

ตำรา ประสาทวิทยาศาสตร์ เล่ม 1



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติคุณ วิวัฒน์กัญญา
รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจันทร์ จุฑาภักดีกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพานิชย์

ตำรา ประสาทวิทยาศาสตร์ เล่ม 1



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติคุณ จีวัฒนภักย์
รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจันทร์ จุฑาภักดีกุล
รองศาสตราจารย์ ดร. นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพานิชย์

สงวนสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยมหิดล

พิมพ์ครั้งที่ 1 พฤศจิกายน 2564 จำนวน 1,000 เล่ม

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ

กิตติคุณ วิวัฒน์ภิญโญ.

ประสาทวิทยาศาสตร์ 1. -- นครปฐม : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2564.
386 หน้า.

1. ประสาทวิทยา. I. นวลจันทร์ จุฑาภักดีกุล, ผู้แต่งร่วม. II. วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์, ผู้แต่งร่วม
III. ชื่อเรื่อง.

616.8

ISBN 978-616-443-629-9

ISBN (e-book) 978-616-443-631-2

จัดพิมพ์โดย

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล (MU Press)

กองบริหารงานวิจัย สำนักงานอธิการบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถ.พุทธมนตรสวาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

โทร. 02-849-6379/080-575-5151

พิมพ์ที่

บริษัท ภาพพิมพ์ จำกัด

โทร. 0-2879-9154-6 โทรสาร 0-2879-9153

www.parbpim.com

ราคา 520 บาท

คำนิยม

ในฐานะของอาจารย์ผู้ร่างและก่อตั้งโครงการวิจัย หลักสูตรบัณฑิตศึกษาปริญญาโท ปริญญาเอก สาขาประสาทวิทยาศาสตร์นานาชาติ ที่ศูนย์วิจัยชีววิทยาระบบประสาทและพฤติกรรม สถาบันวิจัยและพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ตั้งแต่ พ.ศ. 2528 และในปัจจุบันเป็นอาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านประสาทวิทยาศาสตร์ และกรรมการที่ปรึกษาหลักสูตรปริญญาโท ปริญญาเอก สาขาประสาทวิทยาศาสตร์นานาชาติ บัณฑิตวิทยาลัย และศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา ผมมีความยินดีและรู้สึกเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้รับเชิญให้เขียนคำนิยมสำหรับ “ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ 1” ที่ได้นิพนธ์ร่วมกันโดยอาจารย์ประจำหลักสูตรฯ ของเราสามท่าน คือ ผศ.ดร. กิตติคุณ วิวัฒน์ภิญโญ รศ.ดร. นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์ และ รศ.ดร. นวลจันทร์ จุฑาภักดีกุล

“ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ 1” เป็นตำราที่มีคุณภาพและมาตรฐานดีเหมาะสม สำหรับนิสิต นักศึกษา ระดับปริญญาตรี และปริญญาโท ที่ต้องเรียนวิชาความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมอง ระบบประสาท จิตใจ อารมณ์ และพฤติกรรม รวมทั้งนักศึกษาแพทย์ พยาบาล และสหวิทยาการด้านสุขภาพ จิตวิทยา ในการเรียนด้วยภาษาไทย และยังสามารถใช้ในการเรียนหาความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ผนวกเข้ากับศาสตร์ต่างๆ มากมายหลายแขนง ตั้งแต่ วิศวกรรมศาสตร์ นาโนเทคโนโลยี วิทยาการคอมพิวเตอร์ ตลอดจนสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์และปรัชญา ทำให้ประสาทวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในศาสตร์ที่เติบโตและก้าวหน้ารวดเร็วที่สุดในโลกปัจจุบัน

ผู้นิพนธ์เลือกใช้ศัพท์ภาษาไทยที่บัญญัติโดยสำนักงานราชบัณฑิตยสถานเป็นหลัก เพื่อให้ผู้อ่านที่อาจไม่คุ้นเคยกับการอ่านศัพท์ทางเทคนิคที่เป็นภาษาอังกฤษได้เข้าใจได้ง่ายขึ้น แต่เนื่องจากศัพท์บัญญัติทางด้านประสาทวิทยาศาสตร์ที่เป็นภาษาไทยนั้นมีความค่อนข้างจำกัด ทางผู้นิพนธ์จึงจำเป็นต้องใช้คำภาษาไทยในการทับศัพท์ภาษาอังกฤษในการอธิบาย โดยจะมีคำภาษาอังกฤษกำกับไว้โดยตลอด

“ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ 1” ประกอบด้วยบทการเรียนรู้ 18 บท เริ่มด้วย เรื่อง สมอง จิตใจ และพฤติกรรม, ระบบประสาทของมนุษย์, เซลล์และเนื้อเยื่อของระบบประสาท, พัฒนาการของระบบประสาท, เยื่อหุ้มสมอง ระบบโพรงสมอง (Ventricular system) และน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง (Cerebrospinal fluid), ระบบหลอดเลือดสมอง, เซรีบรัม (The Cerebrum), ไดเอนเซฟาโลน (The Diencephalon), ก้านสมองส่วนมิดเบรน (The Midbrain), เซรีเบลลัมและก้านสมองส่วนพอนส์ (The Cerebellum and Pons), ก้านสมองส่วนเมดัลลา (The Medulla Oblongata), ไขสันหลัง (The Spinal Cord), การควบคุมการเคลื่อนไหวโดยเบซัลแกงเกลียและเซรีเบลลัม (Basal Ganglion and Cerebellum Control of Movement), ระบบการทรงตัวและการเคลื่อนไหวของลูกตา (The Vestibular System and Control of Eye Movement), ระบบการรับรู้ความรู้สึกทางกาย (The Somatosensory System), การตรวจร่างกายทางระบบประสาทและการระบุตำแหน่งรอยโรคในระบบประสาท (Neurological Examination and Locating Lesion in the Nervous System)

“ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ 1” ประกอบด้วยสารบัญเนื้อหาเรื่องและหัวข้อบทเรียน เอกสารอ้างอิง สารบัญรูปภาพ สารบัญตาราง ดัชนีภาษาอังกฤษ และดัชนีภาษาไทย ทำให้สามารถค้นหาเรื่องที่ต้องการได้สะดวก

โดยสรุป “ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ 1” มีประโยชน์อย่างมาก มีคุณค่าสมตามความมุ่งหมายของผู้ร่วมนิพนธ์ที่จะทำความเข้าใจในโครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทโดยองค์ความรู้ในปัจจุบัน (Contemporary Neuroscience) โดยเล่มที่หนึ่งนี้มีเนื้อหาส่วนใหญ่เกี่ยวกับโครงสร้าง และวิถีประสาทพื้นฐาน (Basic pathways) ของระบบประสาท ส่วนเล่มที่สองที่จะตามมาจะเน้นไปในด้านกลไกทางสรีรวิทยา และการทำงานของระบบประสาทในระดับสูง

ขออวยพรให้ผลงานทางวิชาการนี้ จงเป็นพลวัตปัจจัยที่ส่งผลบุญกุศลทางวิชาการให้ท่านอาจารย์ผู้ร่วมนิพนธ์ มีความเจริญก้าวหน้า ประสบความสำเร็จ และความสุขในชีวิตต่อไป

ด้วยรักและปรารถนาดียิ่ง

รองศาสตราจารย์ ดร.นัยพินิจ คชภักดี

ผู้ทรงคุณวุฒิทางวิชาการด้านการแพทย์และสาธารณสุข สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

อดีตกรรมการสภาวิจัยแห่งชาติ สาขาวิทยาศาสตร์การแพทย์ สภาวิจัยแห่งชาติ

กรรมการวิชาการ สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข (สวรส)

อาจารย์ผู้ทรงคุณวุฒิด้านประสาทวิทยาศาสตร์ และกรรมการที่ปรึกษาหลักสูตรปริญญาโท

ปริญญาเอก สาขาประสาทวิทยาศาสตร์นานาชาติ บัณฑิตวิทยาลัย

และศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล

มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา

คำนิยม

ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล ซึ่งผู้นิพนธ์ทั้งสามท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติคุณ วิวัฒน์ภิญโญ รองศาสตราจารย์ ดร.นวลจันทร์ จุฑาภักดีกุล และ รองศาสตราจารย์ ดร. นพ.วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์ ปฏิบัติงานอยู่ เป็นศูนย์วิจัยแห่งการสรรค์สร้างองค์ความรู้ใหม่ทางประสาทวิทยาศาสตร์ชั้นแนวหน้าของประเทศมาหลายทศวรรษ มีนักวิจัยด้านประสาทวิทยาศาสตร์ระดับโลก มีหลักสูตรบัณฑิตศึกษาทั้งปริญญาโทและปริญญาเอก พรั่งพร้อมด้วยสื่อการสอนเครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ทันสมัย และตำราอันทรงคุณค่า ซึ่งแน่นอนว่าหมายรวมถึง “ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ เล่ม 1” ที่เผยแพร่สู่บรรณพิภพในปี พ.ศ. 2564

ตำราประสาทวิทยาศาสตร์ เล่มที่ท่านกำลังอ่านอยู่นี้ สำเร็จได้จากฉันทะและวิริยะของผู้นิพนธ์ทั้งสามท่าน เป็นตำราที่อธิบายความรู้ครอบคลุมกว้างขวางตั้งแต่เซลล์ประสาท ระบบประสาทกลาง ระบบประสาทรอบนอก ตลอดจนวิถีและการเชื่อมต่อระหว่างส่วนต่าง ๆ ของสมองและไขสันหลัง ครบถ้วนทั้งเรื่องความรู้พื้นฐานและความรู้ประยุกต์ทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ผู้นิพนธ์เชื่อมโยงความรู้ทางกายวิภาคศาสตร์ของระบบการทรงตัวของหูชั้นใน รอยโรคของหูชั้นใน และอาการรู้สึกหมุน ซึ่งเป็นความผิดปกติที่พบบ่อยทางคลินิก รวมถึงอธิบายวิธีการตรวจร่างกายทางระบบประสาท และการระบุตำแหน่งรอยโรคจากการตรวจร่างกายไว้อย่างละเอียด

จากเหตุผลนานัปการข้างต้น จึงแน่นอนเป็นอย่างยิ่งว่า นักศึกษา นักวิจัย และผู้อ่านทั่วไป จะได้รับความรู้เนกอนันต์จากตำราเล่มนี้ และใช้เป็นฐานสร้างความรู้ใหม่ให้ขยายกว้างไกลออกไปไม่สิ้นสุด

ศาสตราจารย์ ดร. นพ.นรุตพล เจริญพันธุ์
ผู้อำนวยการสถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล
มหาวิทยาลัยมหิดล

คำนำ

ประสาทวิทยาศาสตร์เป็นแขนงวิชาที่มุ่งเน้นการทำความเข้าใจในโครงสร้างและกลไกการทำงานของระบบประสาท ศาสตร์แขนงนี้ไม่เพียงแต่ได้รับการยอมรับว่าเป็นพื้นฐานที่ขาดไม่ได้ในการศึกษาทางด้านการแพทย์ จิตวิทยาและพฤติกรรมศาสตร์ แต่ปัจจุบันยังมีการนำเอาความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ผนวกเข้ากับศาสตร์มากมายหลายแขนง ตั้งแต่วิศวกรรมศาสตร์ นาโนเทคโนโลยี วิทยาการคอมพิวเตอร์ ตลอดจนสังคมศาสตร์ มนุษยศาสตร์และปรัชญา ทำให้ประสาทวิทยาศาสตร์เป็นหนึ่งในศาสตร์ที่เติบโตและก้าวหน้าเร็วที่สุดในโลกปัจจุบัน

ด้วยความมุ่งหมายที่จะเผยแพร่ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์แก่นักเรียน นิสิต นักศึกษา และบุคคลทั่วไปที่สนใจในความก้าวหน้าทางประสาทวิทยาศาสตร์ คณะอาจารย์ของศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล จึงร่วมกันนิพนธ์ตำราประสาทวิทยาศาสตร์นี้ขึ้น เพื่อใช้เป็นแหล่งค้นคว้าและประกอบการเรียนการสอนในสถานศึกษาและหลักสูตรที่มีการเรียนวิชาทางประสาทวิทยาศาสตร์ ซึ่งได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นสองเล่ม โดยเล่มที่หนึ่งจะมีเนื้อหาส่วนใหญ่เกี่ยวกับโครงสร้างและวิถีประสาทพื้นฐานของระบบประสาท ส่วนเล่มที่สองจะเน้นไปในด้านกลไกทางสรีรวิทยาและการทำงานของระบบประสาทในระดับสูง

ในการเขียนตำราทั้งสองเล่มนี้ ผู้นิพนธ์เลือกใช้ศัพท์ภาษาไทยที่บัญญัติโดยสำนักงานราชบัณฑิตยสถานเป็นหลัก เพื่อให้ผู้อ่านที่อาจไม่คุ้นเคยกับการอ่านศัพท์ทางเทคนิคที่เป็นภาษาอังกฤษได้เข้าใจได้ง่ายขึ้น แต่เนื่องจากศัพท์บัญญัติทางด้านประสาทวิทยาศาสตร์ที่เป็นภาษาไทยนั้นมีความค่อนข้างจำกัด ทางผู้นิพนธ์จึงจำเป็นต้องใช้คำภาษาไทยทับศัพท์ภาษาอังกฤษในการอธิบาย โดยจะมีคำภาษาอังกฤษกำกับไว้โดยตลอด

คณะผู้นิพนธ์ ขอขอบคุณสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดลในการสนับสนุน ตรวจสอบคุณภาพ และจัดพิมพ์ หากมีปัญหา ข้อบกพร่อง หรือข้อเสนอแนะใด ๆ ของตำรานี้ กรุณาแจ้งมาที่ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล เพื่อทางคณะผู้นิพนธ์จะได้แก้ไขปรับปรุงในการพิมพ์ครั้งต่อไป และเพื่อให้ตำราประสาทวิทยาศาสตร์มีเนื้อหาที่ทันสมัยและเป็นประโยชน์แก่นักศึกษาและผู้อ่านทั่วไป ประโยชน์ใดที่ผู้อ่านได้รับจากตำรานี้ ขอมอบให้แก่บูรพาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทางประสาทวิทยาศาสตร์แก่คณะอาจารย์ผู้นิพนธ์ทุกคน

กิตติคุณ วิวัฒน์ภิญโญ

บรรณาธิการ

ตุลาคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 สมอง จิตใจ และพฤติกรรม (BRAIN, MIND, AND BEHAVIORS)	1
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบประสาท และพฤติกรรม	3
1.2 ประสาทวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน	5
สรุป	5
เอกสารอ้างอิง	7
 บทที่ 2 บทนำระบบประสาทของมนุษย์ (INTRODUCTION TO THE HUMAN NERVOUS SYSTEM)	 9
2.1 การแบ่งส่วนของระบบประสาท	11
2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเนื้อเยื่อประสาท	13
2.3 วิธีประสาทและวงจรรีเฟล็กซ์	14
2.4 โครงสร้างพื้นฐานของระบบประสาทส่วนกลาง	14
2.5 คำศัพท์ในทางประสาทกายวิภาคศาสตร์	16
สรุป	19
เอกสารอ้างอิง	20
 บทที่ 3 เซลล์และเนื้อเยื่อของระบบประสาท (CELLS AND TISSUES OF THE NERVOUS SYSTEM)	 21
3.1 เซลล์ประสาท	23
3.1.1 ตัวเซลล์ประสาท	24
3.1.2 แขนงเซลล์ประสาท	26
3.2 โครงสร้างของเซลล์ประสาท	26
3.3 การจำแนกชนิดของเซลล์ประสาท	27
3.4 การขนส่งสารภายในเซลล์ประสาท	29
3.5 เซลล์เกลีย	30
3.5.1 แอสโตรไซต์	31

	หน้า
3.5.2 โอลิโกเดนโดรไซต์	32
3.5.3 ไมโครเกลีย	32
3.5.4 เซลล์อีเพนไดมัล	33
3.5.5 เซลล์ชวานน์	33
3.5.6 เซลล์แซเทเทลไลต์	34
3.6 ปมประสาทและเส้นประสาทส่วนปลาย	34
3.6.1 ชนิดและโครงสร้างของปมประสาท	35
3.6.2 เส้นประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย	35
3.7 การตอบสนองต่อความเสียหายในเนื้อเยื่อประสาท	37
สรุป	41
เอกสารอ้างอิง	42
 บทที่ 4 พัฒนาการของระบบประสาท (DEVELOPMENT OF THE NERVOUS SYSTEM)	 43
4.1 กำเนิดของระบบประสาทและการสร้างหลอดประสาท	45
4.2 กำเนิดของเซลล์ประสาทและเซลล์เกลีย	49
4.3 การพัฒนาจากหลอดประสาทเป็นเบรนเวสทิเคิล	51
4.4 การเกิดของเปลือกสมอง	53
4.4.1 การขยายพื้นที่ของเปลือกสมอง	54
4.4.2 การเกิดร่องและรอยย่นที่เปลือกสมอง	55
4.5 พัฒนาการของซีรีเบลลัม	55
4.6 การเกิดของระบบประสาทส่วนปลาย	56
4.7 การพัฒนาสมองช่วงหลังคลอด	57
4.8 พัฒนาการสมองช่วงวัยรุ่น	59
สรุป	60
เอกสารอ้างอิง	61

บทที่ 5 เยื่อหุ้มสมอง ระบบโพรงสมอง และน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง (MENINGES, VENTRICULAR SYSTEM AND CEREBROSPINAL FLUID)	63
5.1 เยื่อหุ้มสมอง	65
5.1.1 ดูรามาเทอรั	65
5.1.2 อะแร็กนอยด์มาเทอรั	67
5.1.3 เพียมาเทอรั	68
5.2 ระบบโพรงสมอง	69
5.2.1 โพรงสมองด้านข้าง	70
5.2.2 โพรงสมองที่สาม	71
5.2.3 ท่อน้ำสมอง	72
5.2.4 โพรงสมองที่สี่	73
5.3 น้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง	74
5.3.1 คอโรยด์เพ็กซัส และโครงสร้างกั้นสมองกับน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง	74
5.3.2 ซิสเทิร์นใต้ชั้นอะแร็กนอยด์ และอะแร็กนอยด์วิลโล	75
5.3.3 องค์ประกอบของน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง	78
สรุป	79
เอกสารอ้างอิง	80
 บทที่ 6 ระบบหลอดเลือดสมอง (VASCULAR SYSTEM OF THE BRAIN)	 81
6.1 ระบบหลอดเลือดแดงส่วนหน้า	83
6.1.1 หลอดเลือดแดงแอนทีเรียร์เซรีบรัล	85
6.1.2 หลอดเลือดแดงมิดเดิลเซรีบรัล	87
6.2 ระบบหลอดเลือดแดงส่วนหลัง	91
6.2.1 หลอดเลือดแดงเวอร์ทีบรัล	92
6.2.2 หลอดเลือดแดงเบซิลาร์	94
6.2.3 หลอดเลือดแดงโพสตร์ทีเรียร์เซรีบรัล	95
6.2.4 วงหลอดเลือดแดงวิลลิส	96

	หน้า
6.3 ระบบหลอดเลือดดำของสมองและโพรงเลือดดำในเยื่อหุ้มสมอง	97
6.3.1 กลุ่มหลอดเลือดดำเซรีบรัลชั้นลึก	98
6.3.2 กลุ่มหลอดเลือดดำเซรีบรัลชั้นตื้น	99
6.3.3 กลุ่มโพรงเลือดดำในเยื่อหุ้มสมอง	100
6.4 แนวกันสมองกับหลอดเลือด	102
6.4.1 องค์ประกอบของแนวกันสมองกับหลอดเลือด	103
6.4.2 การขนส่งโมเลกุลผ่านแนวกันสมองกับหลอดเลือด	104
6.4.3 กลุ่มอวัยวะเซอร์คัมเวนทริกิวลาร์	105
6.5 โรคของหลอดเลือดสมอง	106
6.5.1 ภาวะหลอดเลือดสมองตีบ	106
6.5.2 ภาวะหลอดเลือดสมองแตก	107
สรุป	108
เอกสารอ้างอิง	109
 บทที่ 7 เซรีบรัม (THE CEREBRUM)	 111
7.1 การเจริญพัฒนาของเซรีบรัม	113
7.2 ลักษณะภายนอกของเซรีบรัม	116
7.2.1 กลีบหน้าผาก	116
7.2.2 กลีบข้างขม่อม	117
7.2.3 กลีบขมับ	118
7.2.4 กลีบท้ายทอย	118
7.2.5 กลีบอินซูลาร์	118
7.3 เปลือกสมอง	123
7.3.1 การจัดเรียงของเซลล์ประสาทในเปลือกสมอง	125
7.3.2 การจำแนกบริเวณต่าง ๆ บนเปลือกสมอง	127
7.4 เส้นใยประสาทในเซรีบรัม	130
7.5 เบซัลแกงเกลีย	132
7.5.1 สไตรอาทัม	133

	หน้า
7.5.2 โกลบัสปัลลิดัส	134
7.6 โครงสร้างของระบบลิมบิก	135
7.6.1 อะมิกดาลา	135
7.6.2 ฮิปโปแคมปัส	136
7.6.3 กลุ่มเซลล์ประสาทในระบบลิมบิกที่ฐานเซรีบรัมกลีบหน้าผาก	138
สรุป	145
เอกสารอ้างอิง	146
บทที่ 8 ไดเอนเซฟาโลน (THE DIENCEPHALON)	147
8.1 การเจริญพัฒนาของไดเอนเซฟาโลน	149
8.2 กายวิภาคศาสตร์ของธาลามัส	151
8.2.1 กลุ่มเซลล์ประสาทธาลามัสส่วนหน้า	152
8.2.2 กลุ่มเซลล์ประสาทธาลามัสด้านข้าง	153
8.2.3 กลุ่มเซลล์ประสาทธาลามัสด้านใกล้แนวกลาง	154
8.3 กายวิภาคศาสตร์ของไฮโปธาลามัส	155
8.3.1 กลุ่มเซลล์ประสาทไฮโปธาลามัสส่วนหน้า	157
8.3.2 กลุ่มเซลล์ประสาทไฮโปธาลามัสตอนกลาง	158
8.3.3 กลุ่มเซลล์ประสาทไฮโปธาลามัสส่วนท้าย	158
8.4 ซับธาลามัสและเอพิธาลามัส	159
8.4.1 โครงสร้างในซับธาลามัส	159
8.4.2 โครงสร้างในเอพิธาลามัส	159
8.5 ระบบหลอดเลือดของสมองส่วนไดเอนเซฟาโลน	160
สรุป	161
เอกสารอ้างอิง	162
บทที่ 9 ก้านสมองส่วนมิดเบรน (THE MIDBRAIN)	163
9.1 การเจริญพัฒนาของก้านสมองส่วนมิดเบรน	165

	หน้า
9.2 ลักษณะภายนอกของก้านสมองส่วนมิดเบรน	166
9.3 กลุ่มเซลล์ประสาทภายในของก้านสมองส่วนมิดเบรน	168
9.3.1 ซุปไฟเรียร์คอลลิคิวลัส	168
9.3.2 อินไฟเรียร์คอลลิคิวลัส	170
9.3.3 พรีเทคตัลแอเรีย	170
9.3.4 เพอริอะควีตัททาลเกรย์	170
9.3.5 เรดนิวเคลียส	171
9.3.6 ซับสแตนเชียไนกรา	172
9.3.7 เวนทรัลเทคเมนตัลแอเรีย	172
9.3.8 เรติคิวลาร์ฟอร์เมชันระดับมิดเบรน	173
9.3.9 กลุ่มเซลล์ประสาทที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหวของลูกตา	173
9.4 กลุ่มเส้นใยประสาทภายในก้านสมองส่วนมิดเบรน	174
9.4.1 ครัสเซรีไบริ	174
9.4.2 กลุ่มเส้นใยประสาทในบริเวณเทคเมนตัม	175
9.5 ระบบหลอดเลือดของก้านสมองส่วนมิดเบรน	176
สรุป	176
เอกสารอ้างอิง	177
 บทที่ 10 เซรีเบลลัมและก้านสมองส่วนพอนส์ (THE CEREBELLUM AND PONS)	 179
10.1 การเจริญพัฒนาของเซรีเบลลัมและก้านสมองส่วนพอนส์	181
10.2 ลักษณะภายนอกของก้านสมองส่วนพอนส์	183
10.3 กลุ่มเซลล์ประสาทภายในของก้านสมองส่วนพอนส์	185
10.3.1 กลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมอง	185
10.3.2 กลุ่มเซลล์ประสาทเรติคิวลาร์ฟอร์เมชันในก้านสมองส่วนพอนส์	187
10.3.3 กลุ่มเซลล์ประสาทของศูนย์ควบคุมการหายใจระดับพอนส์	187
10.3.4 ซุปไฟเรียร์โอลิวารีนิวเคลียส	187
10.3.5 พอนทีนนิวเคลียส	188

10.3.6 โลคัสซีรูเลียส	188
10.4 กลุ่มเส้นใยประสาทในก้านสมองส่วนพอนส์	188
10.5 กายวิภาคศาสตร์ของเซรีเบลลัม	192
10.5.1 ลักษณะภายนอกของเซรีเบลลัม	192
10.5.2 เปลือกเซรีเบลลัม	194
10.5.3 กลุ่มเซลล์ประสาทชั้นลึกของเซรีเบลลัม	197
10.6 ระบบหลอดเลือดของเซรีเบลลัมและก้านสมองส่วนพอนส์	198
สรุป	199
เอกสารอ้างอิง	200

บทที่ 11 ก้านสมองส่วนเมดัลลา (THE MEDULLA OBLONGATA) 201

11.1 การเจริญพัฒนาของก้านสมองส่วนเมดัลลา	203
11.2 ลักษณะภายนอกของก้านสมองส่วนเมดัลลา	205
11.3 กลุ่มเซลล์ประสาทในก้านสมองส่วนเมดัลลา	209
11.3.1 กลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมอง	209
11.3.2 กลุ่มเซลล์ประสาทในวิถีประสาทรับรู้สีทางกาย	210
11.3.3 เรติคิวลาร์ฟอร์เมชันในก้านสมองส่วนเมดัลลา	211
11.3.4 กลุ่มเซลล์ประสาทของศูนย์ควบคุมการหายใจระดับเมดัลลา	211
11.3.5 กลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำงานร่วมกับเซรีเบลลัม	212
11.4 กลุ่มเส้นใยประสาทในก้านสมองส่วนเมดัลลา	213
11.5 ระบบหลอดเลือดของก้านสมองส่วนเมดัลลา	217
สรุป	219
เอกสารอ้างอิง	220

บทที่ 12 เส้นประสาทสมอง (THE CRANIAL NERVES) 221

12.1 องค์ประกอบเชิงหน้าที่ของเส้นประสาทสมอง	223
12.1.1 กลุ่มเส้นใยประสาทนำเข้า	223

	หน้า
12.1.2 กลุ่มเส้นใยประสาทนำออก	224
12.2 เส้นประสาทสมองของการเคลื่อนไหวของลูกตา	225
12.2.1 เส้นประสาทออกคิวโลมอเตอร์	227
12.2.2 เส้นประสาทโทรเคลียร์	228
12.2.3 เส้นประสาทแอบดิวเซนส์	228
12.3 เส้นประสาทสมองของบริเวณใบหน้า	229
12.3.1 เส้นประสาทไตรเจมินัล	230
12.3.2 เส้นประสาทเฟเชียล	231
12.4 เส้นประสาทสมองของอวัยวะในช่องปาก ลำคอ และอวัยวะภายใน	234
12.4.1 เส้นประสาทกลอสโซฟาริงเจียล	235
12.4.2 เส้นประสาทเวกัส	236
12.4.3 เส้นประสาทแอกเซซอรี	238
12.4.4 เส้นประสาทไฮโปกลอสซัล	239
สรุป	241
เอกสารอ้างอิง	242
บทที่ 13 ไหล่หลัง	243
(THE SPINAL CORD)	
13.1 การเจริญพัฒนาของไขสันหลัง	245
13.1.1 การเปลี่ยนแปลงของเซลล์ประสาทในไขสันหลัง	245
13.1.2 ความผิดปกติในการเจริญพัฒนาของไขสันหลัง	247
13.2 กระดูกสันหลังและเยื่อหุ้มไขสันหลัง	248
13.3 สัณฐานวิทยาภายนอกของไขสันหลัง	250
13.4 เส้นประสาทไขสันหลัง	253
13.5 โครงสร้างภายในไขสันหลัง	255
13.5.1 ไขสันหลังส่วนเนื้อสีเทา	256
13.5.2 ไขสันหลังส่วนเนื้อสีขาว	258
13.6 ระบบหลอดเลือดของไขสันหลัง	263

	หน้า
สรุป	264
เอกสารอ้างอิง	265
บทที่ 14 เซลล์ประสาทสั่งการและวิถีประสาทสั่งการขาลง (MOTOR NEURONS AND DESCENDING MOTOR PATHWAYS)	267
14.1 ภาพรวมของระบบสั่งการ	269
14.2 เซลล์ประสาทสั่งการระดับล่างและการตอบสนองแบบรีเฟล็กซ์	270
14.2.1 รีเฟล็กซ์เหยียดกล้ามเนื้อ	271
14.2.2 รีเฟล็กซ์จากอวัยวะเอ็นกอลจี	273
14.2.3 วงจรสั่งการแกมมาและความตึงตัวของกล้ามเนื้อ	274
14.2.4 รีเฟล็กซ์จากตัวรับความเจ็บปวด	275
14.2.5 รอยโรคของเซลล์ประสาทสั่งการระดับล่าง	276
14.3 วิถีประสาทขาจากเซลล์ประสาทสั่งการระดับบน	277
14.3.1 วิถีประสาทคอร์ติโคสไปนัล	277
14.3.2 วิถีประสาทคอร์ติโคบัลบาร์	278
14.3.3 วิถีประสาทขาจากกลุ่มเซลล์ประสาทสั่งการในก้านสมอง	281
14.3.4 รอยโรคของเซลล์ประสาทสั่งการระดับบน	283
สรุป	284
เอกสารอ้างอิง	285
บทที่ 15 การควบคุมการเคลื่อนไหวโดยเบซัลแกงเกลียและซีรีเบลลัม (BASAL GANGLIA AND CEREBELLAR CONTROL OF MOVEMENT)	287
15.1 การควบคุมการสั่งการโดยเบซัลแกงเกลีย	289
15.1.1 วงจรทางตรง	290
15.1.2 วงจรทางอ้อม	290
15.1.3 เส้นใยประสาทโนโกรัสโตรอาทัล	291
15.1.4 วงจรประสาทของเบซัลแกงเกลียในวิถีประสาทอื่น	292
15.1.5 ความผิดปกติของการควบคุมโดยเบซัลแกงเกลีย	294
15.2 การควบคุมการเคลื่อนไหวโดยซีรีเบลลัม	295

	หน้า
15.2.1 ระบบย่อยเวสติบิวโลเซรีเบลลัม	296
15.2.2 ระบบย่อยสไปโนเซรีเบลลัม	297
15.2.3 ระบบย่อยเซรีโบรเซรีเบลลัม	298
15.2.4 ความผิดปกติของการควบคุมโดยเซรีเบลลัม	301
สรุป	302
เอกสารอ้างอิง	303
บทที่ 16 ระบบการทรงตัว และการควบคุมเคลื่อนไหวของลูกตา (THE VESTIBULAR SYSTEM AND CONTROL OF EYE MOVEMENT)	305
16.1 อวัยวะรับการทรงตัว	307
16.1.1 อวัยวะโอโตลิธ	309
16.1.2 คริสตาแอมพูลลาริส	311
16.1.3 รอยโรคในอวัยวะรับการทรงตัว	312
16.2 วิธีประสาทการทรงตัว	313
16.3 การควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา	315
16.3.1 รีเฟล็กซ์ชนิดเวสติบิวโลออกคิวลาร์	315
16.3.2 การเคลื่อนไหวของลูกตาแบบกระตุกเร็ว	317
16.3.3 การเคลื่อนไหวของลูกตาแบบมองตาม	318
16.3.4 การกระตุกสายของลูกตา	319
สรุป	321
เอกสารอ้างอิง	322
บทที่ 17 ระบบการรับรู้ความรู้สึกทางกาย (THE SOMATOSENSORY SYSTEM)	323
17.1 วิธีประสาทการรับสัมผัสละเอียดและอากัปกริยา	325
17.1.1 ตัวรับรู้ความรู้สึกสัมผัสละเอียดและอากัปกริยา	326
17.1.2 วิธีประสาทการรับสัมผัสละเอียดและอากัปกริยาจากร่างกาย	328
17.1.3 วิธีประสาทการรับสัมผัสละเอียดและอากัปกริยาจากศีรษะและใบหน้า	330
17.1.4 เว้นโทรโพสที่เรียร์นิวเคลียสของธาลามัส	331

17.1.5	เปลี่ยนสมองส่วนรับสัมผัสทางกายปฐมภูมิ	331
17.2	วิธีประสาทการรับรู้ความเจ็บปวดและอุณหภูมิ	332
17.2.1	ปลายประสาทอิสระและตัวรับรู้ต่ออันตราย	332
17.2.2	วิธีประสาทการรับรู้ความเจ็บปวดและอุณหภูมิจากร่างกาย	333
17.2.3	วิธีประสาทการรับรู้ความเจ็บปวดและอุณหภูมิจากศีรษะและใบหน้า	335
17.2.4	ระบบการปรับแต่งการรับรู้สีกเจ็บปวด	336
สรุป		339
เอกสารอ้างอิง		340
บทที่ 18	การตรวจร่างกายทางระบบประสาทและการระบุตำแหน่งรอยโรคในระบบประสาท	341
	(NEUROLOGICAL EXAMINATION AND LOCATING LESION IN THE NERVOUS SYSTEM)	
18.1	การตรวจร่างกายตามระบบ	343
18.1.1	การตรวจสัญญาณชีพ	343
18.1.2	การตรวจศีรษะ	344
18.1.3	การตรวจบริเวณใบหน้า	344
18.1.4	การตรวจหลังและกระดูกสันหลัง	344
18.1.5	การตรวจผิวหนัง	345
18.1.6	การตรวจตับและม้าม	345
18.1.7	การตรวจร่างกายในระบบอื่น ๆ ที่อาจจะเกี่ยวข้องกับระบบประสาทในกรณีเฉพาะ	345
18.2	การตรวจระบบประสาท	346
18.2.1	การตรวจระดับความรู้สึกตัว	346
18.2.2	การตรวจเส้นประสาทสมอง	346
18.2.3	การตรวจระบบประสาทสั่งการ	351
18.2.4	การตรวจระบบประสาทรับความรู้สึก	354
18.2.5	การตรวจรีเฟล็กซ์	355
18.2.6	การตรวจภาวะคอแข็ง	357
18.3	การระบุตำแหน่งรอยโรคในระบบประสาท	358

	หน้า
18.3.1 กลุ่มอาการของเส้นประสาทสมอง	358
18.3.2 การระบุตำแหน่งรอยโรคจากการประเมินความผิดปกติของระบบประสาท สั่งการและรีเฟล็กซ์	359
สรุป	361
เอกสารอ้างอิง	362
ดัชนีภาษาอังกฤษ	363
ดัชนีภาษาไทย	377
ประวัติผู้เขียน	391

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1	โครงสร้างหลักของระบบประสาทของมนุษย์ แบ่งออกเป็นระบบประสาทส่วนกลางซึ่งประกอบด้วยสมองและไขสันหลัง และระบบประสาทส่วนปลายที่ประกอบด้วยปมประสาทและเส้นประสาท
รูปที่ 2.2	แผนภาพของภาคตัดของไขสันหลัง แสดงวงจรรีเฟล็กซ์อย่างง่ายที่ประกอบด้วยเซลล์ประสาทรับความรู้สึกที่นำข้อมูลจากตัวรับความรู้สึกเข้าสู่เซลล์ประสาทตัวกลางในบริเวณเนื้อสีเทาของไขสันหลัง จากนั้นจึงส่งให้กับเซลล์ประสาทสั่งการเพื่อส่งกระแสประสาทไปยังกล้ามเนื้อลายที่เป็นอวัยวะเป้าหมาย
รูปที่ 2.3	ภาพวาดแสดงตำแหน่งของโครงสร้างหลักของระบบประสาทส่วนกลาง
รูปที่ 2.4	แผนภาพแสดงระนาบของร่างกายที่นิยมใช้ในการบรรยายทางกายวิภาคศาสตร์
รูปที่ 2.5	แผนภาพแสดงระนาบแบ่งสมองในแนวต่าง ๆ และคำศัพท์ที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ทางกายวิภาคศาสตร์ของโครงสร้างต่าง ๆ เทียบกับสมอง
รูปที่ 3.1	ภาพวาดแสดงโครงสร้างทั่วไปของเซลล์ประสาท ซึ่งประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาทที่บรรจุนิวเคลียสและออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ในไซโตพลาสซึม และมีแขนงเซลล์ประสาท ได้แก่ เดนไดรต์และแอกซอน
รูปที่ 3.2	ภาพวาดชนิดของเซลล์ประสาทจำแนกตามรูปร่าง ได้แก่ (ก) เซลล์ประสาทขั้วเดียวเทียม (ข) เซลล์ประสาทสองขั้ว และ (ค) เซลล์ประสาทหลายขั้ว
รูปที่ 3.3	แผนภาพแสดงการขนส่งตามแอกซอนแบบเคลื่อนไปด้านหน้าอย่างรวดเร็วและเคลื่อนถอยหลังอย่างรวดเร็ว
รูปที่ 3.4	แผนภาพแสดงชนิดของเซลล์เกลียในเนื้อเยื่อของระบบประสาทส่วนกลาง
รูปที่ 3.5	แผนภาพแสดงชนิดของเซลล์เกลียในเนื้อเยื่อของระบบประสาทส่วนปลาย
รูปที่ 3.6	ภาพตัดตามขวางของเส้นประสาทส่วนปลาย แสดงให้เห็นกลุ่มลำเส้นประสาทที่บรรจุแอกซอนจำนวนมากภายใน และแสดงชั้นของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่หุ้มเส้นประสาท ลำเส้นประสาท และแอกซอน ซึ่งได้แก่ เอพินิวเรียม เพอรินิวเรียม และเอนโดนิวเรียม ตามลำดับ
รูปที่ 3.7	แผนภาพแสดงลำดับเหตุการณ์ของการเสื่อมและการงอกใหม่ของแอกซอนในเส้นประสาทส่วนปลายเมื่อได้รับความเสียหาย

รูปที่ 4.1	แผนภาพแสดงการเหนี่ยวนำให้เกิดระบบประสาทโดยโนโตคอร์ดจะหลั่งสารที่ทำให้กลุ่มเซลล์เอกโตเดิร์มในบริเวณใกล้เคียงเปลี่ยนแปลงเป็นแผ่นประสาท	46
รูปที่ 4.2	แผนภาพแสดงการสร้างหลอดประสาทปฐมภูมิ โดยกลุ่มเซลล์บนแนวพับประสาททั้งสองข้างยกตัวแล้วเข้ามาบรรจบกันในแนวกลาง ทำให้ร่องประสาทปิดตัวลงทางด้านหลังและกลายเป็นหลอดประสาท	47
รูปที่ 4.3	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของหลอดประสาทที่กำลังพัฒนา โดยจะพบร่องซัลคัสลิมีแทนส์แบ่งกลุ่มเซลล์ประสาทที่เพิ่มจำนวนมาจากชั้นรอบโพรงสมองเป็นสองส่วน คือ แผ่นอะลาร์ทางด้านหลัง และแผ่นเบซิลทางด้านหน้า	48
รูปที่ 4.4	ภาพวาดแสดงทารกแรกเกิดที่มีความผิดปกติจากภาวะหลอดประสาทแห้งได้แก่ ภาวะไร้สมองใหญ่ ที่เกิดจากรูเปิดหลอดประสาททางด้านหน้าไม่ปิดตัว และภาวะกระดูกสันหลังโหว่ที่เกิดจากความบกพร่องในการปิดของหลอดประสาทด้านหลัง	49
รูปที่ 4.5	แผนภาพแสดงพัฒนาการของกลุ่มเซลล์ที่ผนังของหลอดประสาท โดยเริ่มต้นจากกลุ่มเซลล์ต้นกำเนิดในชั้นรอบโพรงสมอง (ก) และพัฒนาจนเป็นเซลล์ชนิดต่าง ๆ ที่จะเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ประสาทและเซลล์เกลีย (ข)	50
รูปที่ 4.6	ภาพวาดแสดงการแบ่งสมองส่วนต่าง ๆ ในเบรนเวสิเคิลชั้นปฐมภูมิ (ก) ของตัวอ่อนอายุ 4 สัปดาห์ และในเบรนเวสิเคิลชั้นทุติยภูมิ (ข) ของตัวอ่อนอายุ 5 สัปดาห์	52
รูปที่ 4.7	ภาพวาดแสดงการงอของหลอดประสาทในตัวอ่อนอายุ 4 และ 5 สัปดาห์ แนวเส้นประคือตำแหน่งของส่วนงอต่าง ๆ ที่พบในตัวอ่อน ได้แก่ A คือ ส่วนงอระดับมิดเบรน B คือ ส่วนงอระดับคอ และ C คือ ส่วนงอระดับพอนส์	53
รูปที่ 4.8	แผนภาพแสดงพัฒนาการของเปลือกสมอง โดยเซลล์ประสาทที่เพิ่มจำนวนขึ้นมาจากชั้นรอบโพรงสมอง (VZ) จะอพยพขึ้นไปผ่านชั้นกลาง (IZ) ชั้นซับเพลท (SP) จนถึงชั้นคอร์ติคัลเพลท (CP) โดยอาศัยแขนงยาวของเซลล์เรเดียลเกลียนำทาง จากนั้นเซลล์ประสาทใหม่ในชั้นคอร์ติคัลเพลทจะพัฒนาเป็นเซลล์ประสาทในชั้นล่างของเปลือกสมอง ขณะที่ชั้นคอร์ติคัลเพลทใหม่จะเลื่อนขึ้นไปด้านบน	54
รูปที่ 4.9	แผนภาพแสดงพัฒนาการของเปลือกซีเรเบลลัม โดยบริเวณรอมบิคลีปของเมเทนเซฟาโลนที่กำลังพัฒนา จะพบชั้นแกรนูลัด้านนอกที่เซลล์ประสาทแกรนูลเพิ่มจำนวนแล้วเคลื่อนย้ายลงมาในชั้นแกรนูลของเปลือกซีเรเบลลัม ขณะที่เซลล์ในชั้นรอบโพรงสมองจะให้กำเนิดเซลล์ประสาทเพอร์คินจีใหม่ ซึ่งจะเคลื่อนขึ้นไปที่อยู่ด้านบนต่อชั้นแกรนูลโดยอาศัยเซลล์เรเดียลเกลีย	56

รูปที่ 4.10	แผนภาพแสดงตำแหน่งของเซลล์นิวรัลเครสต์ที่แยกออกมาระหว่างการสร้างหลอดประสาท และสามารถเจริญพัฒนาเป็นเซลล์หลายชนิด เช่น เซลล์ประสาทในปมประสาทและเซลล์ชวานน์ในระบบประสาทส่วนปลาย รวมทั้งเซลล์ชนิดอื่น ๆ ในระบบต่าง ๆ ของร่างกาย	57
รูปที่ 5.1	ภาพวาดแสดงชั้นของเยื่อหุ้มสมองที่อยู่ระหว่างกะโหลกศีรษะและพื้นผิวของเปลือกสมอง และแสดงตำแหน่งของโพรงเลือดดำในชั้นดิวรา รวมทั้งหลอดเลือดในช่องใต้ชั้นอะแร็กนอยด์	66
รูปที่ 5.2	ภาพวาดแสดงตำแหน่งและลักษณะของแนวพับทบดิวรา ที่ช่วยตรึงสมองกับพื้นผิวด้านในของกะโหลกศีรษะ	66
รูปที่ 5.3	ภาพวาดแสดงภาคตัดแนวแบ่งซ้ายขวาของส่วนล่างของไขสันหลังและกระดูกสันหลัง แสดงโครงสร้างของเยื่อหุ้มไขสันหลัง โดยดูรามาเทอร์และอะแร็กนอยด์มาเทอร์แนบติดกันเป็นถุงดิวราที่สิ้นสุดที่ระดับกระดูกสันหลังส่วนกระเบนเหน็บชั้นที่ 2 ขณะที่เพียมาเทอร์เมื่อสิ้นสุดจากไขสันหลังจะกลายเป็นเส้นใยฟิลัมเทอร์มินาเล ซึ่งส่วนล่างสุดจะรวมกับถุงดิวราเป็นเส้นเอ็นยึดกันกับ ช่องใต้ชั้นอะแร็กนอยด์ในบริเวณนี้จะขยายขึ้นเป็นโพรงลัมบาร์ซิสเทอร์น	67
รูปที่ 5.4	ภาพวาดแสดงภาคตัดตามขวางของไขสันหลัง แสดงชั้นของเยื่อหุ้มไขสันหลังที่ยื่นออกไปหุ้มเส้นประสาทย่อยรากหน้าและรากหลังที่ออกจากไขสันหลัง จนถึงส่วนต้นของเส้นประสาทไขสันหลัง นอกจากนี้แสดงตำแหน่งของเอ็นยึดเดนต์คิวเลทที่เป็นแผ่นของเพียมาเทอร์ที่ยื่นออกมาจากพื้นผิวของไขสันหลังไปทางด้านข้าง	69
รูปที่ 5.5	แผนภาพแสดงลักษณะของตำแหน่งของระบบโพรงสมองแต่ละส่วนที่อยู่ภายในสมอง ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับส่วนย่อยของโพรงสมองด้านข้าง ได้แก่ (ก) ส่วนยื่นด้านหน้า (ข) ส่วนกลาง (ค) ส่วนยื่นด้านล่าง และ (ง) ส่วนยื่นด้านหลัง	70
รูปที่ 5.6	ภาพวาดภาคตัดตามแนวแบ่งซ้ายขวาของสมองส่วนไดเอนเซฟาโลน แสดงบริเวณของโพรงสมองที่สามในพื้นที่สี่เทา และชี้แสดงโครงสร้างโดยรอบโพรงสมองที่สาม	72
รูปที่ 5.7	ภาพวาดแสดงภาคตัดในแนวแบ่งซ้ายขวาของซีรีเบลลัมและส่วนหลังของก้านสมอง แสดงบริเวณของโพรงสมองที่สี่ในพื้นที่สี่เทา และชี้แสดงโครงสร้างที่เป็นขอบเขตและทางเชื่อมต่อของโพรงสมองที่สี่	74

รูปที่ 5.8	แผนภาพแสดงโครงสร้างในระดับจุลกายวิภาคศาสตร์ของคอร์รอยด์เพล็กซิส ประกอบด้วยแนวของเซลล์เยื่อบุคอร์รอยด์เพล็กซิส วางอยู่เหนือต่อแนวของหลอดเลือดฝอยโดยมีแนวเบซิลลามินากั้น ลูกศรสีขาวแสดงเส้นทางที่สารน้ำในหลอดเลือดฝอยสามารถแพร่ออกจากหลอดเลือดและผ่านกระบวนการขนส่งโดยเซลล์เยื่อบุคอร์รอยด์เพล็กซิส และผลิตออกมาเป็นน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลังในระบบโพรงสมอง	75
รูปที่ 5.9	แผนภาพแสดงการไหลเวียนของน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลัง ซึ่งสร้างจากคอร์รอยด์เพล็กซิสในโพรงสมองด้านข้าง โพรงสมองที่สามและโพรงสมองที่สี่ จากนั้นจะไหลออกจากโพรงสมองที่สี่ผ่านทางช่องเปิดของลูลซกา และช่องเปิดของมาจองต์ดี ซึ่งน้ำเลี้ยงสมองไขสันหลังจะเข้าสู่ช่องใต้ชั้นอะแร็กนอยด์และถูกดูดซึมกลับเข้าระบบหลอดเลือดดำทางอะแร็กนอยด์วิลโล	76
รูปที่ 6.1	ภาพวาดแสดงหลอดเลือดแดงทั้งสองระบบที่นำเลือดขึ้นมาเลี้ยงสมอง ได้แก่ หลอดเลือดแดงอินเทอร์นัลแคโรติดที่เป็นระบบด้านหน้า และหลอดเลือดแดงเวอร์ทีบรัลที่เป็นระบบด้านหลัง โดยทั้งสองระบบนี้จะเชื่อมต่อกันและให้แขนงปลายที่ไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของสมอง	85
รูปที่ 6.2	ภาพวาดของหลอดเลือดแดงที่พบบนพื้นผิวด้านแนวกลางของสมองส่วนหน้า แสดงแขนงของหลอดเลือดแดงแอนทีเรียร์เซรีบรัลที่นำเลือดไปเลี้ยงพื้นผิวด้านแนวกลางของเปลือกสมองกลีบหน้าผากและกลีบข้างขม่อม และแสดงแขนงของหลอดเลือดโพสทีเรียร์เซรีบรัลที่ทอดทางพื้นผิวด้านล่างของกลีบขมับและให้แขนงที่ไปเลี้ยงเปลือกสมองกลีบขมับและกลีบท้ายทอย	87
รูปที่ 6.3	ภาพวาดของหลอดเลือดแดงที่พบบนพื้นผิวด้านข้างของเซรีบรัม แสดงแขนงของหลอดเลือดแดงมิดเดิลเซรีบรัลที่ทอดออกมาจากร่องลึกด้านข้าง แล้วนำเลือดไปเลี้ยงส่วนใหญ่ของพื้นผิวด้านข้างของเปลือกสมอง	91
รูปที่ 6.4	แผนภาพแสดงแขนงของหลอดเลือดแดงระบบหลัง ได้แก่ หลอดเลือดแดงเวอร์ทีบรัลที่เชื่อมต่อกันเป็นหลอดเลือดแดงเบซิลาร์ ซึ่งให้แขนงปลายสุดเป็นหลอดเลือดแดงโพสทีเรียร์เซรีบรัล ที่เป็นส่วนหนึ่งของวงหลอดเลือดแดงวิลลิส ที่เชื่อมต่อระบบหลอดเลือดแดงทางด้านหน้าและด้านหลังของสมอง	93
รูปที่ 6.5	ภาพวาดของหลอดเลือดแดงที่พบบนพื้นผิวด้านล่างของสมองส่วนหน้า และแสดงแขนงของหลอดเลือดแดงโพสทีเรียร์เซรีบรัลที่นำเลือดไปเลี้ยงพื้นผิวด้านล่างของเปลือกสมองกลีบขมับและกลีบท้ายทอย	97

รูปที่ 6.6	ภาพวาดของพื้นผิวด้านแนวกลางของสมองส่วนหน้า แสดงแขนงที่สำคัญของหลอดเลือดดำชั้นลึกของสมอง	99
รูปที่ 6.7	ภาพวาดของพื้นผิวด้านแนวข้างของเซรีบรัม แสดงแขนงที่สำคัญของหลอดเลือดดำชั้นตื้นของสมอง	100
รูปที่ 6.8	แผนภาพแสดงแขนงสำคัญของโพรงเลือดดำในเยื่อหุ้มสมอง ซึ่งรับเลือดที่มาจากระบบหลอดเลือดดำในสมองและส่งไปยังหลอดเลือดดำอินเทอร์นัลjugular	102
รูปที่ 6.9	แผนภาพแสดงโครงสร้างระดับเซลล์ของเนื้องอกสมองกับหลอดเลือด ซึ่งสารที่ผ่านเข้าออกต้องผ่านโครงสร้างของเซลล์เยื่อบุหลอดเลือดแอสโตรไซท์ และเนวเบซัลลามินาระหว่างทั้งสองเซลล์	104
รูปที่ 7.1	แผนภาพแสดงการเจริญพัฒนาของเทเลนเซฟาลอน (ก) ภาพวาดทางด้านข้างของเบรนเวลีเคิลในเอ็มบริโออายุ 6 สัปดาห์ ซึ่งแสดงส่วนต่าง ๆ โดยบริเวณเทเลนเซฟาลอนเน้นด้วยสีเทา (ข) ภาคตัดขวางของเทเลนเซฟาลอนในแนวเส้นประของภาพ (ก) ซึ่งแสดงส่วนพัลเลียมที่จะพัฒนาเป็นเปลือกสมอง และแกงกลีโอนิคเอนิเมเนสที่พัฒนาเป็นเบซัลแกงเกลีย	114
รูปที่ 7.2	แผนภาพแสดงลำดับการพัฒนาของพัลเลียมทั้งสามส่วน ตั้งแต่ในตัวอ่อนอายุ 8 สัปดาห์ (ก) จนถึงอายุประมาณ 5 เดือน (ข)	115
รูปที่ 7.3	แผนภาพแสดงลำดับการพัฒนาของเซรีบรัมตั้งแต่ในตัวอ่อนอายุ 8 สัปดาห์ (ก) ซึ่งจากนั้นจะมีการขยายตัวอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนที่ 3 (ข, ค และ ง) จนร่องลึกด้านข้างและร่องกลางบนเซรีบรัมปรากฏในตัวอ่อนอายุ 6 เดือน (จ)	116
รูปที่ 7.4	ภาพวาดพื้นผิวด้านข้างของเซรีบรัมซีกซ้าย ซึ่งแสดงตำแหน่งของร่องและรอยูนต่าง ๆ บนกลีบหน้าผาก กลีบข้างขม่อมและกลีบขมับ	119
รูปที่ 7.5	ภาพวาดพื้นผิวด้านล่างของเซรีบรัม ซึ่งแสดงตำแหน่งของร่องและรอยูนต่าง ๆ บนกลีบหน้าผาก กลีบขมับและกลีบท้ายทอย รวมทั้งโครงสร้างภายนอกของไดเอนเซฟาลอนที่สามารถสังเกตได้	120
รูปที่ 7.6	ภาพวาดพื้นผิวด้านแนวกลางของเซรีบรัมซีกขวา ซึ่งแสดงตำแหน่งของร่องและรอยูนต่าง ๆ บนกลีบหน้าผาก กลีบข้างขม่อมและกลีบท้ายทอยที่สังเกตได้จากด้านแนวกลาง และซึ่งแสดงส่วนต่าง ๆ ของคอร์ปัสแคลโลซัม	121
รูปที่ 7.7	ภาพวาดพื้นผิวด้านบนของเซรีบรัมซีกขวา ซึ่งแสดงตำแหน่งของร่องและรอยูนต่าง ๆ บนกลีบหน้าผากและกลีบข้างขม่อมที่สามารถสังเกตได้จากด้านบน	122
รูปที่ 7.8	ภาพวาดแสดงพื้นผิวของกลีบอินซูลาร์ที่อยู่ด้านใน ซึ่งแสดงร่องและรอยูนบนกลีบอินซูลาร์	123

รูปที่ 7.9	ภาพวาดของเซรีบรัมซีกซ้าย แสดงบริเวณต่าง ๆ บนเปลือกสมอง โดยส่วนสีเทาเข้มคือ พื้นที่ของส่วนปฐมภูมิ สีเทาอ่อนคือ ส่วนประสานงานหน้าที่เดียว และสีขาวคือ บริเวณประสานงานหลายหน้าที่	125
รูปที่ 7.10	แผนภาพแสดงการจัดเรียงเป็นชั้นของเซลล์ประสาทที่เปลือกสมอง ซึ่งประกอบด้วย 6 ชั้น โดยชั้นที่ 1 อยู่ทางด้านนอกสุดและชั้นที่ 6 อยู่ด้านในสุด	127
รูปที่ 7.11	ภาพวาดของพื้นผิวด้านข้างของเซรีบรัมซีกซ้าย (บน) และพื้นผิวด้านแนวกลางของเซรีบรัมซีกขวา (ล่าง) แสดงการแบ่งบริเวณของเปลือกสมองตามการจำแนกของโบรตมานน์	130
รูปที่ 7.12	ภาพวาดแสดงตำแหน่งของกลุ่มเส้นใยประสาทประสานงานในเซรีบรัม	132
รูปที่ 7.13	ภาพวาดของโครงสร้างในเบซิลแกงเกลียที่อยู่ด้านในของเซรีบรัม	134
รูปที่ 7.14	ภาพวาดของกลุ่มโครงสร้างสำคัญในระบบลิมบิกที่อยู่ด้านในของเปลือกสมอง ได้แก่ อะมิกดาลาและฮิปโปแคมปัส รวมทั้งเส้นใยประสาทและโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง	135
รูปที่ 7.15	ภาพวาดของภาคตัดของฮิปโปแคมปัส แสดงการจัดองค์ประกอบภายในฮิปโปแคมปัสและโครงสร้างใกล้เคียง	138
รูปที่ 7.16	ภาพวาดของภาคตัดในแนวระนาบแบ่งหน้าหลังของเซรีบรัมที่ตัดผ่านส่วนขั้วด้านหน้าสุดของกลีบขมับ (temporal pole) ซึ่งแสดงตำแหน่งของโครงสร้างที่พบได้ในด้านในของเซรีบรัมกลีบหน้าผาก	140
รูปที่ 7.17	ภาพวาดของภาคตัดในแนวระนาบแบ่งหน้าหลังของเซรีบรัมที่ตัดผ่านส่วนไขว้ประสาทตา ซึ่งแสดงตำแหน่งของโครงสร้างที่พบได้ในด้านในของเซรีบรัมกลีบหน้าผากส่วนหลัง	141
รูปที่ 7.18	ภาพวาดของภาคตัดในแนวระนาบแบ่งหน้าหลังของเซรีบรัมที่ตัดผ่านแอมมิลลารีบอดี ซึ่งแสดงตำแหน่งของโครงสร้างที่พบได้ในด้านในของเซรีบรัมที่ใกล้กับร่องกลาง (central sulcus)	142
รูปที่ 7.19	ภาพวาดของภาคตัดในแนวระนาบแบ่งหน้าหลังของเซรีบรัมที่ตัดผ่านก้านสมองส่วนมิดเบรนที่ครัสเซรีโบร ซึ่งแสดงตำแหน่งของโครงสร้างที่พบได้ในด้านในของเซรีบรัมที่สัมพันธ์กับส่วนหน้าสุดของกลีบข้างขม่อม	143
รูปที่ 7.20	ภาพวาดของภาคตัดในแนวระนาบแนวนอนของเซรีบรัม ซึ่งแสดงตำแหน่งของโครงสร้างที่พบได้ในด้านในของเซรีบรัม	144

รูปที่ 8.1	ภาพวาดแสดงการเจริญพัฒนาของไดเอนเซฟาโลน (ก) ภาพวาดของเบรณเวลิเคิลในตัวอ่อนอายุ 6 สัปดาห์ โดยไดเอนเซฟาโลนที่กำลังพัฒนาคือส่วนสีเข้ม (ข) ภาคตัดในระนาบตามยาวของตัวอ่อนในรูป (ก) แสดงการแบ่งส่วนต่าง ๆ ของไดเอนเซฟาโลนขณะเจริญพัฒนา (ค) ลักษณะของหลอดประสาทจากแนวเส้นประในรูป (ข) ซึ่งช่องภายในหลอดประสาทเปลี่ยนแปลงเป็นโพรงสมองที่สาม ขนาบด้วยกลุ่มเซลล์ประสาทที่กำลังพัฒนาเป็นไดเอนเซฟาโลนส่วนต่าง ๆ	150
รูปที่ 8.2	ภาพวาดของสมองส่วนไดเอนเซฟาโลนจากภาคตัดตามแนวแบ่งซ้ายขวา แสดงโครงสร้างส่วนต่าง ๆ ของไดเอนเซฟาโลน และโครงสร้างใกล้เคียงที่เป็นขอบเขตของไดเอนเซฟาโลน	152
รูปที่ 8.3	ภาพวาดแสดงตำแหน่งกลุ่มเซลล์ประสาทในฮาลามัส โดยตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับตามชื่อของกลุ่มเซลล์ประสาทแต่ละกลุ่มที่แสดงในกรอบสี่เหลี่ยมด้านล่าง รูป (ก) แสดงภาคตัดจากส่วนหน้าของฮาลามัส และรูป (ข) แสดงภาคตัดจากส่วนหลังของฮาลามัส	155
รูปที่ 8.4	ภาพวาดแสดงตำแหน่งของกลุ่มเซลล์ประสาทของไฮโปทาลามัส	157
รูปที่ 9.1	แผนภาพแสดงการเจริญพัฒนาของก้านสมองส่วนมิดเบรณจากส่วนเมเซนเซฟาโลนของเบรณเวลิเคิล ซึ่งมีตำแหน่งของแผ่นอะลาร์และแผ่นเบซิลใกล้เคียงกับหลอดประสาทในระยะแรก จากนั้นกลุ่มเซลล์ในแผ่นอะลาร์จะเพิ่มจำนวนและเคลื่อนที่ไปทั้งด้านหน้าและด้านหลังของมิดเบรณที่กำลังเจริญ และกลายเป็นส่วนของเทคตัม เรตนิวเคลียสและซัสแดนเทียในกรา ขณะที่กลุ่มเซลล์ในแผ่นเบซิลจะพัฒนาเป็นกลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 3 และ 4	166
รูปที่ 9.2	ภาพวาดพื้นผิวด้านแนวกลางของสมอง แสดงบริเวณของก้านสมองส่วนพอนส์ที่เน้นด้วยสีเทา	167
รูปที่ 9.3	ภาพวาดของพื้นผิวทางด้านหน้าของก้านสมองส่วนมิดเบรณ ซึ่งแสดงลักษณะสำคัญและแขนงของเส้นประสาทสมองที่ออกจากส่วนของมิดเบรณ	167
รูปที่ 9.4	ภาพวาดของพื้นผิวทางด้านหลังของก้านสมองส่วนมิดเบรณ ซึ่งแสดงตำแหน่งของซูพีเรียร์คอลลิคิวลัส อินฟีเรียร์คอลลิคิวลัส และเส้นประสาทโทรเคลียร์	168
รูปที่ 9.5	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนมิดเบรณที่ตัดผ่านซูพีเรียร์คอลลิคิวลัส แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	169
รูปที่ 9.6	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนมิดเบรณที่ตัดผ่านอินฟีเรียร์คอลลิคิวลัส แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	171

รูปที่ 10.1	ภาพวาดแสดงลำดับขั้นของการเจริญพัฒนาของเมเทนเซฟาลอน โดยในระยะเริ่มต้น (ก) จะมีลักษณะคล้ายกับส่วนไมอีเลนเซฟาลอน ในลำดับต่อมา (ข) จะมีการขยายขนาดออกไปด้านข้าง และมีการเคลื่อนที่ของกลุ่มเซลล์ต้นกำเนิดเซลล์ประสาทไปยังบริเวณรอมบิกลิป ขณะที่เซลล์ในแผ่นอะลาร์มีการเคลื่อนย้ายที่ลงมาทางด้านหน้ามากขึ้น และภาพ (ค) มีการเจริญขยายมากขึ้นของรอมบิกลิปเพื่อเป็นเซรีเบลลัม ขณะที่เซลล์จากแผ่นอะลาร์จำนวนหนึ่งจะกลายเป็นพอนตินิวเคลียส	182
รูปที่ 10.2	ภาพวาดพื้นผิวด้านแนวกลางของสมอง แสดงบริเวณของก้านสมองส่วนพอนส์ที่เน้นด้วยสีเทาเข้ม	183
รูปที่ 10.3	ภาพวาดของพื้นผิวทางด้านหน้าของก้านสมองส่วนพอนส์ ซึ่งแสดงลักษณะสำคัญและแขนงของเส้นประสาทสมองที่ออกจากพื้นผิวด้านหน้าของก้านสมองส่วนพอนส์	184
รูปที่ 10.4	ภาพวาดของพื้นผิวด้านหลังของก้านสมองส่วนพอนส์ ที่ตัดเซรีเบลลัมออกและเปิดให้เห็นพื้นผิวของโพรงสมองที่สี่และบริเวณของแอ่งรอมบอยด์ ซึ่งแสดงลักษณะสำคัญต่าง ๆ และตำแหน่งของเซรีเบลลาร์พีดันเคิลทั้งสามส่วน	185
รูปที่ 10.5	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนพอนส์ระดับล่าง ที่ผ่านเฟเชียลคอลลิคูลัส (facial colliculus) แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	190
รูปที่ 10.6	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนพอนส์ระดับกลางที่ผ่านแนวของเส้นประสาทไตรเจมินัล (trigeminal nerve) แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	191
รูปที่ 10.7	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนพอนส์ระดับบนที่ผ่านส่วนบนของพอนส์ใกล้กับร่องซูพีเรียร์พอนติน (superior pontine sulcus) แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	192
รูปที่ 10.8	ภาพวาดของเซรีเบลลัมจากมุมมองทางด้านบน แสดงบริเวณของกลีบด้านหน้าและกลีบด้านหลังที่แบ่งด้วยร่องลิกบูลัม	193
รูปที่ 10.9	ภาพวาดของเซรีเบลลัมจากมุมมองทางด้านล่าง ซึ่งเกือบทั้งหมดจะเป็นส่วนของกลีบด้านหลัง โดยจะพบกลีบฟลอคคิวโลโนดูลาร์แยกออกจากกลีบด้านหลังด้วยร่องลิกโพสทีโรแลทเทอร์อัล	194
รูปที่ 10.10	แผนภาพแสดงโครงสร้างของเปลือกเซรีเบลลัม เซลล์ประสาทชนิดต่าง ๆ และเส้นใยประสาทที่เข้าออกในแต่ละชั้นของเปลือกเซรีเบลลัม	195

รูปที่ 10.11	ภาพวาดของเซรีเบลลัมที่ตัดตามระนาบแนวนอน แสดงตำแหน่งของเซลล์ประสาทชั้นลึกของเซรีเบลลัม	197
รูปที่ 11.1	ภาพวาดของเบรนวีสเคิลชั้นทุติยภูมิในตัวอ่อนอายุ 4 สัปดาห์ แสดงบริเวณของไมอีเลนเซฟาลอนที่จะพัฒนาเป็นก้านสมองส่วนเมดัลลา (ซ้าย) และภาพวาดจากภาคตัดตามยาวของเอมบริโอในช่วงเวลาเดียวกัน แสดงบริเวณของไมอีเลนเซฟาลอน (ขวา)	204
รูปที่ 11.2	ภาพวาดจากภาคตัดตามขวางของหลอดประสาทส่วนที่พัฒนาเป็นก้านสมองส่วนเมดัลลา แสดงการเปลี่ยนแปลงของบริเวณแผ่นอะลาร์และแผ่นเบซิลในชั้นแมนเทิลของหลอดประสาท (ก) ระยะเริ่มต้น (ข) ขณะที่ด้านหลังของหลอดประสาทขยายตัวออกทางด้านข้าง (ค) เมื่อสิ้นสุดการเจริญ โดยที่กลุ่มเซลล์ประสาทในแผ่นอะลาร์จะพัฒนาเป็นกลุ่มเซลล์ประสาทรับความรู้สึกทางด้านข้างของเมดัลลา ขณะที่ในแผ่นเบซิลจะพัฒนาเป็นกลุ่มเซลล์ประสาทสั่งการที่อยู่ใกล้กับแนวกลาง	204
รูปที่ 11.3	ภาพวาดพื้นผิวด้านแนวกลางของสมอง แสดงบริเวณก้านสมองส่วนเมดัลลาที่เน้นด้วยสีเทาเข้ม	206
รูปที่ 11.4	ภาพวาดของพื้นผิวทางด้านหน้าของก้านสมองส่วนเมดัลลา ซึ่งแสดงลักษณะสำคัญและแขนงของเส้นประสาทสมองที่ออกจากพื้นผิวด้านหน้าของก้านสมองส่วนเมดัลลา	207
รูปที่ 11.5	ภาพวาดของพื้นผิวด้านหลังของก้านสมองส่วนเมดัลลา ซึ่งได้ตัดเอาเซรีเบลลัมออกเปิดให้เห็นพื้นผิวของโพรงสมองที่สี่ ซึ่งแสดงลักษณะสำคัญต่าง ๆ	208
รูปที่ 11.6	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนเมดัลลาส่วนปิด (closed medulla) ในระดับของรอยไขว้พีระมิด (pyramidal decussation) ซึ่งเป็นระดับล่างสุดที่เชื่อมต่อกับไขสันหลังส่วนคอ แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	214
รูปที่ 11.7	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนเมดัลลาส่วนปิด (closed medulla) ในระดับของอินเทอร์นิวลาร์คิวเอทไฟเบอร์ แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	215
รูปที่ 11.8	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนเมดัลลาส่วนเปิด (open medulla) ที่ตัดผ่านส่วนโอลีฟ แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	216

รูปที่ 11.9	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของก้านสมองส่วนเมดัลลาส่วนเปิดที่ตัดผ่านปุ่มนูนอะคูสติค (acoustic tubercle) และเป็นระดับที่ตรงกับรอยต่อระหว่างก้านสมองส่วนเมดัลลาและพอนส์ แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทที่สำคัญในระดับนี้	217
รูปที่ 12.1	ภาพวาดด้านหลังของก้านสมอง แสดงตำแหน่งของกลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมอง โดยกลุ่มเซลล์ประสาทสังการแสดงในด้านซ้าย และกลุ่มเซลล์ประสาทรับความรู้สึกแสดงในด้านขวา	225
รูปที่ 12.2	แผนภาพแสดงกลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมองทั้งสามกลุ่มที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อรอบลูกตา ตัวอักษรภาษาอังกฤษกำกับชื่อของกล้ามเนื้อลูกตาแต่ละมัด	227
รูปที่ 12.3	แผนภาพแสดงตำแหน่งของไตรเจมินัลนิวเคลียสที่ทำหน้าที่รับเส้นใยประสาทนำเข้าจากร่างกายชนิดทั่วไป (GSA fibers) ทั้งสามกลุ่ม โดยทั้งสามกลุ่มจะรับรู้ความรู้สึกจากบริเวณบนใบหน้าดังที่แสดงในด้านซ้าย โดย V1 คือแขนงออพธาละมิก V2 คือแขนงแมกซิลลารี และ V3 คือแขนงแมนติบิวลารี	231
รูปที่ 12.4	แผนภาพแสดงกลุ่มเซลล์ประสาทของเส้นประสาทสมองที่ควบคุมกล้ามเนื้อของใบหน้าและขากรรไกร โดยภาพบนแสดงไตรเจมินัลนิวเคลียสส่วนสังการที่ให้เส้นใยประสาทนำออกชนิด SVE fiber ไปควบคุมกล้ามเนื้อขากรรไกร ภาพล่างแสดงแขนงต่าง ๆ ของเส้นประสาทเฟเชียลที่ไปควบคุมกล้ามเนื้อใบหน้า ต่อมน์น้ำตา ต่อมน์ในโพรงจมูก ต่อมน์น้ำลายในช่องปาก และนำการรับรสจากส่วนหน้าของลิ้นกลับมาที่โซลาทารีนิวเคลียส	233
รูปที่ 12.5	แผนภาพแสดงกลุ่มเซลล์ประสาทในก้านสมองที่ให้เส้นใยประสาทรวมกันเป็นเส้นประสาทกลอสโซฟาริงเจียล ตัวอักษรกำกับโครงสร้างที่สัมพันธ์กับเส้นใยประสาทแต่ละกลุ่ม ได้แก่ (ก) ต่อมน์น้ำลายหน้าหู (ข) การรับรสจากส่วนหลังของลิ้น (ค) กล้ามเนื้อสไตโลฟาริงเจียส และ (ง) แครโรติดไซนัส	236
รูปที่ 12.6	แผนภาพแสดงกลุ่มเซลล์ประสาทในก้านสมองที่ให้เส้นใยประสาทรวมกันเป็นเส้นประสาทเวกัส ตัวอักษรกำกับโครงสร้างที่สัมพันธ์กับเส้นใยประสาทแต่ละกลุ่ม ได้แก่ (ก) กล้ามเนื้อคอหอย (ข) กล้ามเนื้อของกล่องเสียง (ค) บริเวณรับรู้ความดันเลือดที่ผนังโค้งหลอดเลือดแดงใหญ่ และ (ง) กล้ามเนื้อเรียบและต่อมมีท่อในอวัยวะภายในของทรวงอกและช่องท้อง	238

รูปที่ 13.1	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงของหลอดประสาทในบริเวณที่กำลังพัฒนาเป็นไขสันหลัง ภาพซ้ายแสดงหลอดประสาทในระยะเริ่มต้นซึ่งได้รับสัญญาณก่อรูปสองชนิด คือ Shh จากโนโตคอร์ดและแผ่นเบซิล กับ BMP จากเอกโตเดิร์มพื้นผิวและแผ่นหลังคาเซลล์ประสาทที่กำลังพัฒนา (แทนด้วยจุดสีดำ) ในแต่ละบริเวณของหลอดประสาทจะได้รับสัญญาณก่อรูปทั้งสองในระดับต่างกัน ภาพขวาแสดงหลอดประสาทที่พัฒนาในลำดับถัดมา เซลล์ประสาทที่ได้รับ Shh ในระดับสูงจะพัฒนาเป็นเซลล์ประสาทสั่งการ ขณะที่เซลล์ประสาทที่ได้รับ BMP ระดับสูงจะพัฒนาเป็นเซลล์ประสาทตัวกลาง	246
รูปที่ 13.2	แผนภาพตัดตามยาวของไขสันหลังส่วนล่าง แสดงรูปแบบของภาวะกระดูกสันหลังโหว่ได้แก่ (ก) ภาวะกระดูกสันหลังโหว่แบบปิด (ข) ภาวะกระดูกสันหลังโหว่แบบเปิดที่ถุงเยื่อหุ้มไขสันหลังยื่นออกมา (ค) ภาวะกระดูกสันหลังโหว่แบบเปิดที่มีส่วนไขสันหลังและเส้นประสาทไขสันหลังยื่นออกมา	248
รูปที่ 13.3	แผนภาพตัดขวางของกระดูกสันหลังระดับคอ แสดงส่วนต่างๆ ของกระดูกสันหลัง และตำแหน่งของไขสันหลังที่อยู่ภายในช่องกระดูกสันหลัง	249
รูปที่ 13.4	ภาพวาดจากภาคตัดตามยาวของแนวกระดูกสันหลัง แสดงลักษณะของไขสันหลังภายในช่องกระดูกสันหลังซึ่งให้เส้นประสาทไขสันหลังออกมาตามแต่ละส่วนของไขสันหลัง รวมทั้งลักษณะสัณฐานภายนอกของไขสันหลัง	251
รูปที่ 13.5	ภาพวาดแสดงลักษณะของไขสันหลัง 1 ท่อนที่ให้แขนของกลุ่มเส้นประสาทย่อยทั้งรากลหน้าและรากลหลังออกมารวมกันเป็นเส้นประสาทไขสันหลัง 1 คู่ และแสดงร่องต่างๆ ที่พบบนพื้นผิวด้านนอกของไขสันหลัง	252
รูปที่ 13.6	ภาพวาดแสดงเดอร์มาโทมแต่ละระดับบนผิวหนังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายทั้งด้านหน้าและด้านหลัง โดยจะไม่มีเดอร์มาโทมของระดับ C1 เนื่องจากเส้นประสาทไขสันหลังในระดับดังกล่าวไม่มีแขนรับความรู้สึก และผิวหนังของใบหน้าจะรับความรู้สึกโดยเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 (CN. V)	255
รูปที่ 13.7	ภาพวาดแสดงภาคตัดขวางของไขสันหลังเปรียบเทียบระหว่างระดับคอที่ 7 (C7) ระดับอกที่ 6 (T6) ระดับเอวที่ 1 (L1) และระดับกระเบนเหน็บที่ 1 (S1) ซึ่งมีขนาดของเนื้อสีเทาและเนื้อสีขาวที่แตกต่างไป โดยสังเกตว่าพื้นที่เนื้อสีขาวจะลดลงในไขสันหลังระดับล่าง ขณะที่เนื้อสีเทาจะมีพื้นที่มากเป็นพิเศษในไขสันหลังส่วนขยายระดับคอและระดับเอว-กระเบนเหน็บ	257

รูปที่ 13.8	ภาพวาดแสดงภาคตัดขวางของไขสันหลังระดับคอ โดยแบ่งส่วนเนื้อสีเทาออกเป็นคอร์ซัลฮอร์นและเวนทริลฮอร์น และแบ่งขอบเขตของเรเซดลามินีโดยประมาณไว้ทั้งหมด 10 ส่วน ซึ่งกำกับด้วยตัวเลขโรมัน	257
รูปที่ 13.9	แผนภาพแสดงภาคตัดขวางของไขสันหลังระดับคอ แสดงตำแหน่งของวิถีประสาทขาหลัง (ด้านซ้าย) และวิถีประสาทขาขึ้น (ด้านขวา) ในเนื้อสีขาวของไขสันหลัง	259
รูปที่ 13.10	ภาพวาดแสดงหลอดเลือดแดงที่มาเลี้ยงไขสันหลัง	264
รูปที่ 14.1	แผนภาพแสดงการจัดลำดับชั้นของโครงสร้างในระบบสั่งการของระบบประสาทส่วนกลาง ทิศทางของลูกศรแสดงทิศทางการส่งกระแสประสาทเพื่อควบคุมการทำงานของแต่ละโครงสร้าง	270
รูปที่ 14.2	แผนภาพแสดงวิถีประสาทในการตอบสนองแบบรีเฟล็กซ์เข่า (knee jerk reflex) ซึ่งกระตุ้นโดยการใช้ไม้เคาะที่เอ็นกระดูกสะบ้า ซึ่งตอบสนองโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าและการยืดตัวของกล้ามเนื้อต้นขาด้านหลัง ทำให้ขากระดูกเหยียดออกไปทางด้านหน้า	272
รูปที่ 14.3	แผนภาพแสดงวิถีประสาทในรีเฟล็กซ์ของอวัยวะเอ็นกอลจีขณะที่กล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้ารับน้ำหนักจากการถือลูกเหล็ก โดยอวัยวะเอ็นกอลจีที่รับความตึงในกล้ามเนื้อจะส่งข้อมูลไปยังเซลล์ประสาทตัวกลางชนิดยับยั้งเพื่อระงับการทำงานของเซลล์ประสาทสั่งการอัลฟาที่ควบคุมกล้ามเนื้อต้นแขนด้านหน้า เพื่อหยุดการทำงานเมื่อแรงตึงมากเกินไป	274
รูปที่ 14.4	แผนภาพแสดงการทำงานของเซลล์ประสาทสั่งการแกมมาในการสร้างความตึงตัวในกล้ามเนื้อ โดยกระตุ้นการหดตัวของเส้นใยกล้ามเนื้ออินทราฟิวซิลที่บริเวณหัวท้ายโดยเซลล์ประสาทสั่งการแกมมา ทำให้มีสเคลอซินเดิลยืดตัวออกและส่งข้อมูลกลับไปยังเซลล์ประสาทสั่งการอัลฟา ซึ่งจะกระตุ้นให้เส้นใยกล้ามเนื้อเอกซทราฟิวซิลหดตัวเล็กน้อย	275
รูปที่ 14.5	แผนภาพแสดงวิถีประสาทของรีเฟล็กซ์จากตัวรับความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นเมื่อเหยียบตะปู ปลายประสาทอิสระจะส่งข้อมูลกลับไปยังกลุ่มเซลล์ประสาทในไขสันหลังเพื่อกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัว (แทนด้วยสีเทาเข้ม) และยืดตัว (แทนด้วยสีเทาอ่อน) ทำให้สามารถกระดูกเท้าออกจากตะปูได้	276
รูปที่ 14.6	แผนภาพของภาคตัดในแนวหน้าหลังของรอยูนูนพรีเซนทรีล แสดงพื้นที่ที่มีเซลล์ประสาทสั่งการระดับบนไปควบคุมแต่ละส่วนของร่างกาย หรือที่เรียกว่า โสมนควิลัสของระบบสั่งการ สังเกตได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่บนรอยูนูนพรีเซนทรีลนี้จะไปควบคุมกล้ามเนื้อมือและใบหน้า	278

รูปที่ 14.7	แผนภาพของวิธีประสาทคอร์ติโคสไปนัลจากระดับเปลือกสมอง ระดับก้านสมองแต่ละส่วน จนถึงระดับไขสันหลัง	279
รูปที่ 14.8	แผนภาพของวิธีประสาทคอร์ติโคบัลบาร์จากระดับเปลือกสมอง มายังกลุ่มเซลล์ประสาทสั่งการของเส้นประสาทสมองในก้านสมอง	280
รูปที่ 14.9	แผนภาพของวิธีประสาทสั่งการจากศูนย์การสั่งการในก้านสมอง โดยภาพซ้ายแสดงวิธีประสาทจากเรติคิวลาร์ฟอร์เมชัน และภาพขวาแสดงวิธีประสาทจากเรตินิวเคลียสและเวสติบิวลาร์นิวเคลียส	282
รูปที่ 15.1	แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างภายในเบซัลแกงเกลียที่เป็นส่วนหนึ่งของวงจรทางตรงและวงจรทางอ้อม สัญลักษณ์บวกและลบที่ปลายลูกศรหมายถึงซินแนปส์ชนิดกระตุ้นและยับยั้งตามลำดับ	291
รูปที่ 15.2	แผนภาพแสดงการเชื่อมต่อของโครงสร้างในเบซัลแกงเกลีย โดยเส้นใยประสาทในวงจรทางตรงแทนด้วยเส้นสีดำ เส้นใยประสาทในวงจรประสาททางอ้อมแทนด้วยเส้นสีเทา และเส้นใยประสาทไนโกรสโตรอาทาลแทนด้วยเส้นประ	293
รูปที่ 15.3	แผนภาพแสดงเส้นใยประสาทที่เชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างของสมองในระบบย่อยเวสติบิวโลเซรีเบลลัม	296
รูปที่ 15.4	แผนภาพแสดงเส้นใยประสาทที่เชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างของสมองภายในระบบย่อยสไปนเซรีเบลลัม เส้นทึบสีเทาแสดงการเชื่อมต่อจากไขสันหลังผ่านเซรีเบลลัมและไปยังศูนย์สั่งการในก้านสมอง เส้นประสีเทาแสดงการป้อนกลับไปยังเซรีเบลลัมผ่านอินฟีเรียร์โอลิวารีนิวเคลียส	298
รูปที่ 15.5	แผนภาพแสดงเส้นใยประสาทที่เชื่อมต่อระหว่างโครงสร้างของสมองในระบบย่อยเซรีโบรเซรีเบลลัม เส้นทึบสีเทาแสดงการเชื่อมต่อที่เป็นวงจรจากเปลือกสมองก้านสมองส่วนพอนส์ เซรีเบลลัมและธาลามัส เส้นประสีเทาแสดงการป้อนกลับไปยังเซรีเบลลัมผ่านอินฟีเรียร์โอลิวารีนิวเคลียส	299
รูปที่ 16.1	ภาพวาดโครงสร้างของหู ซึ่งแสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ภายใน โดยโครงสร้างของหูชั้นในเน้นด้วยสีเทาเข้ม	308
รูปที่ 16.2	ภาพวาดอวัยวะของหูชั้นใน ซึ่งประกอบด้วยสองชั้น ชั้นนอกเป็นโพรงภายในกระดูก ขณะที่ชั้นในมีลักษณะเป็นเยื่อบางที่บรรจุของเหลวเอนโดลิมฟ์ภายใน (แทนด้วยสีเทาอ่อน) และมีโครงสร้างที่รับรู้การทรงตัวอยู่ภายในซึ่งชี้แสดงด้วยบริเวณสีเทาเข้ม	308

รูปที่ 16.3	ภาพวาดเซลล์ขนที่ทำหน้าที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของการทรงตัว โดยภาพ (ก) คือเซลล์ขนชนิดที่ 1 และ (ข) คือเซลล์ขนชนิดที่ 2 เซลล์ขนทั้งสองชนิดมีพื้นผิวทางด้านบนที่ยื่นขึ้นไปเป็นไคโนซิเลียมและกลุ่มสเตรโอซิเลีย ขณะที่พื้นผิวด้านล่างมีปลายประสาทเข้ามาติดต่อ	310
รูปที่ 16.4	ภาพวาดโครงสร้างของอวัยวะโอโตลิธ ประกอบด้วยเยื่อบุผิวที่มีเซลล์ขนแทรกอยู่ในเซลล์ค้ำจุน คลุมด้วยสารวุ้นนอกเซลล์ที่มีผลึกโอโตโคเนียแทรก และพื้นผิวด้านบนของเซลล์ขนจะพบปลายของไคโนซิเลียมที่มีการวางตัวเข้าใกล้กับแนวสไตรโอลา	310
รูปที่ 16.5	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการส่งกระแสประสาทจากการเบนของไคโนซิเลียม โดยภาพ (ก) แทนตำแหน่งปกติ (ข) เมื่อไคโนซิเลียมเบนออกจากสเตรโอซิเลีย (ค) เมื่อไคโนซิเลียมเบนเข้าหาสเตรโอซิเลีย ชีตในแนวตั้งทางด้านล่างแทนจำนวนครั้งของการส่งกระแสประสาท	311
รูปที่ 16.6	ภาพวาดโครงสร้างของคริสตาแอมพูลลาริส ซึ่งประกอบด้วยแถวของเยื่อบุผิวที่มีเซลล์ขนแทรก คลุมด้วยคิวพูลาที่เป็นสารวุ้นนอกเซลล์ยื่นในแนวตั้งคล้ายระฆัง ซึ่งจะเอนเมื่อเอนโดลิมฟ์ไหลมากระทบ (แทนด้วยลูกศรและเส้นประ)	312
รูปที่ 16.7	แผนภาพแสดงวิถีประสาทของระบบการทรงตัว โดยเวสติบิวลาร์นิวเคลียสได้รับข้อมูลจากอวัยวะรับรู้การทรงตัวในหูชั้นใน แล้วส่งข้อมูลไปยังเซรีเบลลัม ไซสันหลัง กลุ่มเซลล์ประสาทของการเคลื่อนไหวลูกตา และเปลือกสมอง รวมทั้งไปยังยังการทำงานของเวสติบิวลาร์นิวเคลียสด้านตรงข้าม	314
รูปที่ 16.8	แผนภาพแสดงองค์ประกอบในรีเฟล็กซ์ชนิดเวสติบิวโลออกคิวลาร์ โดยเมื่อหมุนศีรษะไปทางขวา จะกระตุ้นการทำงานของคริสตาแอมพูลลาริสด้านขวา ให้ส่งสัญญาณเข้าไปที่เวสติบิวลาร์นิวเคลียสข้างขวา ซึ่งจะให้เส้นใยประสาทข้ามไปกระตุ้นแอบดิวเซชันนิวเคลียสด้านซ้าย และส่งต่อให้กับออกคิวโลมोเตอร์ นิวเคลียสข้างขวา ทั้งสองนิวเคลียสนี้จะทำให้ลูกตาทั้งสองข้างกลอกไปทางด้านซ้าย ในขณะเดียวกันวิถีประสาทที่มาจากคริสตาแอมพูลลาริสข้างซ้าย จะลดการทำงานลง (แทนด้วยเส้นประ)	316
รูปที่ 16.9	แผนภาพแสดงวิถีประสาทของการเคลื่อนไหวของลูกตาแบบชักคาคในแนวนอน ที่เริ่มต้นจากเปลือกสมองส่วนพรีมัลลอเรียฟิลล์ ส่งผ่านซูพีเรียร์คอลลิคิวลัส มายังศูนย์การเคลื่อนไหวของลูกตาในแนวนอนในก้านสมองส่วนพอนส์ ซึ่งจะสั่งการทำงานของกลุ่มเซลล์ประสาทที่ไปควบคุมการเคลื่อนไหวของลูกตา	318

รูปที่ 16.10	แผนภาพแสดงวิถีประสาทของการเคลื่อนไหวของลูกตาแบบมองตาม ซึ่งส่งมาจากเปลือกสมองส่วนพาริทัอลายฟีลด์และมีเดียลซุพีเรียร์เทมโพรัล แล้วส่งไปยังเซรีเบลลัมผ่านทางพอนทีนิวเคลียส ซึ่งจะนำคำสั่งไปยังเวสติบิวลาร์นิวเคลียสและศูนย์การเคลื่อนไหวของลูกตาทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง	319
รูปที่ 16.11	แผนภาพแสดงการกระตุกสายของลูกตาแบบออฟโตโคเนตริกที่ประกอบด้วย การมองตามไปทางซ้าย (ก) แล้วกระตุกกลับมาทางขวา (ข) แผนภูมิทางด้านล่าง แทนการเคลื่อนไหวของตาในทั้งช่วงมองตามและกระตุกกลับ	320
รูปที่ 17.1	ภาพวาดแสดงลักษณะและตำแหน่งของปลายประสาทชนิดต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่ รับสัมผัสที่ผิวหนัง	327
รูปที่ 17.2	ภาพวาดแสดงตำแหน่งและลักษณะของตัวรับรู้ความรู้สึกด้านอากัปกริยา ในกล้ามเนื้อ คือ มัสเซลสปินเดิล และอวัยวะเอ็นกอลจิ	328
รูปที่ 17.3	แผนภาพของวิถีประสาทโพสทีเรียร์คอลัมน์-มีเดียลเลมินิสคัสที่นำความรู้สึก สัมผัสและอากัปกริยาจากร่างกายไปยังเปลือกสมองส่วนสัมผัสทางกายปฐมภูมิ	329
รูปที่ 17.4	แผนภาพของวิถีประสาทของเส้นประสาทไตรเจมินัลที่นำความรู้สึกสัมผัสและ ความรู้สึกเจ็บปวดจากใบหน้าไปยังเปลือกสมองส่วนสัมผัสทางกายปฐมภูมิ	330
รูปที่ 17.5	แผนภาพของบริเวณคอร์ซัลฮอร์นของไขสันหลัง แสดงการเชื่อมต่อของเส้นใย ประสาทรับความรู้สึกเจ็บปวดทั้งแบบเอเดลตา (เส้นสีดำ) และแบบซี (เส้นสีเทา) กับกลุ่มเซลล์ประสาทในลามินาที่ 1 ถึง 4 ของคอร์ซัลฮอร์น บริเวณสีเทา ที่ปลายของคอร์ซัลฮอร์นคือบริเวณที่พบวิถีประสาทของลิซซาวเออร์ ซึ่งมี แขนงของเส้นใยประสาททั้งแบบเอเดลตาและแบบซีที่ทอดขึ้นลงไขสันหลัง	334
รูปที่ 17.6	แผนภาพของวิถีประสาทในระบบแอนเทอโรแลทเทอรัลที่นำความรู้สึกเจ็บปวด จากร่างกายขึ้นไปยังเปลือกสมอง ซึ่งมีแขนงประสาทที่ส่งให้กับเซลล์ประสาท ในเรติคิวลาร์ฟอร์เมชันและเพอริอะควิดักทิลเกรย์ในก้านสมอง	336
รูปที่ 17.7	แผนภาพของระบบการปรับแต่งการรับรู้ความรู้สึกเจ็บปวด โดยเพอริอะควิดัก ทิลเกรย์สร้างเอนเคฟาลิน (ENK) มากระตุ้นเซลล์ประสาทในโลคัสซีริลีส และราเฟนิวเคลียสให้สร้างนอร์เอพิเนฟริน (NE) และซีโรโทนิน (5-HT) กระตุ้นการทำงานของเซลล์ประสาทตัวกลางชนิดยับยั้งภายในซัสแดนเทียม เกลาติโนซาในคอร์ซัลฮอร์นของไขสันหลัง	337
รูปที่ 17.8	แผนภาพของการยับยั้งการส่งความรู้สึกเจ็บปวดโดยการกระตุ้นของเส้นใย ประสาทชนิดเอเบตาไปยังเซลล์ประสาทตัวกลางชนิดยับยั้งในทฤษฎี การควบคุมประตูของความเจ็บปวด	338

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1	38
การ จัดจำแนกชนิดและเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอกริกอนแต่ละชนิด ในเส้นประสาทส่วนปลายตามการจำแนกโดยแอร์แลงเกอร์-แกสเซอร์	
ตารางที่ 5.1	77
ซิสเทิร์นใต้ชั้นอะแร็กนอยด์และโครงสร้างสำคัญในแต่ละซิสเทิร์น	
ตารางที่ 5.2	78
เปรียบเทียบความเข้มข้นของสารละลายระหว่างน้ำเลือดกับน้ำเลี้ยงสมอง ไขสันหลังในผู้ใหญ่ปกติ โดยมีหน่วยเป็นมิลลิสมมูลต่อกิโลกรัม (ยกเว้น ที่มีระบุไว้ข้างท้าย)	
ตารางที่ 6.1	89
แขนงของหลอดเลือดแดงมิดเดิลเซรีบรัล และบริเวณของเปลือกสมองที่ นำเลือดไปเลี้ยง	
ตารางที่ 7.1	124
การแบ่งชนิดของบริเวณต่าง ๆ บนเปลือกสมอง และตำแหน่งบนเซรีบรัม ที่สัมพันธ์กัน	
ตารางที่ 7.2	128
การแบ่งบริเวณบนเปลือกสมองตามการจำแนกของโบรตมานน์ และแสดง ตำแหน่งบนเปลือกสมองและหน้าที่การทำงานในแต่ละพื้นที่	
ตารางที่ 12.1	226
แสดงชื่อกล้ามเนื้อรอบลูกตา รวมทั้งการเคลื่อนไหวและเส้นประสาทสมอง ที่ควบคุมกล้ามเนื้อแต่ละมัด	
ตารางที่ 12.2	229
สรุปองค์ประกอบเชิงหน้าที่ ตำแหน่งของเซลล์ประสาทและการทำงาน ของเส้นประสาทสมองของการเคลื่อนไหวลูกตา	
ตารางที่ 12.3	234
สรุปองค์ประกอบเชิงหน้าที่ ตำแหน่งของเซลล์ประสาทและการทำงาน ของเส้นประสาทสมองที่เกี่ยวข้องกับใบหน้าและขากรรไกร	
ตารางที่ 12.4	239
สรุปองค์ประกอบเชิงหน้าที่ ตำแหน่งของเซลล์ประสาทและการทำงาน ของเส้นประสาทสมองที่เกี่ยวข้องกับอวัยวะในช่องปาก ลำคอ และอวัยวะ ภายใน	
ตารางที่ 13.1	250
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับของไขสันหลังและระดับของกระดูกสันหลัง	
ตารางที่ 13.2	254
ระดับของเส้นประสาทไขสันหลัง กับเดอร์มาโตมและไมโอโตมที่สัมพันธ์	
ตารางที่ 13.3	258
ชื่อและหน้าที่ของเซลล์ประสาทในแต่ละชั้นของเรเซตลามินี	
ตารางที่ 13.4	262
วิธีประสาทในเนื้อสีขาวของไขสันหลัง และสรุปตำแหน่งของเซลล์ประสาท และเป้าหมายของแต่ละวิธีประสาท	

	หน้า
ตารางที่ 15.1	องค์ประกอบของวงจรประสาทของเบซัลแกงเกลียในการสั่งการ เทียบกับ วงจรในการเคลื่อนไหวลูกตา ในเปลือกสมองส่วนพรีพรอนทัลและ ในระบบลิมบิก
ตารางที่ 15.2	สรุปองค์ประกอบและหน้าที่ของระบบย่อยของเซรีเบลลัม
ตารางที่ 18.1	แสดงความหมายของระดับกำลัง (grade) ของกล้ามเนื้อ
ตารางที่ 18.2	แสดงความหมายของระดับ (grade) ของรีเฟล็กซ์ของเส้นเอ็น
ตารางที่ 18.3	เปรียบเทียบอาการทางคลินิกระหว่างพยาธิสภาพที่เกิดขึ้นในเซลล์ประสาท สั่งการระดับบน และเซลล์ประสาทสั่งการระดับล่าง

บทที่ 1

สมอง จิตใจ และพฤติกรรม

(Brain, mind, and behaviors)

รองศาสตราจารย์ ดร. นพ.วรสสิทธิ์ ศิริพสุพานิชย์

สมอง จิตใจ และพฤติกรรม (Brain, mind, and behaviors)

ประสาทวิทยาศาสตร์ (neuroscience) หมายถึง วิทยาศาสตร์ของระบบประสาท โดยระบบประสาท (nervous system) จะครอบคลุมถึง สมอง (brain) ไขสันหลัง (spinal cord) และเส้นประสาท (nerves) ดังนั้นการศึกษาด้านประสาทวิทยาศาสตร์ จึงเป็นการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของสมอง ไขสันหลัง และเส้นประสาท ทั้งในส่วนของวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (basic sciences) และวิทยาศาสตร์การแพทย์ (medical sciences) ดังนั้น ประสาทวิทยาศาสตร์จึงมีลักษณะเป็นสหสาขาวิชา (interdisciplinary fields)

โดยทั่วไป ประสาทวิทยาศาสตร์มักจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ประสาทวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (basic neuroscience) และประสาทวิทยาศาสตร์ทางคลินิก (clinical neuroscience) ประสาทวิทยาศาสตร์พื้นฐานจะเน้นที่การศึกษาระบบประสาทโดยอาศัยความรู้จากการวิจัยทางวิทยาศาสตร์พื้นฐานทางการแพทย์ ได้แก่ ประสาทกายวิภาค (neuroanatomy) ประสาทสรีรวิทยา (neurophysiology) ประสาทวิทยาศาสตร์พัฒนาการ (developmental neuroscience) และประสาทเคมี (neurochemistry) ในขณะที่ประสาทวิทยาศาสตร์ทางคลินิก จะหมายถึง การศึกษาระบบประสาทในสภาวะผิดปกติ และนำไปสู่แนวทางการวินิจฉัยโรคและการรักษา ได้แก่ ประสาทวิทยา (neurology) ประสาทศัลยศาสตร์ (neurosurgery) กุมารประสาทวิทยา (pediatric neurology) จักษุประสาทวิทยา (neuro-ophthalmology) ประสาทจิตเวชศาสตร์ (neuropsychiatry) รวมไปถึงวิชาที่คาบเกี่ยวระหว่างประสาทวิทยาศาสตร์พื้นฐาน และประสาทวิทยาศาสตร์ทางคลินิก เช่น ประสาทพยาธิวิทยา (neuropathology) และประสาทเภสัชวิทยา (neuropharmacology) ด้วย

ในปัจจุบัน องค์ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ได้มีการพัฒนาเป็นอย่างมากจากเทคโนโลยีการวิจัยทั้งในระดับเซลล์ ระดับสัตว์ทดลอง และในมนุษย์ที่มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น รวมถึงมีการนำองค์ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ไปบูรณาการกับศาสตร์อื่น ๆ เช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ และวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาองค์ความรู้ด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ (biomedical engineering) อันจะนำไปสู่การผลิตและพัฒนาเครื่องมือแพทย์ในการดูแลผู้ป่วยทางระบบประสาทให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบประสาท และพฤติกรรม

พฤติกรรมในแต่ละวันของมนุษย์นั้นเกิดจากการทำงานของระบบประสาท ตั้งแต่การรับรู้ถึงสิ่งกระตุ้นในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นการมองเห็น การได้ยินเสียง การได้กลิ่น การได้รับสัมผัส การรับรส และการทรงตัว รวมไปถึงการตอบสนองของสมอง ซึ่งประกอบไปด้วย การแปลผล การเปรียบเทียบสิ่งกระตุ้น การประมวลผล และการวางแผน ซึ่งจะนำไปสู่การทำงานของระบบประสาทสั่งการ (motor system) ที่ทำให้เกิดการตอบสนองโดยการเคลื่อนไหวร่างกาย ไม่ว่าจะเป็น การหยิบของ การวิ่งหนี การเตรียมพร้อมต่อสู้ การพูด การตะโกน หรือการแสดงท่าทีขอความช่วยเหลือ อันเป็นพฤติกรรมที่แสดงออกมาให้เห็นโดยตรง นอกจากนี้

แม้จะไม่มี การเคลื่อนไหวของร่างกายชัดเจน แต่การปล่อยจิตให้ล่องลอย คิดเรื่องต่าง ๆ ไปเรื่อย ๆ หรือที่มักจะเรียกกันว่า การฝันกลางวัน (daydreaming) ก็เป็นการทำงานของสมองในรูปแบบหนึ่ง ในทางตรงกันข้าม การทำสมาธิ (meditation) หรือการฝึกสติ (mindfulness) ซึ่งหมายถึงการระลึกถึงสิ่งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ก็ต้องอาศัยการทำงานของสมองด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการทำงานของระบบประสาทและพฤติกรรม คือ พฤติกรรมการเสพติด (addictive behaviors) ซึ่งเป็นความรู้สึกพึงพอใจจากการเสพติด เป็นผลมาจากการที่สารเสพติดไปกระตุ้นระบบให้รางวัล (reward system) ของสมอง ทำให้บุคคลนั้นมีความรู้สึกพึงพอใจอย่างมากจากการใช้สารเสพติด แสดงให้เห็นว่า ความรู้สึกพึงพอใจของผู้ใช้สารเสพติดเป็นผลจากการทำงานของสมอง เพียงแต่การใช้สารเสพติดจะทำให้เกิดการกระตุ้นระบบให้รางวัลของสมองมากเกินไปจนเกินกว่าระดับปกติ ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดความคิดในการทำงานของสมองตามมา ในขณะเดียวกัน ประสบการณ์ความพึงพอใจที่เกิดขึ้นจากการใช้สารเสพติด ก็จะทำให้บุคคลนั้นพยายามกลับไปใช้สารเสพติดอีก ทำให้เกิดพฤติกรรมการเสพติด ที่บุคคลผู้เสพสารเสพติดจะทำพฤติกรรมต่าง ๆ เพื่อจะกลับไปใช้สารเสพติดนั้นอีก

เมื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมของมนุษย์แล้ว มักจะพบว่าพฤติกรรมของมนุษย์นั้นจะมีความซับซ้อนและแตกต่างจากพฤติกรรมของสัตว์อย่างมาก เพราะการตอบสนองโดยการแสดงพฤติกรรมของมนุษย์นั้นจะไม่ได้ขึ้นกับสิ่งกระตุ้นภายนอกเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นกับกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในสมอง ไม่ว่าจะเป็น ความทรงจำ ประสบการณ์ในอดีต ความคาดหวัง พันธะอารมณ์ ความยับยั้งชั่งใจ มโนธรรม รวมไปถึงกาลเทศะ เช่น เมื่อคนเมาสุรา เดินเข้ามาหาเรื่อง การตอบสนองของบุคคลนั้นอาจจะไม่ได้ตั้งแต่ การทะเลาะวิวาท การด่าว่า การเดินหนี การเรียกให้ผู้อื่นมาช่วย หรือการโทรศัพท์แจ้งตำรวจ เป็นต้น ซึ่งการตอบสนองที่แตกต่างกันเกิดจากกระบวนการทางสมองและสถานการณ์ที่ต่างกัน หรือยกตัวอย่างอีกกรณีหนึ่ง เมื่อคนรักเดินทางไปถึงสถานที่รับประทานอาหารเย็นค่ำเพราะลืมนัด พฤติกรรมของผู้ที่ต้องรออาจจะไม่ได้ตั้งแต่ การแสดงอารมณ์โกรธอย่างรุนแรง แสดงอาการงอน เดินหนีไป พุดจาประชดประชัน ไปจนถึงการพุดคุ้ยสอบถามถึงสาเหตุ การยอมรับความผิดพลาดของบุคคลอื่น และการควบคุมอารมณ์ ซึ่งพฤติกรรมที่แสดงออกมาจะเป็นรูปแบบใด ก็ขึ้นกับกระบวนการทางสมองต่าง ๆ โดยเฉพาะในส่วนของความยับยั้งชั่งใจ และประสบการณ์เก่า ร่วมกับสภาพแวดล้อม เช่น ถ้าเป็นสถานที่ที่ต้องการความสงบ ก็อาจไม่สามารถแสดงพฤติกรรมที่รุนแรงมากออกมาได้ เป็นต้น

ดังนั้น การแสดงพฤติกรรมของมนุษย์จึงเป็นเรื่องที่คาดเดาได้ยาก ต่างจากสัตว์ที่การตอบสนองจะเกิดขึ้นอย่างตรงไปตรงมา อย่างไรก็ดี ในบางสภาวะ การตอบสนองของมนุษย์ก็ไม่ได้แตกต่างจากสัตว์ โดยเฉพาะในกรณีที่กำลังเผชิญหน้ากับเหตุการณ์อันตรายที่อาจทำให้ถึงแก่ชีวิตได้ มักจะทำให้เกิดพฤติกรรมไม่ยับยั้ง (freezing behavior) เช่น เมื่อสัตว์กินพืชมองเห็นสัตว์กินเนื้อกำลังจ้องมองและมีท่าทีมุ่งหน้าจะเข้ามากินตัวเองเป็นอาหาร บ่อยครั้งที่สัตว์กินพืชเหล่านี้จะหวาดกลัวเป็นอย่างมาก จนยืนนิ่ง ไม่มีการขยับหรือวิ่งหนี ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมของคนยามต้องเผชิญกับเหตุการณ์ที่รุนแรงและคุกคามต่อความปลอดภัย บ่อยครั้งที่จะไม่มีการขยับตัวใด ๆ เช่นกัน โดยการศึกษาทางประสาทวิทยาศาสตร์ได้แสดงให้เห็นความคล้ายกันอย่างมากของวิถีประสาทที่ส่งจากสมองไปยังระบบประสาทสั่งการที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมไม่ยับยั้งที่พบในสัตว์ทดลองและมนุษย์ สิ่งนี้เป็นตัวอย่างหนึ่งที่แสดงว่าการแสดงออกของพฤติกรรมบางชนิดในมนุษย์ไม่แตกต่างจากสัตว์ เพียงแต่การตอบสนองของมนุษย์ที่ดูแล้วซับซ้อน เป็นสิ่งที่เกิดขึ้นจากการทำงานของสมองในส่วนของการแสดงอารมณ์ การควบคุมตัวเอง และประสบการณ์ ร่วมกับบริบททางสังคม แต่เมื่อตกอยู่

ในสถานการณ์ที่ซับซ้อนที่อาจจะถึงแก่ชีวิตแล้ว การแสดงพฤติกรรมของมนุษย์และสัตว์ก็คล้ายกันมาก เพราะเกิดจากการทำงานของสมองและวงจรประสาทแบบเดียวกันนั่นเอง

ในปัจจุบันมีการค้นคว้าวิจัยพฤติกรรมของมนุษย์กันอย่างกว้างขวาง เพราะความเข้าใจถึงพฤติกรรมของมนุษย์ นอกจากจะทำให้ทราบถึงกลไกทางสมองที่เกี่ยวข้องแล้ว ยังมีส่วนช่วยในการสร้างหรือผลิตสินค้าและบริการ ให้ตรงกับความต้องการของมนุษย์ได้มากขึ้น เช่น การศึกษาพฤติกรรมการตัดสินใจ (decision making behavior) ในการเลือกซื้อสินค้าของผู้บริโภค ว่ามีปัจจัยใดบ้างที่จัดเป็นปัจจัยหลัก เพื่อที่ผู้ผลิตจะได้วางแผนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ให้ตรงใจของลูกค้าให้มากที่สุด การวิจัยพฤติกรรมมนุษย์จึงเป็นศาสตร์ที่มีการบูรณาการองค์ความรู้ข้ามสาขาวิชา ทั้งประสาทวิทยาศาสตร์ จิตวิทยา (psychology) การตลาด (marketing) และ เศรษฐศาสตร์ (economics) นอกจากนี้ การเข้าใจพฤติกรรมมนุษย์ยังมีส่วนในการป้องกันการเกิดพฤติกรรมที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การเข้าใจถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทดลองสูบบุหรี่และดื่มสุราของวัยรุ่นเพื่อที่จะได้มีองค์ความรู้ในการที่จะไปป้องกันไม่ให้เกิดนักสูบและนักดื่มหน้าใหม่ เป็นต้น

1.2 ประสาทวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน

ในแต่ละวัน สมองและระบบประสาทถือว่ามีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากต่อการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็น การควบคุมการหลับและการตื่น ความรู้สึกหิว ความรู้สึกกระหาย ความรู้สึกอึด การวางแผน การตัดสินใจ การลงมือทำ สมาธิ ความยับยั้งชั่งใจ การแก้ไขปัญหา อารมณ์ดี อารมณ์เศร้า อารมณ์โกรธ ความรู้สึกผิด ความรัก ความผูกพัน ความต้องการทางเพศ ความเข้าใจบุคคลอื่น ความอดทน ความง่วง และการกลับสู่การนอนอีกครั้ง กิจกรรมเหล่านี้ล้วนถูกกำหนดมาจากสมองและระบบประสาททั้งสิ้น และเมื่อสมองและระบบประสาทในส่วนอื่น ๆ สูญเสียหน้าที่การทำงานตามปกติไป ก็จะทำให้เกิดอาการแสดงต่าง ๆ ขึ้นมา ไม่ว่าจะเป็น อาการอ่อนแรง อาการชัก อาการปวดศีรษะ บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลง ความจำเสื่อม หรืออาการทางจิต ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ระบบประสาทมีส่วนสำคัญต่อการใช้ชีวิตของมนุษย์เราเป็นอย่างมาก การเรียนรู้ด้านประสาทวิทยาศาสตร์จึงเป็นสิ่งสำคัญในความเข้าใจถึงกลไกของสมองและระบบประสาทต่อพฤติกรรมของมนุษย์ในหนึ่งวัน และยังช่วยทำให้เข้าใจถึงสาเหตุของอาการต่าง ๆ ที่พบในโรคทางระบบประสาทและโรคทางจิตเวชด้วย

อย่างไรก็ดี สิ่งสำคัญที่สุด ไม่ใช่เพียงแค่การทราบถึงบทบาทของประสาทวิทยาศาสตร์ในชีวิตประจำวัน แต่เป็นการนำองค์ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของตนเองและครอบครัว ไม่ว่าจะเป็นความเข้าใจเรื่องการสร้างความจำระยะยาว (long-term memory formation) ที่จะเกิดขึ้นเป็นส่วนใหญ่ในช่วงของการนอนหลับในเวลากลางคืน จึงควรให้เด็กวัยเรียนเข้านอนตามเวลาเพื่อให้กระบวนการสร้างความจำระยะยาวเกิดขึ้นได้ดี และช่วยส่งเสริมศักยภาพในการเรียนรู้ หรือความเข้าใจเรื่องปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคสมองเสื่อมชนิดอัลไซเมอร์ (Alzheimer's disease) และได้นำไปใช้ในการปฏิบัติตนอย่างเคร่งครัด จะเป็นสิ่งสำคัญในการลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคนี้

สรุป

ประสาทวิทยาศาสตร์เป็นการศึกษาสมองและระบบประสาทในทุกด้าน ทั้งในส่วนของวิทยาศาสตร์พื้นฐานและทางคลินิก รวมไปถึงการนำองค์ความรู้ด้านประสาทวิทยาศาสตร์ไปบูรณาการร่วมกับศาสตร์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็น คอมพิวเตอร์ วิศวกรรมศาสตร์ การแพทย์ การตลาด เศรษฐศาสตร์ หรือจิตวิทยา เพื่อขยาย

ขอบเขตขององค์ความรู้ทางสมองให้มากยิ่งขึ้นและนำไปสู่การประยุกต์ใช้ได้จริง นอกจากนี้ ความรู้ด้านประสาทวิทยาศาสตร์ยังแสดงให้เห็นถึงความเชื่อมโยงของระบบประสาท จิตใจและพฤติกรรม โดยเฉพาะบทบาทของสมองต่อพฤติกรรมในหนึ่งวันของมนุษย์ อันจะนำไปสู่การนำองค์ความรู้ทางประสาทวิทยาศาสตร์ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในชีวิตจริง