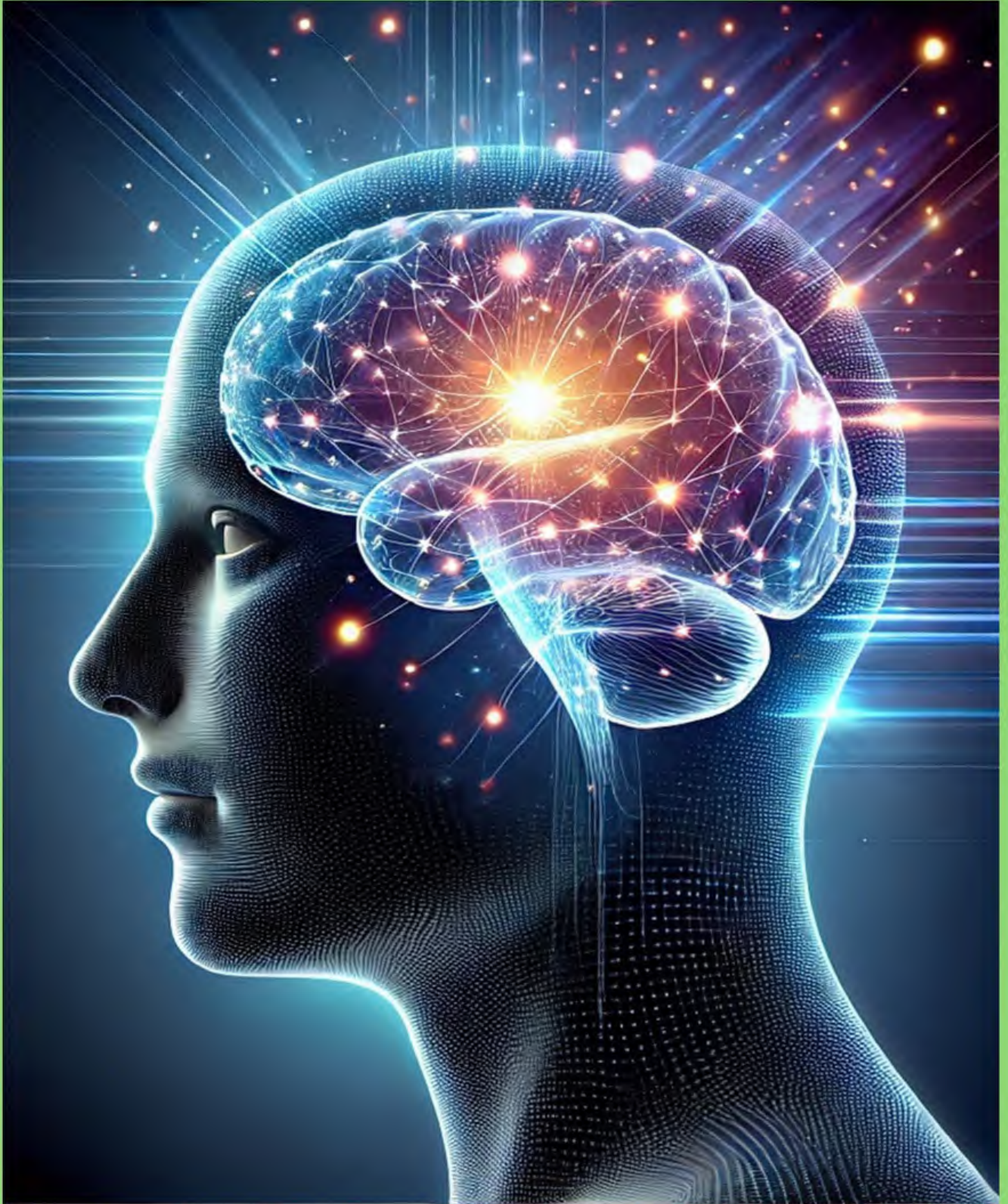


ชีววิทยาระบบประสาท

Neurobiology



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรศักดิ์ ประสานพันธ์
คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยพะเยา

คำนำ (Preface)

ตำรา “ชีววิทยาระบบประสาท” เล่มนี้ผู้เขียนจัดทำขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ที่เริ่มต้นศึกษาเกี่ยวกับระบบประสาท โดยเนื้อหาในหนังสือได้ถูกรวบรวมและเรียบเรียงให้เป็นความรู้พื้นฐานที่ครอบคลุม ทั้งในเชิงโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาท อันเป็นรากฐานสำคัญสำหรับการศึกษาระดับสูงขึ้น เช่น สรีรวิทยาระบบประสาท (Neurophysiology) ประสาทวิทยาศาสตร์ (Neuroscience) และประสาทเภสัชวิทยา (Neuropharmacology) เป็นต้น

ตำราเล่มนี้สามารถใช้ได้ทั้งสำหรับนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย นิสิต นักศึกษา ในระดับอุดมศึกษา และบุคลากรในสายวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพและวิทยาศาสตร์สุขภาพทุกแขนง โดยมีเป้าหมายให้ผู้อ่านสามารถเข้าใจหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับระบบประสาทได้อย่างง่ายดาย ผ่านการนำเสนอเนื้อหาในรูปแบบที่กระชับ ชัดเจน และใช้ภาษาที่เข้าใจง่าย ในขณะเดียวกันยังได้กำกับศัพท์เฉพาะทาง (terminology) ควบคู่ไปด้วย เพื่อให้ผู้อ่านสามารถศึกษาเพิ่มเติมจากตำราเอกสารหรืองานวิจัยในภาษาอื่น ๆ ได้อย่างสะดวก

การใช้คำในตำราเล่มนี้อาจไม่ได้ยึดตามคำศัพท์ของราชบัณฑิตยสถานทั้งหมด แต่ได้เลือกใช้คำที่พ้องเสียงกับภาษาเดิม และคงรูปอักษรของคำภาษาเดิมไว้ เพื่อสะท้อนแนวคิดและความหมายของศัพท์เฉพาะในวิทยาศาสตร์สากล

ตำราเล่มนี้เกิดขึ้นจากการค้นคว้าและเรียบเรียงเนื้อหาจากตำราและบทความวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติ ผู้เรียบเรียงขอขอบคุณนักวิชาการ นักเขียน และนักวิจัยทุกท่าน ที่ได้สร้างองค์ความรู้ซึ่งเป็นรากฐานสำคัญในการเขียนตำราเล่มนี้ ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าตำรา “ชีววิทยาระบบประสาท” เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนรู้และพัฒนาความรู้ของผู้ศึกษา และขอขอบคุณทุกท่านที่สนับสนุนและให้ความสนใจในหนังสือเล่มนี้

ด้วยความเคารพ

สุริศักดิ์ ประสานพันธ์

มกราคม 2568

สารบัญ Table of Contents

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำสู่ชีววิทยาระบบประสาท	
ระบบประสาทคืออะไร มีจุดกำเนิดมาอย่างไร และมีความสำคัญอย่างไร	1
เซลล์ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของระบบประสาท	4
บทบาทของเซลล์เกลียในการสร้างเยื่อไมอีลินและการนำสัญญาณประสาท	6
การจำแนกประเภทของเซลล์ประสาท	8
ลักษณะการทำงานของระบบประสาท	10
วิวัฒนาการทางโครงสร้างของระบบประสาท	13
การจัดโครงสร้างทางกายวิภาคของระบบประสาทของมนุษย์	16
บทประยุกต์และความสำคัญทางการแพทย์เกี่ยวกับความผิดปกติของระบบประสาท	19
บทที่ 2 การทำงานของเซลล์ประสาท	
การเกิดและการส่งสัญญาณไฟฟ้า	21
ซินแนปส์และการส่งกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังเซลล์อื่น	29
สารเคมีที่มีผลต่อซินแนปส์	32
ชนิดของสารสื่อประสาทธรรมชาติ	32
สารสื่อประสาทที่สำคัญในระบบประสาท: ซีวเคมี การสังเคราะห์ บทบาท หน้าที่ และเมทาบอลิซึม	33
กระบวนการสื่อด้วยซินแนปส์เคมี	36
กลไกการหลั่งสารสื่อประสาทที่ปลายประสาท และกระบวนการส่งผ่านไปยังเซลล์หลังซินแนปส์	38
สารที่มีผลต่อการส่งสัญญาณประสาท	39
รอยต่อระหว่างประสาทกับกล้ามเนื้อ	40
กลไกการทำงานของรอยต่อระหว่างประสาทกับกล้ามเนื้อ	41

สารบัญ Table of Contents (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 ระบบประสาทกลาง	
หน้าที่ของระบบประสาทกลาง	45
ตำแหน่งและลักษณะทางกายวิภาคของไขสันหลัง	46
หน้าที่การทำงานของไขสันหลัง	48
บทประยุกต์ทางคลินิก การบาดเจ็บของไขสันหลังและผลกระทบต่อร่างกาย	51
สมอง: โครงสร้างและหน้าที่	54
วิถีประสาทภายในสมอง	58
กลไกการเรียนรู้และการจดจำ	61
สารชีวโมเลกุลที่สำคัญในกระบวนการเรียนรู้และจดจำ	62
บทที่ 4 ระบบประสาทส่วนปลายและระบบประสาทอัตโนมัติ	
ระบบประสาทส่วนปลาย	64
เส้นประสาท	66
การจำแนกประเภทของเส้นประสาท	67
ปมประสาท	73
องค์ประกอบของโครงสร้างปมประสาท	73
หน้าที่ของปมประสาท	74
ระบบประสาทอัตโนมัติหรือระบบประสาทอัตโนมัติ	76
ความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาททั้ง 3 ชนิด	78
ผลลัพธ์จากการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติในสถานการณ์ต่างๆ	79
คุณสมบัติทางเภสัชวิทยา	80

สารบัญ Table of Contents (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 ระบบรับรู้สีกและการประมวลผลประสาทสัมผัส	
การรับรู้สีกและการรับรู้	82
รูปแบบของสิ่งเร้าและตัวรับหรือรีเซพเตอร์	83
ระบบการมองเห็น	84
วิธีประสาทของการมองเห็น การประมวลผลและการแปลผล	88
การได้ยิน	91
สิ่งเร้าและประเภทของรีเซพเตอร์	91
วิธีประสาทของการได้ยิน	92
การประมวลผล	92
การทรงตัว	92
กลไกการทำงานของการทำงานการทรงตัว	95
วิธีประสาทของการทรงตัว	97
การดมกลิ่น	98
การรับรส	104
สารเคมีที่กระตุ้นให้เกิดรสต่างๆ	104
กลไกการเกิดสัญญาณประสาทจากการรับรส	106
วิธีประสาทของการรับรส	107
การประมวลผลและการแปลผลการรับรส	107
การรับรู้ความรู้สึกจากร่างกาย	112
บทที่ 6 ระบบประสาทสั่งการ	
องค์ประกอบทางโครงสร้างของระบบประสาทสั่งการ	117
กระบวนการทำงานของระบบสั่งการ	118
ไฮมันคิวลัส	119
เดอร์มาโตมของเส้นประสาทสั่งการ	121

สารบัญ Table of Contents (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
การเพิ่มความแรงในการทำงานของกล้ามเนื้อลายด้วยมอเตอร์ยูนิต	123
การสั่งการและควบคุมการเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อเรียบโดยระบบประสาท	126
ลักษณะของปลายประสาทที่มาเลี้ยงกล้ามเนื้อเรียบ	128
ชนิดของกล้ามเนื้อเรียบ	129
กลไกการหดตัว-คลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบ	131
การควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจโดยระบบประสาท	133
บทที่ 7 การตอบสนองแบบรีเฟล็กซ์	
คุณลักษณะสำคัญของรีเฟล็กซ์	136
การจำแนกประเภทของรีเฟล็กซ์	136
กลไกการเกิดและวิถีประสาทของรีเฟล็กซ์	139
การทดสอบรีเฟล็กซ์ที่สำคัญ	142
ผลของการเรียนรู้และประสบการณ์ต่อรีเฟล็กซ์	146
บรรณานุกรม	147
เอกสารอ้างอิงงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสาร	149
ประวัติผู้เขียน (Biography)	151

สารบัญรูป List of Figures

รูป	หน้า
1.1. จุดกำเนิดของระบบประสาทในระยะเอ็มบริโอ	1
1.2. การก่อตัวของนิวโรเอกโตเดิร์มเพื่อพัฒนาไปเป็นโครงสร้างของระบบประสาท	3
1.3. การพัฒนาของนิวรัลทิวบ์ไปเป็นสมองและไขสันหลัง	4
1.4. โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาท และเซลล์คำจุนประสาทชนิดต่างๆ	5
1.5. โนดออฟรอนเวิร์	7
1.6. การสร้างเยื่อไมอีลินห่อหุ้มแอกซอนของเซลล์ประสาทโดยเซลล์ชวานน์ และเซลล์โอลิโกเดนโดรเกลีย	8
1.7. ชนิดของเซลล์ประสาท จำแนกโดยใช้หลักเกณฑ์ทางกายวิภาค และทางสรีรวิทยา	11
1.8. วงจรประสาทในสัตว์ชั้นต่ำ เช่น ทากทะเล ซึ่งมีความซับซ้อนน้อยกว่าของสัตว์ชั้นสูง	12
1.9. หน่วยทำงานและวิธีการนำกระแสประสาทในวงจรประสาท	13
1.10. ระบบประสาทแบบร่างแห (nerve net) ของไฮดรา และของซีแอนิโมนี	15
1.11. เซฟาไลเซชันที่เกิดขึ้นในสัตว์ตามลำดับวิวัฒนาการ	16
1.12. การจัดโครงสร้างทางกายวิภาคของระบบประสาทกลางและระบบประสาทรอบนอก	17
1.13. แผนผังการจัดเรียงโครงสร้างของระบบประสาท	19
2.1. ลักษณะของ metal alkaline ion ที่อยู่ในสภาพ hydrated ion และ ความสามารถในการซึมผ่านเมมเบรน	22
2.2. การกระจายตัวและความเข้มข้นของอิเล็กโตรไลต์ภายในและภายนอกเซลล์ประสาท และการเกิดโซเดียม-โพแทสเซียมปั๊มที่เนื้อเซลล์	23
2.3. เหตุการณ์การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อเซลล์ประสาทถูกกระตุ้น	24
2.4. กลไกการเกิดกระแสประสาทและการเคลื่อนที่ของกระแสประสาท	26
2.5. การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทแบบต่อเนื่องและแบบกระโดด	27
2.6. โครงสร้างและองค์ประกอบของซินแนปส์	30
2.7. ซินแนปส์เคมีและซินแนปส์ไฟฟ้า	31
2.8. ซินแนปส์ไฟฟ้าที่พบในเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ และเซลล์กล้ามเนื้อเรียบของสัตว์ชั้นสูง	32
2.9. ขั้นตอนการสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์อื่นโดยส่งผ่านสารสื่อประสาท	37

สารบัญรูป List of Figures (ต่อ)

รูป	หน้า
2.10 กลไกการหลั่งสารสื่อประสาทที่ปลายประสาท	39
2.11. โครงสร้างและองค์ประกอบของ Neuromuscular Junction (NMJ)	41
3.1. กายวิภาคภายนอกของไขสันหลัง	47
3.2. โครงสร้างภาคตัดขวางของไขสันหลัง	49
3.3. วิธีประสาท (neural pathway) ในไขสันหลัง	50
3.4. ตำแหน่งของวิธีประสาทไขสันหลังซึ่งรับผิดชอบหน้าที่ที่แตกต่างกัน	52
3.5. การบาดเจ็บของไขสันหลังที่ระดับต่างๆ และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับร่างกาย	53
3.6. โครงสร้างทางกายวิภาคของสมอง	56
3.7. ตำแหน่งทางกายวิภาคและลักษณะของสมองส่วนซีรีเบลลัม	56
3.8. ส่วนประกอบย่อยอื่นๆ ที่สำคัญของสมอง	57
3.9. ระบบลิมบิก	57
3.10. เวนทริเคิลหรือโพรงสมอง	58
3.11. วิธีประสาทไขสันหลังที่ส่งขึ้นสู่สมอง และที่ลงจากสมองสู่ไขสันหลัง	59
3.12. ตัวอย่างของวิธีประสาทบางบริเวณของสมอง	60
3.13. ความยืดหยุ่นเพื่อปรับกระบวนการทำงานของเซลล์ประสาทและซินแนปส์	63
4.1. ตัวอย่างส่วนประกอบของระบบประสาทส่วนปลาย	64
4.2. การทำงานร่วมกันระหว่าง CNS และ PNS โดยสองระบบย่อย ของระบบประสาทส่วนปลาย	65
4.3. โครงสร้างของเส้นประสาท	66
4.4. ตำแหน่งทางกายวิภาคของเส้นประสาทในร่างกาย	68
4.5. เส้นประสาทสมองทั้ง 12 คู่ ซึ่งออกมาจากบริเวณฐานสมอง	69
4.6. บริเวณของร่างกายที่เส้นประสาทไขสันหลังรับผิดชอบการทำงาน (innervation)	72
4.7. ปมประสาทรับรู้ที่รากบนของไขสันหลัง	74

สารบัญรูป List of Figures (ต่อ)

รูป	หน้า
4.8. ตัวอย่างของปมประสาทฮอโดโนมิก	75
4.9. โครงสร้างแกงเกลียแสดงชนิดของเซลล์ประสาทที่เป็นส่วนประกอบ	76
4.10. โครงสร้างทางกายวิภาคของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก	77
4.11. ระบบประสาทเอนเทอริก	78
4.12. ปมประสาทไขสันหลังและซินแนปส์	79
4.13. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบประสาทโซมาติกและระบบประสาทฮอโดโนมิก	81
5.1. กระบวนการรับรู้ลึก และการรับรู้สิ่งเร้าต่างๆ	82
5.2. โครงสร้างของเซลล์รูปแท่งและเซลล์รูปกรวยในชั้นเรตินาของตา	85
5.3. กลไกการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างทางเคมีของเรตินอลเมื่อถูกกระตุ้นด้วยโฟตอน	86
5.4. กลไกการส่งสัญญาณด้วยการหลั่ง และการยับยั้งการหลั่งกลูตาเมตในสภาวะที่มีแสงและสภาวะที่ไม่มีแสงของเซลล์รูปแท่ง	87
5.5. วิธีประสาทของการมองเห็น	88
5.6. บริเวณสมองที่มีการประมวลผลการมองเห็น และการกระจายสัญญาณของการมองเห็น	90
5.7. โครงสร้างของหูและอวัยวะภายในหูชั้นในที่รับผิดชอบการได้ยินและการทรงตัว	91
5.8. กระดูก 3 ชั้นในหูชั้นในที่ทำหน้าที่ส่งผ่านการสั่นสะเทือนเข้าไปยังคอคเคลีย และกลไกการเกิดดีโพลาไรเซชันของเซลล์ขนบนออร์แกนออฟคอร์ตี	93
5.9. วิธีประสาทของการได้ยิน ความดัง ระดับความถี่-ความแหลม ของเสียง และบริเวณของคอคเคลียที่ตอบสนองต่อความถี่เสียงต่างกัน	94
5.10. โครงสร้างของยูทริเคิลและแซคคูลในท่อเซมิเซอร์คิวลาร์	95
5.11. การตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวเชิงเส้น และการตอบสนองต่อการเคลื่อนไหวเชิงมุม	96
5.12. วิธีประสาทของการทรงตัว	97
5.13. ออลแฟคทอรีรีเซพเตอร์ในเนื้อเยื่อบุผิวโพรงจมูก	99
5.14. กลไกการเกิดดีโพลาไรเซชันของเซลล์รับกลิ่น	100

สารบัญรูป List of Figures (ต่อ)

รูป	หน้า
5.15. การแยกแยะข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกลืนในโกลเมอรูลัสของแลแพคทอรีบัลล์	101
5.16. วิธีประสาทของการรับกลืน และบริเวณสมองส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแปลผลและความเชื่อมโยงกันของแต่ละส่วน	101
5.17. โครงสร้างของลิ้น ปุ่มแพพิลลา และตุ่มรับรส และปุ่มแพพิลลาชนิดต่างๆ	105
5.18. กลไกการเกิดแอดซันโพเทนเชียลของเซลล์รับรส	107
5.19. วิธีประสาทของการรับรสและการแปลผลข้อมูลเกี่ยวกับรสในสมอง	108
5.20. somatosensory organs ที่กระจายอยู่ตามส่วนต่างๆ ของร่างกาย	114
5.21. วิธีประสาท 3 เส้นทางของ somatosensory system	115
6.1. โครงสร้างที่เป็นองค์ประกอบของระบบประสาทสั่งการ	118
6.2. โครงสร้างในระบบประสาทส่วนกลางที่ควบคุมการเคลื่อนไหว และแผนที่บนเปลือกสมอง	120
6.3. แผนที่เดออร์มาโตมของเส้นประสาทสั่งการจากไขสันหลังที่มาเลี้ยงบริเวณผิวหนัง	123
6.4. มอเตอร์ยูนิต และการจำแนกขนาดของมอเตอร์ยูนิต	125
6.5. รูปแบบการหดตัวของกล้ามเนื้อลาย	126
6.6. เส้นประสาทสั่งการที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อเรียบของอวัยวะภายใน	127
6.7. ข้อแตกต่างระหว่างปลายประสาทของระบบประสาทโซมาติกและออโตโนมิกที่มาซึนแนปส์กับกล้ามเนื้อโครงร่างและกล้ามเนื้อเรียบ	128
6.8. ชนิดและลักษณะของกล้ามเนื้อเรียบ	130
6.9. กลไกการหดตัว-คลายตัวของกล้ามเนื้อเรียบจากการกระตุ้นจากสารสื่อประสาท	132
6.10. ระบบประสาทที่มาควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ	133
6.11. กลไกการควบคุมการเพิ่ม-การลดการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจโดยสัญญาณจากระบบประสาท	135
7.1. องค์ประกอบ 5 ส่วนของวงจรรีเฟล็กซ์	137
7.2. วงจรรีเฟล็กซ์ที่มีจำนวนของซินแนปส์หลายแบบ	138

สารบัญรูป List of Figures (ต่อ)

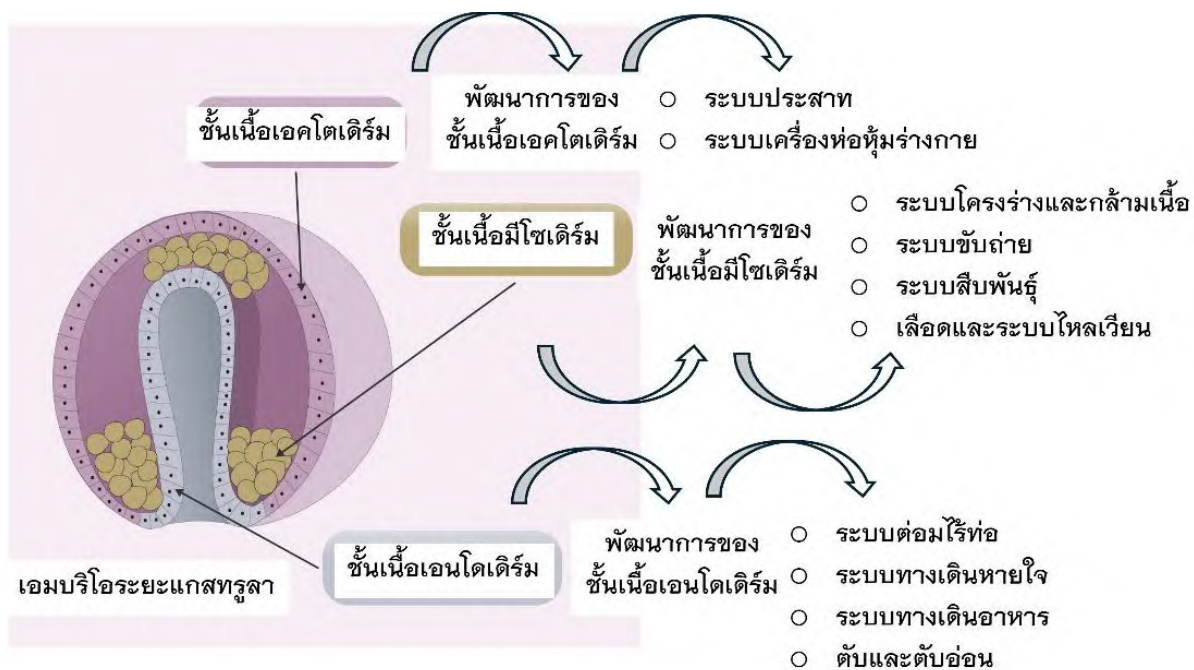
รูป	หน้า
7.3. โซมาติกรีเฟล็กซ์ที่มีการส่งการไปที่กล้ามเนื้อลาย	140
7.4. รีเฟล็กซ์ระบบประสาทอัตโนมัติ	141
7.5. การทดสอบรีเฟล็กซ์ชนิด deep tendon reflex	143
7.6. การทดสอบ superficial reflexes และการแปลผล	144
7.7. การตรวจสอบรีเฟล็กซ์ของก้านสมอง	145

1

บทนำสู่ชีววิทยาระบบประสาท (Introduction to the Nervous System)

ระบบประสาทคืออะไร มีจุดกำเนิดมาอย่างไร และมีความสำคัญอย่างไร

ระบบประสาทเป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของร่างกาย โดยทั้งการควบคุมและประสานการทำงานกับระบบอื่นๆ เป็นระบบของการสื่อสารภายในร่างกาย นอกเหนือจากการตอบสนองทางกายภาพ (physical activity) ของร่างกายแล้วศูนย์กลางของกิจกรรมทางจิต (mental activity) ทุกกิจกรรม อาทิ อารมณ์ (emotion) ความคิด การเรียนรู้และการจดจำ เซอร์วิซปัญหา การทำงานแบบอัตโนมัติของร่างกาย เช่น ความดันเลือด การเต้นของหัวใจ การควบคุมการหายใจ การบีบตัวของทางเดินอาหาร การขับถ่าย การรักษาคุณภาพของร่างกาย ล้วนแล้วแต่เป็นการทำงานของระบบประสาทร่วมกับระบบอื่นอีกหลายระบบทั้งสิ้น จุดกำเนิดของระบบประสาทพัฒนามาจากชั้นเนื้อเอกโตเดิร์มในระยะเอมบริโอ ดังแสดงในรูป 1.1 และ 1.2



รูป 1.1 จุดกำเนิดของระบบประสาทในระยะเอมบริโอ

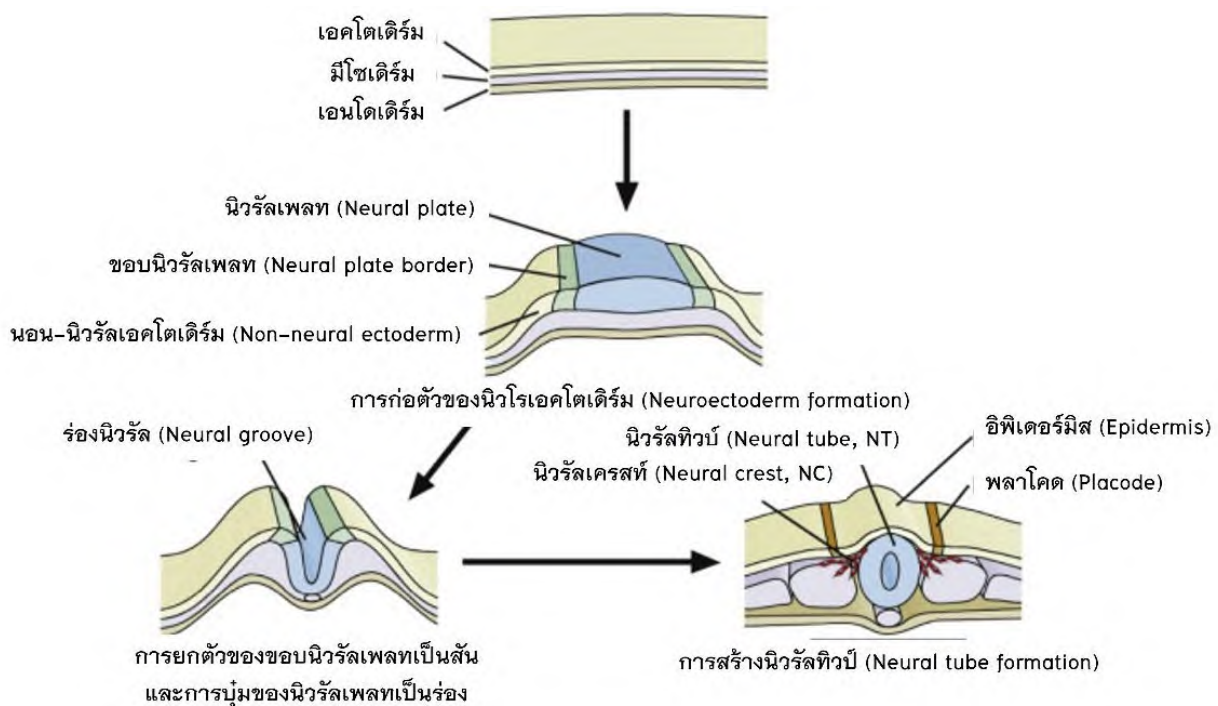
ตัวอ่อน (เอมบริโอ) ในระยะที่มีการสร้างชั้นเนื้อ (germ layer) คือระยะแกสตรูลา (gastrula) เซลล์ต่างๆ มีการเคลื่อนย้ายเพื่อจัดเรียงตัวเป็น 3 ชั้น อันได้แก่ ชั้นนอกคือเอกโตเดิร์ม (ectoderm) ชั้นกลางคือมีโซเดิร์ม (mesoderm) และชั้นในคือเอนโดเดิร์ม (endoderm) ซึ่งพัฒนาการของชั้นเนื้อต่างๆ ต่อมาเซลล์ของแต่ละชั้นเนื้อจะเกิดการรวมกลุ่มและมีดิฟเฟอเรนซิเอชัน (differentiation) กลายเป็นเนื้อเยื่อ (tissue) อวัยวะ (organ) และระบบอวัยวะ (organ system) ต่างๆ ดังแสดงในรูป 1.1

จุดเริ่มต้นของการสร้างระบบประสาทจากชั้นเอกโตเดิร์ม เกิดขึ้นทางด้านดอร์ซัล (dorsal) ของเอมบริโอ ดังแสดงในรูป 1.2 ชั้นเนื้อเอกโตเดิร์มในระยะนี้มีอยู่ 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นนิวโรเอกโตเดิร์ม (neuroectoderm) ซึ่งต่อไปจะพัฒนาไปเป็นระบบประสาท และนอน-นิวโรนัลเอกโตเดิร์ม (non-neuronal ectoderm) ซึ่งต่อไปจะพัฒนาไปเป็นระบบเครื่องหล่อหุ้มร่างกาย นิวโรเอกโตเดิร์มจะหนาตัวขึ้นเป็นแผ่นนิวรัลเพลท (neural plate) ต่อมาส่วนขอบของนิวรัลเพลท (neural plate border) จะยกตัวขึ้นทั้งสองด้านเป็นนิวรัลโฟลด์ (neural fold) การยกตัวขึ้นเช่นนี้จะทำให้บริเวณตรงกลางบวมตัวแล้วลงไปเป็นร่อง (neural groove) นิวรัลโฟลด์ยกตัวสูงขึ้นมาจนในที่สุดสองขอบของนิวรัลเพลทจะมาประกบกันทำให้ร่องนิวรัลปิดตัวกลายเป็นท่อเรียกว่านิวรัลทิวบ์ (neural tube) การเชื่อมกันของนิวรัลเพลททำให้เนื้อเยื่อนอน-นิวโรนัลเอกโตเดิร์มไหลมาชนกัน ปิดตัวเป็นอีพิเดอร์มิส (epidermis) ปกคลุมเป็นผิวด้านนอก ขอบนิวรัลเพลทจะกลายเป็นพลาโคด (placode) ถ้าอยู่ในส่วนอีพิเดอร์มิสจะเป็นต้นกำเนิดของฟอลลิคูลิเกิลของเส้นผมหรือขน (hair follicle) และฟัน ส่วนที่กระจายลงมาอยู่ใต้อีพิเดอร์มิสจะกลายเป็นนิวรัลเครสท์เซลล์ (neural crest cells) ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของเซลล์ประสาท (neuron) ที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะรับรู้สัมผัสพิเศษ (special sense organ) ต่างๆ รวมไปถึงการไปรวมกลุ่มกันเป็นปมประสาท (neuronal ganglia) ตามส่วนต่างๆ บางส่วนกระจายแทรกเข้าไปอยู่ในต่อมหมวกไตชั้นใน (adrenal medulla) คือเซลล์โครมาฟฟิน (chromaffin cell) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซลล์หลังซินแนปส์ (post-synaptic cell) ของระบบประสาทซิมพาเทติก ดังจะได้กล่าวถึงในบทของระบบประสาทอัตโนมัติ เมื่อนิวรัลทิวบ์ปิดลงก็จะกลายเป็นท่อที่วางตัวอยู่ด้านดอร์ซัลตลอดตามความยาวของเอมบริโอ การกำหนดมิติของร่างกายของเอมบริโอเป็นส่วนหลังหรือส่วนท้อง (dorsal or ventral) อาศัยสื่อสัญญาณจากแท่งโนโตคอร์ด (notochord) ซึ่งพัฒนามาจากมีโซเดิร์มเป็นสำคัญ ดังนั้นนิวรัลทิวบ์จึงมีการสร้างชั้นที่เหนือแท่งโนโตคอร์ด ในสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดเมื่อโนโตคอร์ดสลายไปนิวรัลทิวบ์จะกลายเป็นไขสันหลังในที่สุดและมีกระดูกสันหลังมาห่อหุ้ม ท่อนิวรัลทิวบ์ที่วางตัวตามแนวยาวของลำตัวเอมบริโอ ส่วนที่อยู่ด้านหน้า (anterior neural tube) จะแบ่งเซลล์และพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้มีลักษณะ

ป่องออกในที่สุดก็กลายเป็นสมอง (brain) ส่วนต่างๆ ส่วนด้านท้ายของท่อ (posterior neural tube) จะแบ่งตัวซ้ำทำให้ยังคงมีลักษณะเป็นท่อไม่ป่องออก กลายเป็นไขสันหลัง (spinal cord) ดังแสดงในรูป 1.3

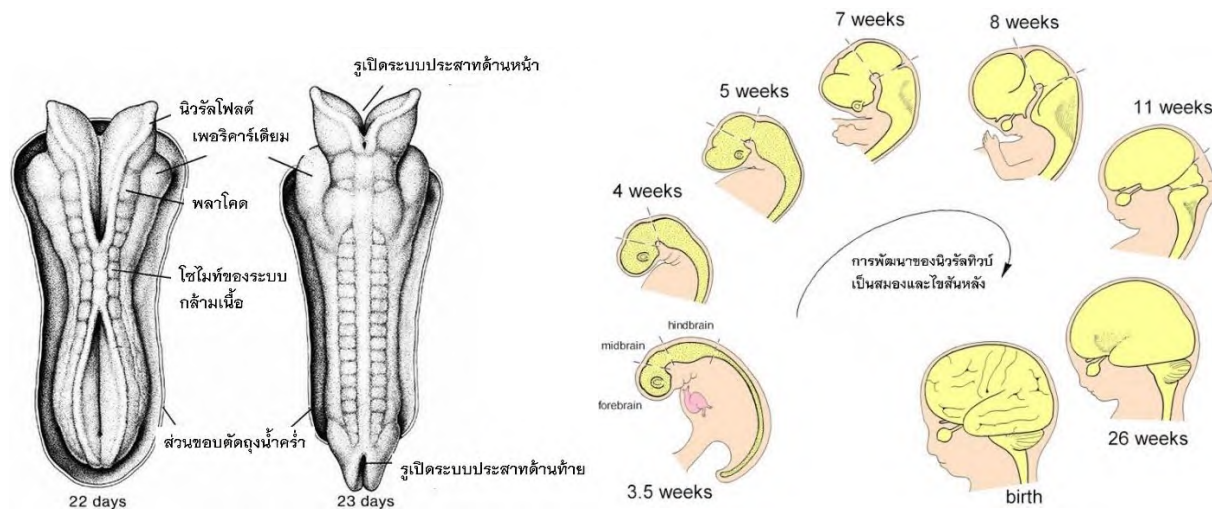
หน้าที่หลักของระบบประสาทจึงมีหน้าที่หลักอยู่ 3 ประการ

1. รับรู้ (sense) การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทั้งภายนอกและภายในร่างกาย ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งเร้า (stimuli) โดยมีตัวรับ (receptor) เพื่อแปลงและส่งสัญญาณการรับรู้ (sensory signals) เข้าไปยังส่วนการประมวลผล
2. ประมวลผล (integration) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบลักษณะของสิ่งเร้าและประมวลข้อมูลเพื่อที่จะให้เกิดการตอบสนองที่เหมาะสมต่อไป
3. สั่งการตอบสนอง (motor activity) ออกไปยังอวัยวะที่เกี่ยวข้อง (effector)



รูป 1.2 การก่อดัวของนิวโรเอคโตเดิร์มเพื่อพัฒนาไปเป็นโครงสร้างของระบบประสาท (ดัดแปลงจาก: Xue, X., et al., 2020. *Modeling of human neurulation using bioengineered pluripotent stem cell culture*.

Current Opinion in Biomedical Engineering, 13: 127–133.)



รูป 1.3 การพัฒนาของนิวรัลทิวบ์ไปเป็นสมองและไขสันหลัง (ดัดแปลงจาก Sen, I.M., Jangra, K. (2023).

Neural Tube Development and Defects: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5458-0_35)

เซลล์ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานของระบบประสาท

(Basic functional structures of the nervous system)

เช่นเดียวกับระบบอื่นๆของร่างกายที่ระบบประกอบขึ้นมาจากหลายอวัยวะ อวัยวะเกิดจากเนื้อเยื่อหลายชนิด และเนื้อเยื่อประกอบขึ้นมาจากเซลล์ที่ทำหน้าที่แบบเดียวกันหรือหน้าที่ร่วม เซลล์พื้นฐานของเนื้อเยื่อประสาท (nervous tissue) ได้แก่เซลล์ 2 ชนิด ดังนี้ (รูป 1.4)

1. เซลล์ประสาท (nerve cell or neuron)

เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาท (nerve impulse) โดยมีโครงสร้างที่สำคัญ ได้แก่

1.1. ตัวเซลล์ (cell body or soma) มีนิวเคลียส ไซโทพลาสซึม และออร์แกเนลล์ที่เกี่ยวข้องกับ

กระบวนการทำงานของเซลล์เช่นเดียวกับเซลล์ทั่วไป

1.2. เดนไดรต์ (dendrite) เป็นส่วนแขนงของเซลล์ (cell process) ที่รับกระแสประสาทจากเซลล์อื่น

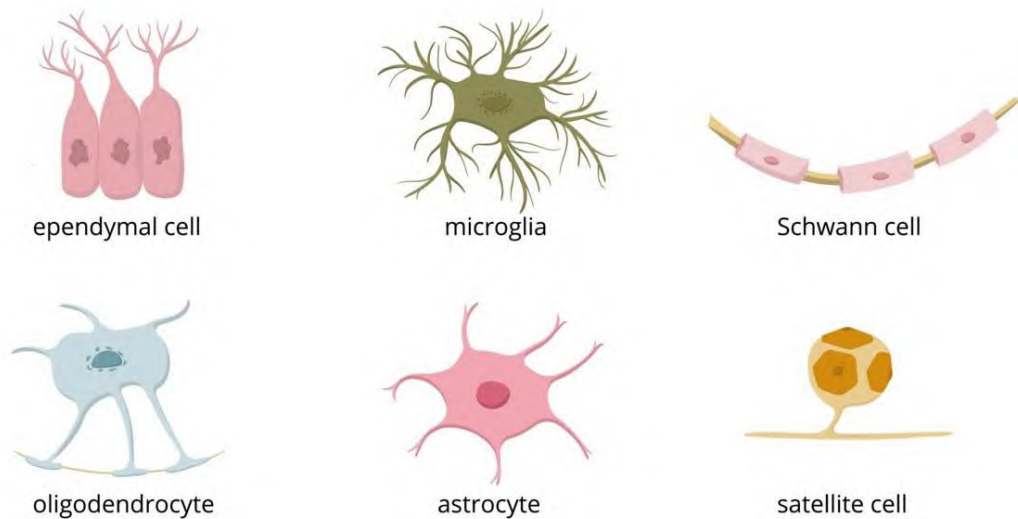
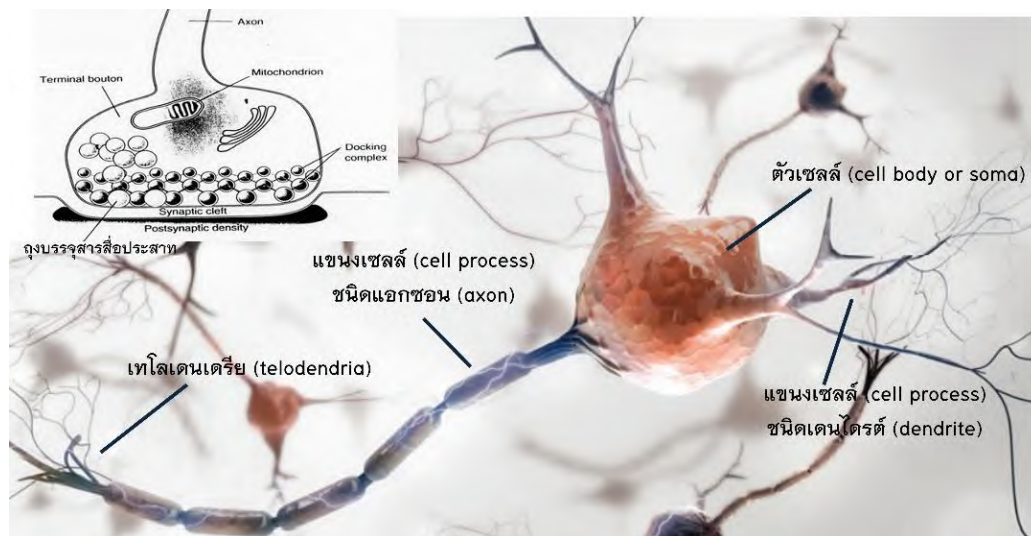
1.3. แอกซอน (axon) เป็นส่วนแขนงของตัวเซลล์ที่นำกระแสประสาทออกจากตัวเซลล์เพื่อส่ง

สัญญาณไปยังเซลล์อื่น ปลายแอกซอนมีลักษณะโป่งออกเป็นกระเปาะ (synaptic knob or terminal bouton) เนื่องจากเป็นที่กักเก็บถุงบรรจุสารสื่อประสาท (synaptic vesicles) เป็นบริเวณที่ปล่อยสารสื่อประสาท (neurotransmitter)

2. เซลล์เกลีย (glial cell or neuroglia)

เป็นเซลล์สนับสนุน (neuronal supporting cells) ที่ช่วยรักษาสสมดุลในระบบประสาท มีหน้าที่หลากหลาย เช่น

2.1. แอสโตรไซต์ (astrocytes) พบในระบบประสาทส่วนกลางช่วยรักษาสสมดุลของสารเคมีในสมอง และสนับสนุนการทำงานของเซลล์ประสาท หากเป็นระบบประสาทส่วนปลายหรือรอบนอกจะเป็นเซลล์แซทเทลไลต์ (satellite cell)



รูป 1.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์ประสาท (neuron or nerve cell) (บน) และเซลล์ค้ำจุนประสาทชนิดต่างๆ (glial cell or neuroglia) (ล่าง) (ดัดแปลงจาก Guy-Evans, O., 2023. What are glial cells and what they do. <https://www.simplypsychology.org/glial-cells.html>)