่งเกิดจากการเชื่อมติดกันของโปรตีนรวมกันเป็นช่อง ดังรูป 18.21 ทำให้แอกซอนโพเทนเชียลจากเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์สามารถผ่านช่องโปรตีนเข้าสู่เซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ได้โดยตรง ไซแนปส์ไฟฟ้าสามารถพบได้ที่กล้ามเนื้อหัวใจหรือบางบริเวณของสมองมนุษย์

- ❓ ไซแนปส์เคมีและไซแนปส์ไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างไร



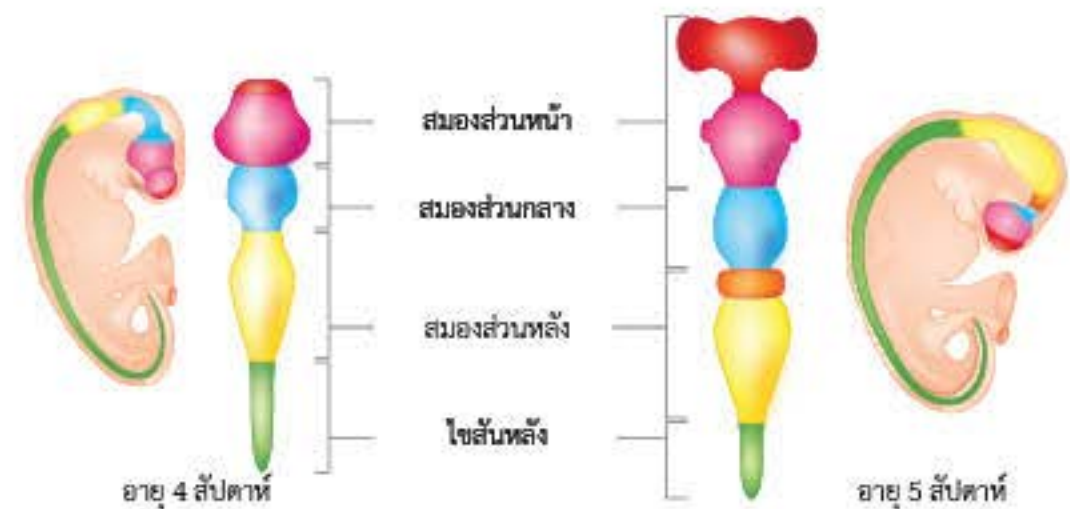
รูป 18.21 ไซแนปส์ไฟฟ้า

18.3 ศูนย์ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์

ระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลัง เช่น มนุษย์ เซลล์ประสาทส่วนใหญ่พบในระบบประสาทส่วนกลางทำหน้าที่ในการรับและประมวลผลข้อมูลที่ได้มาจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่อยู่บริเวณอวัยวะรับความรู้สึก แล้วส่งข้อมูลออกไปโดยผ่านเซลล์ประสาทสั่งการจนไปถึงหน่วยปฏิบัติงานเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้า โดยแอกซอนของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกและเซลล์ประสาทสั่งการเหล่านี้อยู่ในระบบประสาทรอบนอก

เมื่ออ่านโน้ตเพลงแล้วนิ้วมือก็กดคีย์บอร์ดเปียโนตามโน้ตได้ทันที การตอบสนองที่เกิดขึ้นนี้แม้จะเห็นว่าเกิดแค่เพียงระยะเวลาสั้น ๆ แต่มีเซลล์ประสาทและเซลล์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องหลายชนิด โดยมีศูนย์ควบคุมระบบประสาทอยู่ที่สมองและไขสันหลัง สมองและไขสันหลังมีโครงสร้างและควบคุมการตอบสนองของร่างกายได้อย่างไร

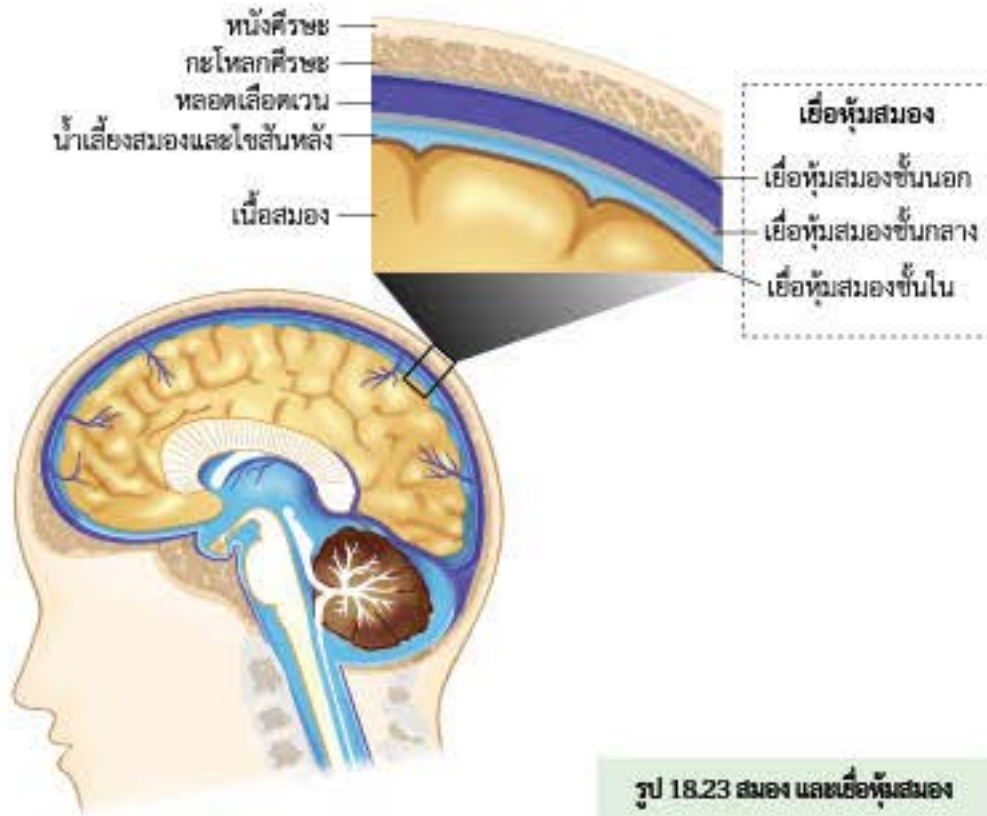
สมองและไขสันหลังของสัตว์มีกระดูกสันหลังและมนุษย์เจริญและเปลี่ยนแปลงมาจากโครงสร้างเดียวกันคือ นิวรัลทิวบ์ (neural tube) ที่ทอดยาวไปตามแนวสันหลังของเอ็มบริโอในระยะ 3 สัปดาห์ เมื่อเข้าสู่สัปดาห์ที่ 4 จะเริ่มเจริญเป็นสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.22



รูป 18.22 การเจริญของสมองและไขสันหลังในมนุษย์

ส่วนของนิวรัลทิวบ์ด้านหน้าที่พองออกนี้จะพัฒนาเป็นสมอง 3 ส่วนคือ สมองส่วนหน้า (forebrain) สมองส่วนกลาง (midbrain) และสมองส่วนหลัง (hindbrain) ทั้งสมองและไขสันหลังจะอยู่ภายในเยื่อหุ้ม ซึ่งเยื่อหุ้มนี้ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้น ชั้นนอกมีลักษณะหนาเหนียวและแข็งแรงทำหน้าที่ป้องกันการกระทบกระเทือนแก่ส่วนที่เป็นเนื้อสมองและไขสันหลัง ชั้นกลางเป็นเยื่อบาง ๆ ส่วนชั้นในแบบสนิธิไปตามรอยโค้งเว้าของสมองและไขสันหลังและมีหลอดเลือดมาหล่อเลี้ยงอยู่จำนวนมาก เพื่อนำสารอาหารและแก๊สออกซิเจนมาเลี้ยงเซลล์ชั้นในของสมองและไขสันหลัง ดังรูป 18.23

ระหว่างเยื่อหุ้มสมองชั้นกลางกับชั้นในมีช่องที่มีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (cerebrospinal fluid; CSF) ซึ่งช่องนี้มีทางติดต่อกับโพรงภายในสมองและช่องภายในไขสันหลัง น้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังมีหน้าที่นำสารอาหารและแก๊สออกซิเจนมาหล่อเลี้ยงเซลล์ประสาทและนำของเสียออกจากเซลล์

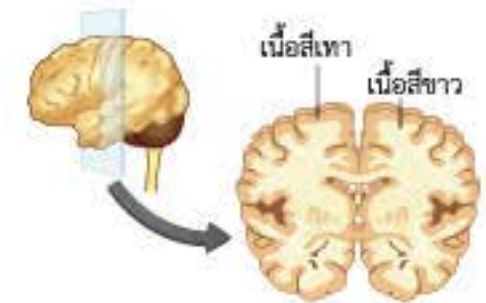


รูป 18.23 สมอง และเยื่อหุ้มสมอง

? ถ้าทางเดินของน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังอุดตัน จะเกิดผลเสียต่อร่างกายอย่างไร

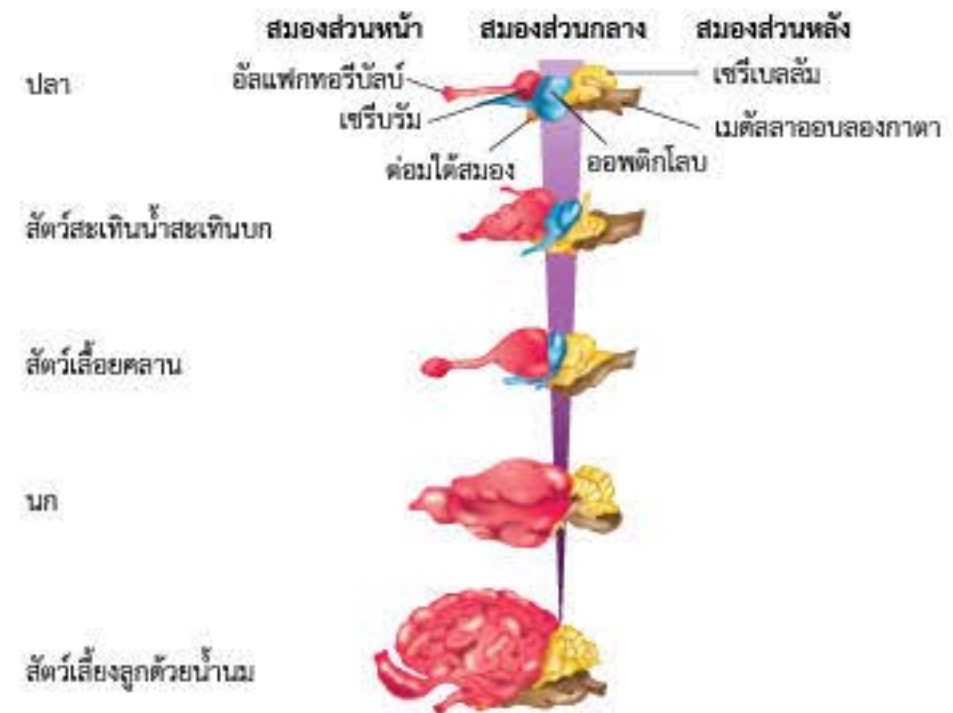
18.3.1 โครงสร้างและหน้าที่ของสมอง

เมื่อพิจารณาสมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังพบว่าส่วนนอกเป็นเนื้อสีเทา (gray matter) ส่วนนี้มีตัวเซลล์ประสาทและแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม แต่ส่วนในของสมองหลายแห่งมีเส้นใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ดังนั้นจึงเห็นเป็นเนื้อสีขาว (white matter) ดังรูป 18.24



รูป 18.24 โครงสร้างของสมอง

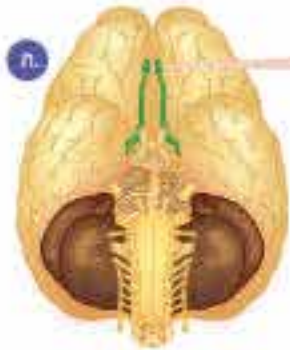
จากการศึกษาเปรียบเทียบระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ ทำให้ทราบว่าทั้งสมองและไขสันหลังมีพัฒนาการแตกต่างกันไปตามระดับวิวัฒนาการของสัตว์ดังรูป 18.25



รูป 18.25 วิวัฒนาการของสมองในสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดต่าง ๆ

- ? ปลา มีสมองส่วนใดเจริญกว่าสัตว์กลุ่มอื่น
- ? สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม มีการพัฒนาของสมองส่วนใดมากกว่าสัตว์กลุ่มอื่น ๆ
- ? สมองของสัตว์มีกระดูกสันหลังมีการพัฒนาตามวิวัฒนาการอย่างไร

สมองของมนุษย์มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับน้ำหนักร่างกายและมีการเจริญของสมองส่วนหน้ามากกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ สมองมีน้ำหนักประมาณ 1.4 กิโลกรัม หุ้มด้วยกะโหลกศีรษะซึ่งป้องกันการกระทบกระเทือน สมองประกอบด้วยเซลล์ประสาทมากกว่าร้อยละ 90 ของเซลล์ประสาททั้งหมดในร่างกาย โดยเป็นเซลล์ประสาทประสาทรานเป็นส่วนใหญ่ สมองของมนุษย์แบ่งได้ 3 ส่วนได้แก่ สมองส่วนหน้า สมองส่วนกลางและสมองส่วนหลัง และยังแบ่งออกเป็นส่วนย่อย ๆ ได้อีก ซึ่งแต่ละส่วนมีการควบคุมการทำงานของร่างกายแตกต่างกัน สรุปได้ดังรูป 18.26



อัลแฟกทอรีบัลล์ (olfactory bulb)

- เกี่ยวกับการรับกลิ่น โดยรวมสัญญาณรับความรู้สึกจากจมูกไปยังซีรีบรัม
- ส่วนที่ประมวลผลเกี่ยวกับกลิ่น สมองส่วนนี้ในมนุษย์มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสัตว์มีกระดูกสันหลังชนิดอื่น

ซีรีบรัม (cerebrum)

- ประสานการเคลื่อนไหวของร่างกายให้ราบรื่น และเที่ยงตรง
- ควบคุมการทรงตัวของร่างกาย

เมดัลลาออบลองกาตา (medulla oblongata)

- ควบคุมการหายใจ
- ควบคุมการเต้นของหัวใจ
- ควบคุมความดันเลือด
- ควบคุมการกลืน การย่อย อาเจียน



ความรู้เพิ่มเติม

ก้านสมอง (brainstem) ประกอบด้วยสมองส่วนกลาง พอนส์ และเมดัลลาออบลองกาตา



- สมองส่วนหน้า
- สมองส่วนกลาง
- สมองส่วนหลัง

ซีรีบรัม (cerebrum)

- ความคิด ความจำ ปัญญา การเรียนรู้ การพูด การตอบสนองที่ซับซ้อน
- ศูนย์กลางการควบคุมการทำงานด้านต่าง ๆ ของร่างกาย
- ประมวลผลเกี่ยวกับกลิ่น
- ประมวลผลเกี่ยวกับเสียง
- ประมวลผลเกี่ยวกับรส
- ประมวลผลเกี่ยวกับการมองเห็น

ทาลามัส (thalamus)

- ศูนย์รวบรวมกระแสประสาทที่ผ่านเข้าออกแล้วแยกกระแสประสาทกลับไปยังสมองที่เกี่ยวข้องกับกระแสประสาทนั้น

ไฮโปทาลามัส (hypothalamus)

- ควบคุมการรักษาสมดุลภาพของร่างกาย เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำ
- ควบคุมความต้องการพื้นฐาน เช่น น้ำ อาหาร การพักผ่อน ความต้องการทางเพศ
- ควบคุมการหลั่งฮอร์โมนของต่อมใต้สมองส่วนหน้า สร้างฮอร์โมนบางชนิด
- ควบคุมการเต้นของหัวใจและความดันเลือด

สมองส่วนกลาง (midbrain)

- ควบคุมการเคลื่อนไหวของตา ศีรษะและลำตัว เพื่อตอบสนองต่อแสง เสียงและประมวลผลเสียงที่ได้ยิน
- โนปลาและสัตว์สะเทินน้ำสะเทินบกทำหน้าที่เป็นศูนย์กลางการมองเห็นเรียกว่า ออปติกโลบ (optic lobe)

พอนส์ (pons)

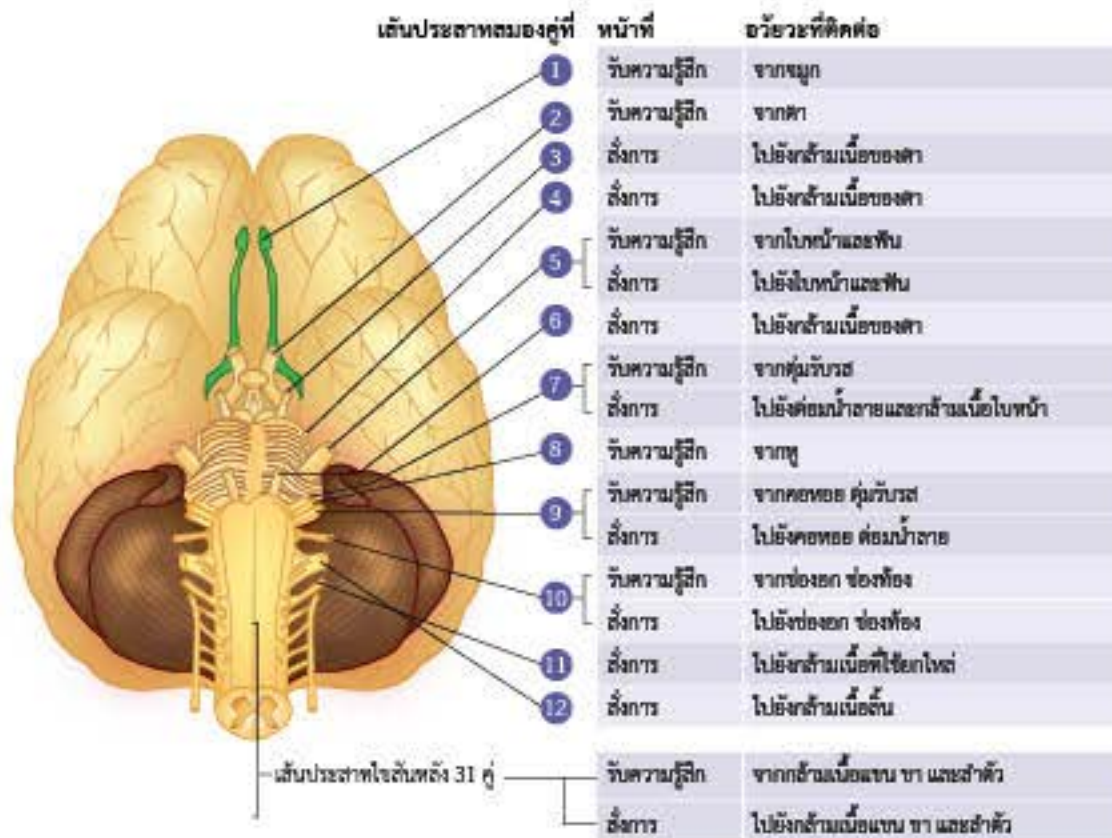
- ควบคุมการหายใจ
- เป็นทางผ่านของกระแสประสาทระหว่างซีรีบรัมกับซีรีบรัมและระหว่างซีรีบรัมกับไขสันหลัง
- เป็นศูนย์กลางรีเฟล็กซ์

รูป 18.26 โครงสร้างสมองของมนุษย์

ก. ด้านล่าง ข. ด้านข้างผ่าตามยาว

- ? การทำข้อสอบเพื่อหาคำตอบที่ถูกต้องใช้สมองส่วนใด
- ? ผู้ที่มีอาการเดินเซ หรือทรงตัวไม่ได้เกิดจากความผิดปกติของสมองส่วนใด

สมองยังมีเส้นประสาทอีก 12 คู่ที่แยกออกจากสมองไปยังอวัยวะต่างๆ เรียกว่าเส้นประสาทสมอง ซึ่งบางคู่ทำหน้าที่เป็นเส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) ที่รับข้อมูลเข้าสู่สมอง บางคู่เป็นเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) ที่นำคำสั่งควบคุมการตอบสนองไปยังอวัยวะที่ติดต่อ และบางคู่เป็นเส้นประสาทผสม (mixed nerve) ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึกและเส้นใยประสาทสั่งการ สรุปได้ดังรูป 18.27



รูป 18.27 เส้นประสาทสมองของมนุษย์

- ? เส้นประสาทสมองคู่ใดเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึก คู่ใดเป็นเส้นประสาทสั่งการ และคู่ใดที่เป็นเส้นประสาทผสม
- ? ขณะอ่านหนังสือ เส้นประสาทสมองคู่ใดบ้างที่ทำงานเกี่ยวข้องโดยตรง
- ? การรับประทานอาหารเป็นหน้าที่ของเส้นประสาทสมองคู่ใด



รู้หรือไม่

โรคอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) เป็นโรคที่เกิดกับสมองส่วนซีรีบรัม เกิดจากการตายของเซลล์ประสาทเนื่องจากความผิดปกติของโปรตีนภายในเซลล์ประสาทและไซแนปส์ถูกทำลาย ส่วนใหญ่พบในผู้สูงอายุประมาณ 65 ปี ขึ้นไป ผู้ป่วยจะมีอาการความจำเสื่อม หลงลืม บุคลิกภาพหรือนิสัยเปลี่ยนไป หากอาการของโรคดำเนินต่อไปจะทำให้ไม่สามารถทำกิจกรรมง่ายๆ ได้ หรือไม่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้ สาเหตุของโรคยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับอายุที่มากขึ้น เคยประสบอุบัติเหตุเกี่ยวกับสมองหรือครอบครัวมีประวัติผู้ป่วยโรคนี้

โรคพาร์กินสัน (Parkinson's disease) เกิดจากเซลล์ประสาทในสมองส่วนที่ทำหน้าที่สร้างสารโดพามีน (dopamine) เสื่อมหรือตาย สารโดพามีนนี้มีผลต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย ดังนั้นถ้าสารโดพามีนลดลง ผู้ป่วยจะเกิดอาการติดขัดทางการเคลื่อนไหวของร่างกาย และการทรงตัว เช่น อาการสั่น เคลื่อนไหวช้า เดินลำบากและติดขัด เวลาเดินแล้วไม่แกว่งแขนไปมา สาเหตุของโรคยังไม่ทราบแน่ชัด แต่พบว่ามีความเกี่ยวข้องกับมีวาระที่เกี่ยวกับยีนที่สังเคราะห์โปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการทำงานของสมอง หรือเกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น การได้รับสารบางอย่างเป็นเวลานานๆ โรคนี้ยังไม่สามารถรักษาให้หายขาดได้



ความรู้เพิ่มเติม

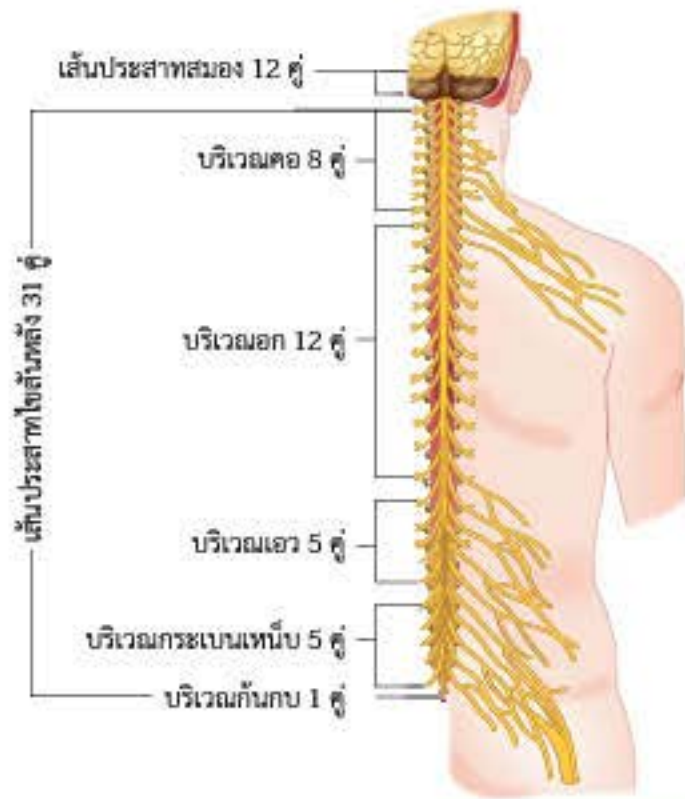
เส้นประสาท คือ กลุ่มของแอกซอนที่อยู่รวมกันหลายๆ แอกซอน ถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน อยู่รอบระบบประสาทส่วนกลาง ในมนุษย์พบเส้นประสาทที่แยกออกจากสมองเรียกว่า เส้นประสาทสมองหรือแยกออกจากไขสันหลังเรียกว่า เส้นประสาทไขสันหลัง ซึ่งภายในเส้นประสาทมีเส้นใยประสาทเพียง 1 ชนิดหรือ 2 ชนิดอยู่ภายในมัดเดียวกัน เส้นประสาทจะทำงานตามเส้นใยประสาทที่เป็นส่วนประกอบ เส้นประสาทแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

- เส้นประสาทรับความรู้สึก ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึก
- เส้นประสาทสั่งการ ประกอบด้วยเส้นใยประสาทสั่งการ
- เส้นประสาทผสม ประกอบด้วยเส้นใยประสาทรับความรู้สึกและเส้นใยประสาทสั่งการ



18.3.2 โครงสร้างและหน้าที่ของไขสันหลัง

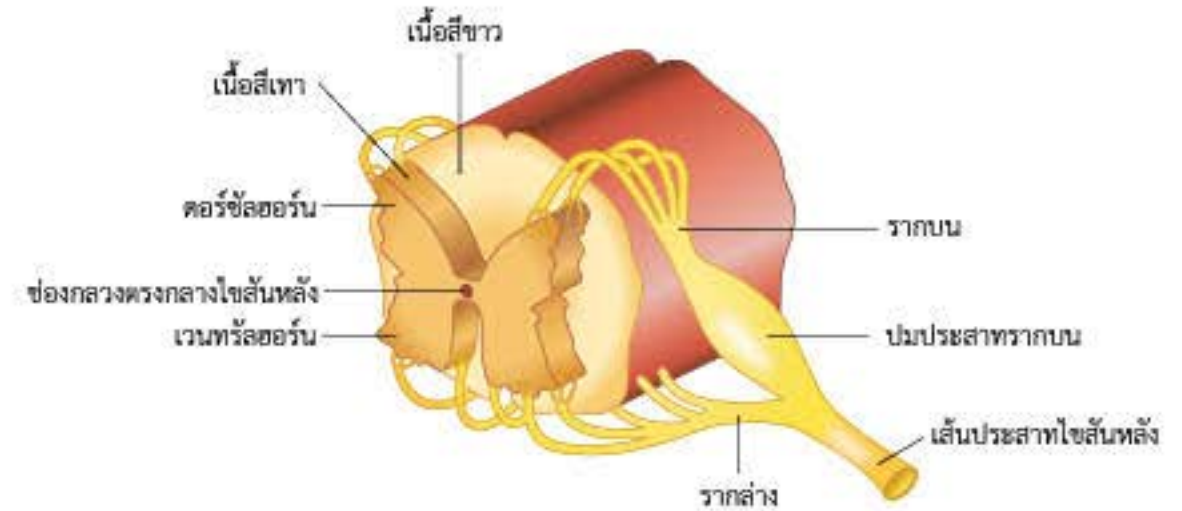
ไขสันหลังเป็นส่วนที่ต่อจากสมองอยู่ภายในกระดูกสันหลังบริเวณคอข้อแรกถึงกระดูกสันหลังบริเวณเอวข้อที่ 2 และมีเส้นประสาทแยกออกจากไขสันหลัง เรียกว่า เส้นประสาทไขสันหลัง จำนวน 31 คู่ โดยส่วนปลายของไขสันหลังจะเรียวยาวเล็กน้อยแต่เพียงส่วนของเส้นประสาทไขสันหลังเท่านั้น ดังรูป 18.28 ทั้งไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลังทำหน้าที่ประมวลผลการตอบสนอง เช่น การเกิดรีเฟล็กซ์ และการถ่ายทอดกระแสประสาท โดยเส้นประสาทไขสันหลังทุกคู่จะทำหน้าที่รับความรู้สึกจากกล้ามเนื้อบริเวณแขนขาและลำตัวเข้าสู่ไขสันหลังและนำคำสั่งออกจากไขสันหลังไปยังกล้ามเนื้อแขน ขาและลำตัว



รูป 18.28 ไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลัง

- ? เพราะเหตุใด การฉีดยาเข้าที่ไขสันหลังบริเวณต่ำกว่ากระดูกสันหลังบริเวณเอวข้อที่ 2 ลงไป จึงมีอันตรายน้อยกว่าบริเวณอื่น
- ? ไขสันหลังบริเวณใดถ้าถูกทำลายแล้วจะทำให้เป็นอัมพาตตั้งแต่บริเวณเอวลงไป

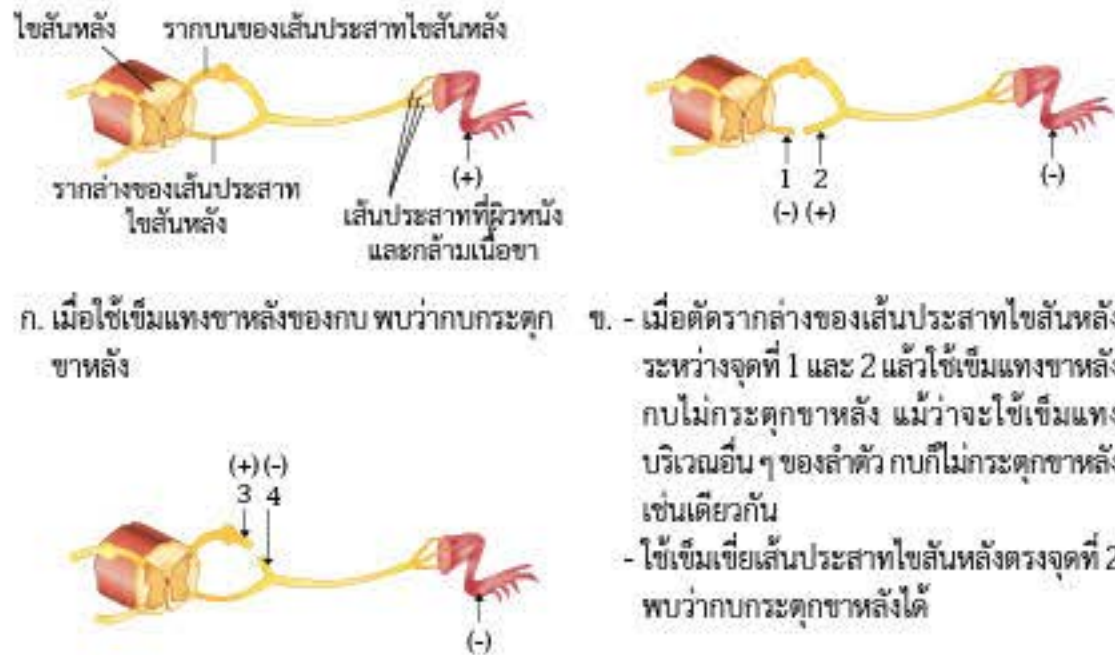
ไขสันหลังประกอบด้วย 2 บริเวณ คือ บริเวณเนื้อสีเทา มีตัวเซลล์ประสาทอยู่หนาแน่นล้อมรอบด้วยเนื้อสีขาวซึ่งเป็นบริเวณที่มีเส้นใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ดังรูป 18.29 ตรงกลางของไขสันหลัง บริเวณเนื้อสีเทาจะมีช่องกลาง ภายในมีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่



รูป 18.29 โครงสร้างภาคตัดขวางของไขสันหลัง

เมื่อพิจารณาโครงสร้างภาคตัดขวางของไขสันหลังพบว่าบริเวณเนื้อสีเทามีลักษณะคล้ายตัว H หรือปีกผีเสื้อซึ่งมี 4 ปีก โดย 2 ปีกบนเรียกว่า คอร์นัลฮอร์น (dorsal horn) 2 ปีกล่างเรียกว่า เวเนทริคูล (ventral horn) ตรงกลางมีช่องกลาง (central canal) ซึ่งมีน้ำเลี้ยงสมองและไขสันหลังบรรจุอยู่ และมีเส้นประสาทไขสันหลังแยกออกมาจากไขสันหลัง โดยเส้นประสาทไขสันหลังส่วนที่อยู่ใกล้กับไขสันหลังจะแยกเป็นรากบน (dorsal root) ซึ่งมีปมประสาทอยู่ด้วยและอยู่ต่อกับบริเวณคอร์นัลฮอร์น ส่วนรากล่าง (ventral root) ไม่มีปมประสาทอยู่ต่อกับเวเนทริคูล เส้นประสาทไขสันหลังเหล่านี้ทำหน้าที่ในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้า เส้นประสาทไขสันหลังสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้อย่างไร

จากการศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าโดยเส้นประสาทไขสันหลังด้วยการทดลองโนกบ โดยเมื่อทำสายสมองกบแล้วเอาเข็มแทงที่ขาหลัง พบว่ากบบมีการตอบสนองแตกต่างกัน ดังรูป 18.30



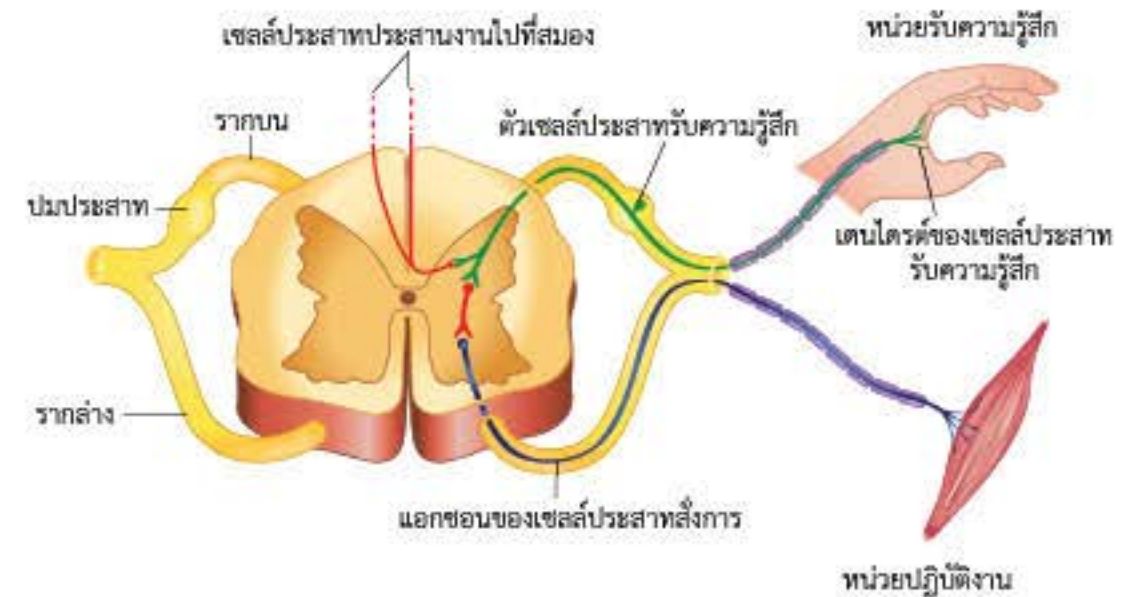
↓ คือ ตำแหน่งที่ใช้เข็มแทง
(+) คือ ตอบสนอง
(-) คือ ไม่ตอบสนอง

รูป 18.30 การทดลองส่งกระแสประสาทของเส้นประสาทไขสันหลังของกบ

- ? จากรูป 18.30 สามารถอธิบายผลการทดลองแต่ละขั้นตอน และสรุปผลการทดลองได้อย่างไร
- ? จงเขียนแผนผังแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทจากการทดลองนี้

เมื่อศึกษาโครงสร้างของไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลังของมนุษย์พบว่าปมประสาทรากบน (dorsal root ganglion) มีตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทรับความรู้สึกทำหน้าที่รับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกส่งมาตามแอกซอนและยื่นเข้าไปในรากบนเข้าสู่ไขสันหลัง ขณะที่รากล่างประกอบด้วยแอกซอนของเซลล์ประสาทสั่งการ ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทไปยังหน่วยปฏิบัติงาน

นอกจากนี้ยังมีเซลล์ประสาทประสานงาน ทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทรับความรู้สึกไปยังเซลล์ประสาทสั่งการ ถ้าเซลล์ประสาทประสานงานทำหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังสมองจะมีแอกซอนเข้าไปในสมอง ดังรูป 18.31



รูป 18.31 ทิศทางการถ่ายทอดของกระแสประสาทเข้าและออกจากไขสันหลัง

- ? เส้นประสาทไขสันหลังเป็นเส้นประสาทรับความรู้สึกหรือเส้นประสาทสั่งการหรือเป็นเส้นประสาทผสม
- ? ถ้าไขสันหลังเกิดความเสียหายจะมีผลกับร่างกายอย่างไรบ้าง

เส้นประสาทสมองและเส้นประสาทไขสันหลังที่กล่าวมานั้นจะเป็นเส้นประสาทที่แยกออกมาเป็นคู่ๆ และมีปมประสาทอยู่ ทำหน้าที่รับสัญญาณความรู้สึกจากหน่วยรับความรู้สึกและออกคำสั่งควบคุมหน่วยปฏิบัติงาน จัดอยู่ในระบบประสาทรอบนอก ระบบประสาทรอบนอกมีกลไกการทำงานอย่างไร และมีความสัมพันธ์กับระบบประสาทส่วนกลางอย่างไร

18.4 การทำงานของระบบประสาท

กิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ เป็นการทำงานร่วมกันของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย โดยมีระบบประสาทควบคุมการตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น การเล่นเปียโน ตาที่เป็นหน่วยรับความรู้สึกจะมองเห็นตัวโน้ตซึ่งเป็นสิ่งเร้าภายนอก แล้วมีการส่งสัญญาณผ่านทางเซลล์ประสาทรับความรู้สึกเข้าสู่สมองให้สมองได้ประมวลผลและเกิดความคิด ตัดสินใจแล้วส่งสัญญาณผ่านเซลล์ประสาทสั่งการไปจนถึงหน่วยปฏิบัติงานคือกล้ามเนื้อโครงร่างบริเวณแขนและนิ้วมือ ระบบประสาทมีการทำงานอย่างไรจึงสามารถควบคุมการทำการกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างราบรื่นได้

ระบบประสาทของมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลังเป็นการทำงานร่วมกันของระบบประสาทส่วนกลางกับระบบประสาทรอบนอก โดยการทำงานของระบบประสาทรอบนอกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่รับความรู้สึก (sensory division) ซึ่งถูกกระตุ้นจากสิ่งเร้าแล้วส่งสัญญาณไปที่สมองและไขสันหลังให้ทำการประมวลผลและส่งสัญญาณไปยังส่วนที่สั่งการ (motor division) ถ้าการสั่งการเกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับได้ เช่น กล้ามเนื้อโครงร่างก็จัดเป็นระบบประสาทโซมาติก (somatic nervous system; SNS) ถ้าการสั่งการนั้นเกิดกับหน่วยปฏิบัติงานที่บังคับไม่ได้ เช่น อวัยวะภายในและต่อมต่าง ๆ จัดเป็นระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system; ANS) โดยระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งเป็น 2 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system) และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก (parasympathetic nervous system) การทำงานของระบบประสาทดังกล่าวสรุปได้ดังรูป 18.32

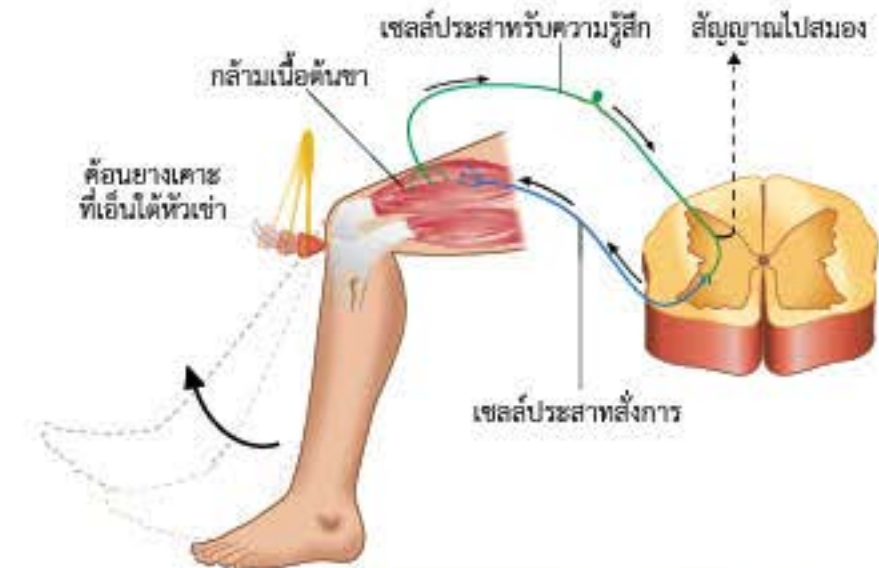


รูป 18.32 การทำงานของระบบประสาทของมนุษย์และสัตว์มีกระดูกสันหลัง

18.4.1 ระบบประสาทโซมาติก

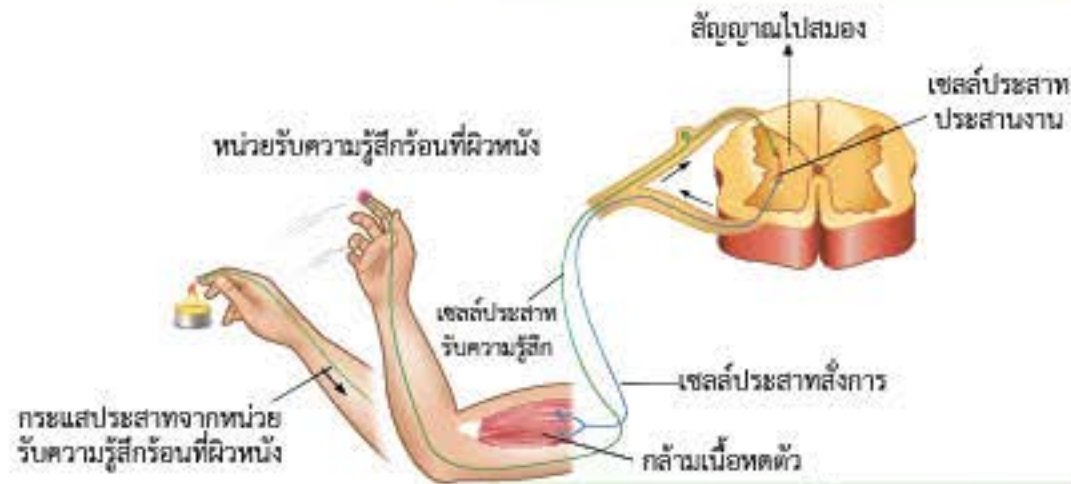
ระบบประสาทโซมาติกควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่าง โดยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกจะรับกระแสประสาทจากหน่วยรับความรู้สึกผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองเข้าสู่ไขสันหลังหรือสมอง และกระแสประสาทจะถูกส่งผ่านเส้นประสาทไขสันหลังหรือเส้นประสาทสมองไปยังหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเป็นกล้ามเนื้อโครงร่าง เช่น การเดิน หรือบางครั้งอาจทำงานโดยผ่านไขสันหลังเท่านั้น เช่น การกระตุกขาเมื่อถูกเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่า

การตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มาจากระดับบริเวณหน่วยปฏิบัติงานซึ่งเกิดขึ้นได้เองนี้เรียกว่า รีเฟล็กซ์ (reflex) ส่วนกิริยาหรืออาการที่แสดงออกเมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นเกิดขึ้นในระยะเวลาสั้น ๆ เรียกว่า รีเฟล็กซ์แอกชัน (reflex action) เป็นการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานที่เกิดขึ้นในทันทีทันใด โดยไม่ได้มีการเตรียมหรือคิดล่วงหน้าซึ่งเป็นการสั่งการของไขสันหลัง โดยสมองไม่ต้องคิดหรือสั่งการ แต่สมองสามารถรับรู้ถึงการตอบสนองจากการส่งสัญญาณผ่านเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เช่น การเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่าดังรูป 18.33



รูป 18.33 การเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่า

ส่วนการเกิดรีเฟล็กซ์แอกชันเมื่อนิ้วมือสัมผัสกับความร้อนแล้วจะชักนิ้วมือออกทันที โดยสมองไม่ต้องคิดหรือสั่งการ และสมองยังไม่วินิจฉัยว่าเกิดอะไรขึ้น จนกระทั่งในเสี้ยววินาทีต่อมาจึงรู้สึกเจ็บ และรับรู้เมื่อนิ้วมือสัมผัสกับความร้อน ซึ่งการรับรู้ความร้อนนั้นเกิดขึ้นได้เพราะมีการส่งกระแสประสาทไปที่สมองทำให้รู้สึกร้อน สรุปได้ดังรูป 18.34



รูป 18.34 รีเฟล็กซ์แยกชั้นเมื่อนิ้วมือสัมผัสความร้อน

- ❓ การเกิดรีเฟล็กซ์แยกชั้นเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่ามีเซลล์ประสาทชนิดใดเกี่ยวข้องบ้าง
- ❓ รีเฟล็กซ์แยกชั้นเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่ากับเมื่อนิ้วมือสัมผัสความร้อนเหมือนกันหรือไม่
- ❓ รีเฟล็กซ์แยกชั้นมีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์อย่างไร

กลไกการเกิดรีเฟล็กซ์แยกชั้นข้างต้นมีการทำงานของระบบประสาทที่เป็นวงจรเรียกว่า รีเฟล็กซ์อาร์ก (reflex arc) ซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ดังรูป 18.35



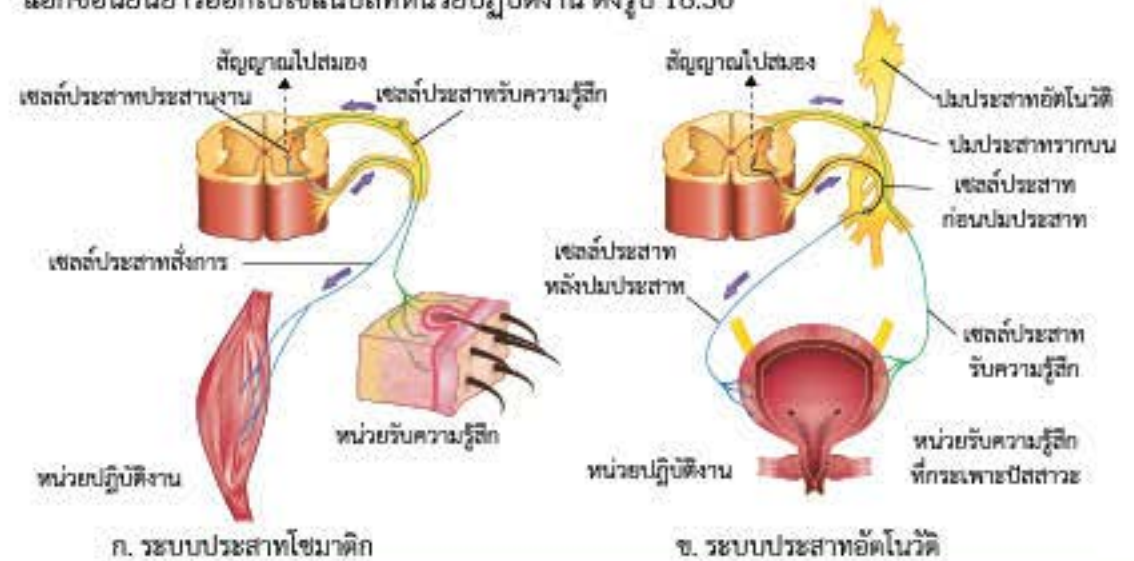
รูป 18.35 องค์ประกอบของรีเฟล็กซ์อาร์ก

บางครั้งรีเฟล็กซ์อาร์กอาจไม่จำเป็นต้องมีเซลล์ประสาทประสานงานก็ได้ เช่น การกระตุกขาเมื่อเคาะที่เอ็นใต้หัวเข่า

18.4.2 ระบบประสาทอัตโนมัติ

ระบบประสาทอัตโนมัติควบคุมการรักษาดุลยภาพต่างๆ ของร่างกาย เช่น การเต้นของหัวใจ การหายใจ อุณหภูมิของร่างกาย การหิหรือขยายรูม่านตา กระบวนการย่อยอาหาร กิจกรรมดังกล่าวเกิดขึ้นกับหน่วยปฏิบัติงานที่ไม่สามารถควบคุมได้หรืออาจกล่าวได้ว่าอยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary) เช่น กล้ามเนื้อเรียบ กล้ามเนื้อหัวใจ และต่อมต่างๆ ระบบประสาทอัตโนมัติแบ่งได้เป็น 2 ระบบย่อย คือ ระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก ระบบประสาทอัตโนมัติควบคุมกิจกรรมของหน่วยปฏิบัติงานได้อย่างไร

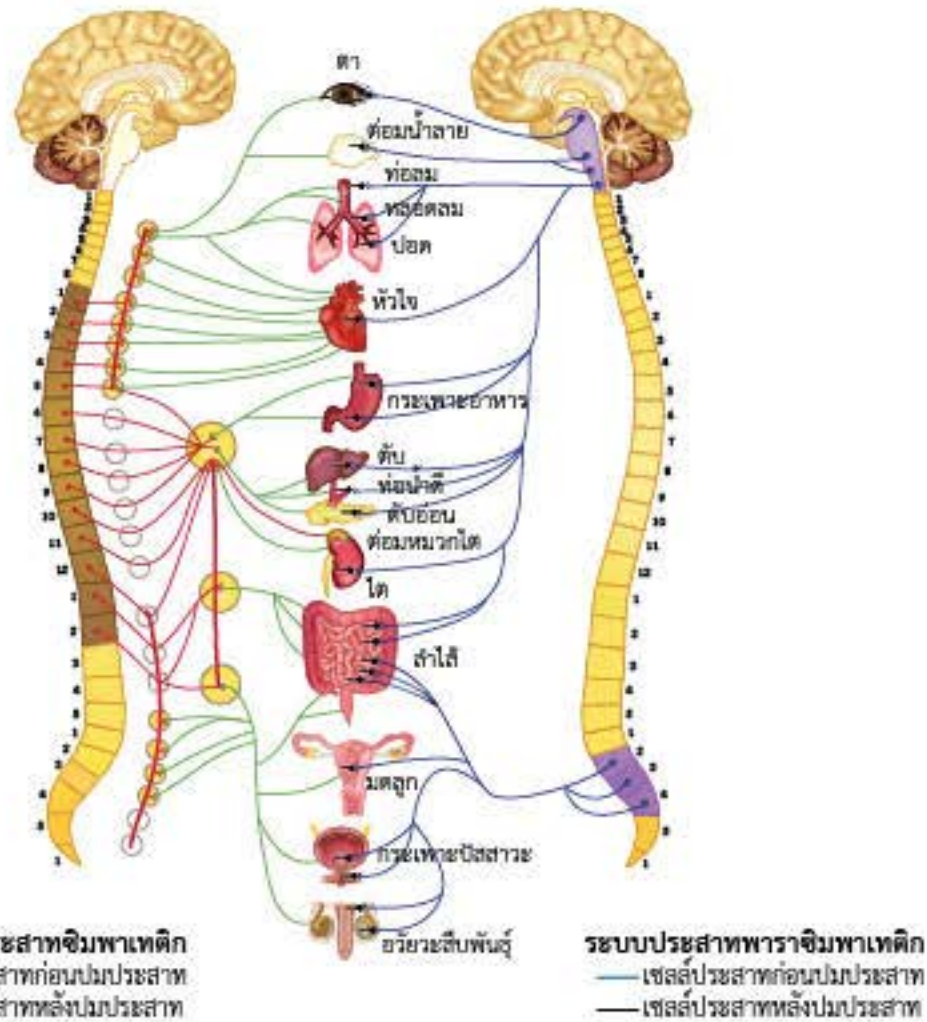
ระบบประสาทอัตโนมัติประกอบด้วยหน่วยรับความรู้สึกซึ่งส่วนใหญ่อยู่ที่อวัยวะภายใน และมีเซลล์ประสาทรับความรู้สึกรับกระแสประสาทผ่านรากบนของเส้นประสาทไขสันหลังเข้าสู่ไขสันหลัง จากไขสันหลังจะมีเซลล์ประสาทสั่งการออกจากไขสันหลังไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทสั่งการอีกเซลล์หนึ่งที่ปมประสาทอัตโนมัติ (autonomic ganglion) เรียกเซลล์ประสาทสั่งการที่ออกจากไขสันหลังมาที่ปมประสาทอัตโนมัติว่า เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท (preganglionic neuron) โดยมีตัวเซลล์อยู่ที่ระบบประสาทส่วนกลางหรือไขสันหลังบริเวณเนื้อสีเทา มีแอกซอนยื่นยาวออกไปถึงบริเวณปมประสาทอัตโนมัติ และเรียกเซลล์ประสาทสั่งการอีกเซลล์ที่ออกจากปมประสาทอัตโนมัติว่า เซลล์ประสาทหลังปมประสาท (postganglionic neuron) ซึ่งมีตัวเซลล์อยู่ที่ปมประสาทอัตโนมัติและมีแอกซอนยื่นยาวออกไปไซแนปส์ที่หน่วยปฏิบัติงาน ดังรูป 18.36



รูป 18.36 เปรียบเทียบวงจรประสาทของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนมัติ

- ❓ หน่วยปฏิบัติงานของระบบประสาทโซมาติกเหมือนกันหรือไม่แตกต่างจากระบบประสาทอัตโนมัติอย่างไร

เมื่ออยู่ในเหตุการณ์ที่ทำให้เกิดอาการตกใจ หรือหวาดกลัว หัวใจจะเต้นเร็วและแรงขึ้น แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปหัวใจจะเต้นช้าลงแล้วกลับเข้าสู่ภาวะปกติ การทำงานดังกล่าวของหัวใจควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติที่เกิดจากการทำงานแบบสภาวะตรงกันข้ามของระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก โดยระบบประสาทซิมพาเทติกกระตุ้นการเต้นของหัวใจ ส่วนระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะยับยั้งการเต้นของหัวใจ ระบบประสาททั้งสองระบบควบคุมการทำงานของอวัยวะภายในร่างกายสรุปได้ดังรูป 18.37



รูป 18.37 การควบคุมการทำงานของอวัยวะในร่างกายโดยระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

ระบบประสาทซิมพาเทติก

ระบบประสาทซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่กระตุ้นหน่วยปฏิบัติงาน ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทอยู่ที่บริเวณไขสันหลังส่วนอกและเอว มีแอกซอนค่อนข้างสั้นและยื่นออกไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาท แอกซอนของเซลล์ประสาทหลังปมประสาทจะยื่นยาวไปไซแนปส์ที่หน่วยปฏิบัติงาน เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท 1 เซลล์จะไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทได้หลายเซลล์ทำให้เกิดการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานได้มากกว่าหนึ่งหน่วย การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติกมีความเกี่ยวข้องกับการตอบสนองที่เรียกว่า **สู้หรือหนี (fight-or-flight)** ซึ่งจะเกิดขึ้นในสถานการณ์ที่มีความกดดัน หรือ**ความเครียด (stress)** รวมถึงความโกรธ ความวิตกกังวล การตอบสนองดังกล่าวจะทำให้ร่างกายมีความพร้อมต่อสถานการณ์นั้น เช่น เหตุการณ์ไฟไหม้แล้วสามารถยกสิ่งของที่น้ำหนักมากและไม่เคยยกได้มาก่อน

ระบบประสาทพาราซิมพาเทติก

ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับระบบประสาทซิมพาเทติก ตัวเซลล์ของเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทอยู่ที่ก้านสมอง และไขสันหลังบริเวณกระเบนเหน็บ แอกซอนยื่นยาวไปไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทที่อยู่ใกล้หรือในอวัยวะภายใน แอกซอนของเซลล์ประสาทหลังปมประสาทนี้จะค่อนข้างสั้น เซลล์ประสาทก่อนปมประสาท 1 เซลล์จะไซแนปส์กับเซลล์ประสาทหลังปมประสาทได้จำนวนน้อยและเกิดการตอบสนองของหน่วยปฏิบัติงานได้เพียงหน่วยเดียว ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกส่วนใหญ่จะทำหน้าที่ลดการกระตุ้นการทำงานของหน่วยปฏิบัติงานทำให้ร่างกายกลับเข้าสู่ภาวะปกติ หรือทำให้ร่างกายเกิด**ภาวะพัก (resting)**

- ? ศูนย์กลางการสั่งการของระบบประสาทซิมพาเทติกและระบบประสาทพาราซิมพาเทติกอยู่ที่ใดบ้าง
- ? ถ้าระบบประสาทอัตโนมัติมีแต่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกที่ควบคุมอวัยวะภายในเพียงระบบเดียวจะมีผลต่อร่างกายอย่างไร



ความรู้เพิ่มเติม

ในปัจจุบันพบว่าการทำงานของทางเดินอาหารยังถูกควบคุมด้วยระบบประสาทอัตโนมัติอีก ระบบที่เรียกว่า **ระบบประสาทเอนเทอริก** (enteric nervous system) ซึ่งสามารถควบคุมและสั่งการตอบสนองของกระเพาะอาหารและลำไส้ได้โดยไม่ต้องอาศัยระบบประสาทส่วนกลาง

สำหรับสารสื่อประสาทที่ใช้สื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทก่อนปมประสาทและเซลล์ประสาทหลังปมประสาทของระบบประสาททั้ง 2 ระบบ คือ อะเซทิลโคลีน แต่สารสื่อประสาทที่หลั่งมาจากเซลล์ประสาทหลังปมประสาทที่ควบคุมหน่วยปฏิบัติงานทั้ง 2 ระบบจะต่างกัน ถ้าเป็นระบบประสาทซิมพาเทติกเป็นนอร์เอพิเนฟริน แต่ระบบประสาทพาราซิมพาเทติกจะเป็นอะเซทิลโคลีน



ตรวจสอบความเข้าใจ

? จงเปรียบเทียบการทำงานและโครงสร้างของระบบประสาทโซมาติก ระบบประสาทซิมพาเทติก และระบบประสาทพาราซิมพาเทติก เช่น หน้าที่ทั่วไป ชนิดการควบคุมหน่วยปฏิบัติงาน ตำแหน่งของตัวเซลล์ประสาทสั่งการ จำนวนเซลล์ประสาทสั่งการ ปมประสาทของเซลล์ประสาทสั่งการที่อยู่นอกกระบวนประสาทส่วนกลาง สารสื่อประสาทที่หลั่งออกจากปลายแอกซอน

ระบบประสาทเป็นระบบที่ควบคุมและสั่งการการตอบสนองต่าง ๆ ต่อสิ่งเร้าทั้งภายในและภายนอกร่างกาย สัตว์จะมีระบบประสาทเจริญและพัฒนาได้ตามวิวัฒนาการและจะเกิดการตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ต้องมีเซลล์รับความรู้สึกที่อาจเป็นเซลล์ประสาทหรือเซลล์เนื้อเยื่อที่เปลี่ยนไปเป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากสิ่งเร้า ซึ่งเซลล์ประสาทรับความรู้สึกนี้พบได้ในอวัยวะรับความรู้สึกหรือบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย โดยมนุษย์มีอวัยวะรับความรู้สึกที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตได้แก่ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนัง

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๕

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ.๒๕๖๐)

เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต

ศึกษาเกี่ยวกับการรับรู้และการตอบสนองของสัตว์ โครงสร้างและการทำงานของเซลล์ประสาท ศูนย์ควบคุมระบบประสาทของมนุษย์ การทำงานของระบบประสาท อวัยวะรับความรู้สึก การเคลื่อนที่ของสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง สัตว์มีกระดูกสันหลัง รวมทั้งการเคลื่อนที่ของมนุษย์ ศึกษาแบบต่อมไร้ท่อ การทำงานร่วมกันของระบบต่อมไร้ท่อ และระบบประสาท ฮอรโมนและการทำงานของฮอรโมน การรักษาสมดุลของฮอรโมน การสืบพันธุ์ของสัตว์และมนุษย์ การเจริญเติบโตของสัตว์ การศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ กลไกการเกิดพฤติกรรม ประเภทพฤติกรรมของสัตว์ ความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมและวิวัฒนาการของระบบประสาท และการสื่อสารระหว่างสัตว์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปรายและสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ และมีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสาร สามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทของไฮดรา พลานาเรีย ไส้เดือนดิน กิ้ง หอย แมลงและสัตว์มีกระดูกสันหลัง
2. อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์ประสาท
3. อธิบายเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทและกลไกการถ่ายทอดกระแสประสาท
4. อธิบาย และสรุปเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทรอบนอก
5. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนต่างๆ ในสมองส่วนหน้า สมองส่วนกลาง สมองส่วนหลัง และไขสันหลัง
6. สืบค้นข้อมูล อธิบาย เปรียบเทียบ และยกตัวอย่างการทำงานของระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทอัตโนมัติ
7. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของ ตา หู จมูก ลิ้น และผิวหนังของมนุษย์ ยกตัวอย่างโรคต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และบอกแนวทางในการดูแลป้องกันและรักษา
8. สังเกต และอธิบายการหาตำแหน่งของจุดบอด โฟเวีย และความไวในการรับรู้สัมผัสของผิวหนัง
9. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเปรียบเทียบโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของแมลงกะพรุน หมึก ดาวทะเล ไส้เดือนดิน แมลง ปลา และนก
10. สืบค้นข้อมูลและอธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของกระดูกและกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์
11. สังเกตและอธิบายการทำงานของข้อต่อชนิดต่างๆ และการทำงานของกล้ามเนื้อโครงร่างที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวและการเคลื่อนที่ของมนุษย์
12. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเขียนแผนผังสรุปหน้าที่ของฮอรโมนจากต่อมไร้ท่อและเนื้อเยื่อที่สร้างฮอรโมน
13. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศและการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศในสัตว์
14. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของอวัยวะในระบบสืบพันธุ์เพศชายและระบบสืบพันธุ์เพศหญิง
15. อธิบายกระบวนการสร้างสเปิร์ม กระบวนการสร้างเซลล์ไข่ และการปฏิสนธิในมนุษย์
16. อธิบายการเจริญเติบโตระยะเอ็มบริโอและระยะหลังเอ็มบริโอของกบ ไก่ และมนุษย์
17. สืบค้นข้อมูล อธิบาย เปรียบเทียบ และยกตัวอย่างพฤติกรรมที่เป็นมาแต่กำเนิดและพฤติกรรมที่เกิดจากการเรียนรู้ของสัตว์
18. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างพฤติกรรมกับวิวัฒนาการของระบบประสาท
19. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และยกตัวอย่างการสื่อสารระหว่างสัตว์ที่ทำให้สัตว์แสดงพฤติกรรม

รวมทั้งหมด ๑๙ ผลการเรียนรู้