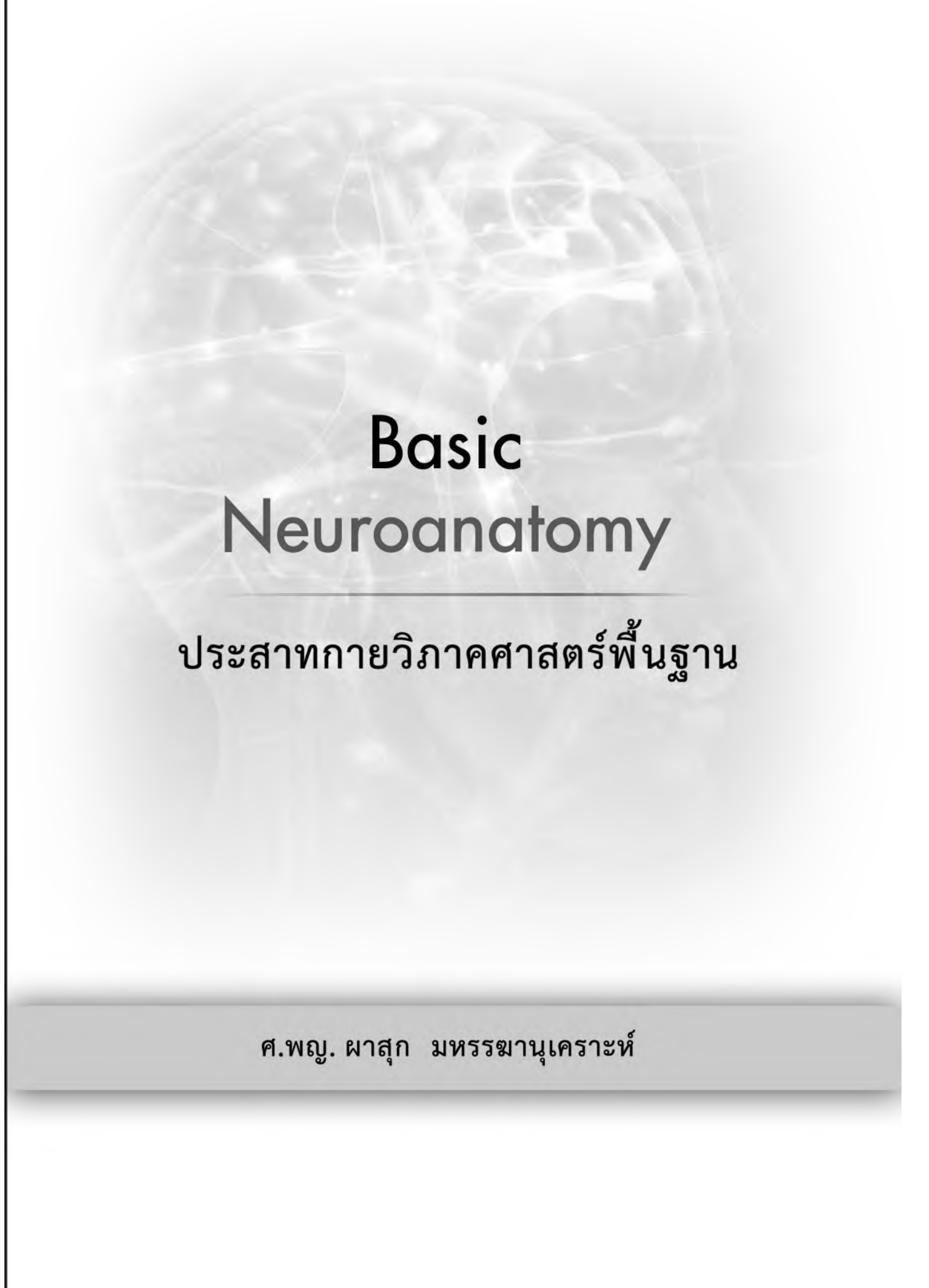


Basic Neuroanatomy

ประสาทกายวิภาคศาสตร์พื้นฐาน



ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์



Basic Neuroanatomy

ประสาทกายวิภาคศาสตร์พื้นฐาน

ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์

ประสาทกายวิภาคศาสตร์พื้นฐาน

Basic neuroanatomy

บรรณาธิการ ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์
พิมพ์ครั้งที่ 4
ปีที่พิมพ์ 2557
จำนวน 2,000 เล่ม
สงวนลิขสิทธิ์ ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์
ราคา 500 บาท

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์.

ประสาทกายวิภาคศาสตร์พื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 3 : ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์, 2556.
528.

1. I. รุจิรา คำศรีจันทร์, พฤษชาติ สิงห์สุวรรณ, พงษ์ศักดิ์ ชันธุ์เพชร, สิทธิพร เรืองดิษฐ์,
ศิริ ยอดนิล, ผู้วาดภาพประกอบ. II. ชื่อเรื่อง.

ISBN 978-616-335-105-0

พิมพ์ที่ บริษัท สยามพิมพ์นานาชาติ จำกัด
108 ซ.พงษ์สุวรรณ (ซ.7) ต.ศรีภูมิ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200
โทร. 053-216962 E-mail : pimnana2u@gmail.com

เจ้าของ ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์
โทรศัพท์ 08-18859172
E-mail : pmahanka@mail.med.cmu.ac.th, pasuk034@gmail.com

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย

ห้ามลอกเลียนแบบ พิมพ์ซ้ำ สำเนาข้อความส่วนใดส่วนหนึ่งโดยไม่ได้รับอนุญาต
เป็นลายลักษณ์อักษรจาก ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์

ขอขอบพระคุณ

นายประสงค์-นางพวงผกา บุญซื่อ (บิดา-มารดา) ผู้ให้โอกาสทางการศึกษา
และให้กำลังใจเสมอมา

รศ.นพ.ดร.เตชะทัต เตชะเสน

ผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้
ตลอดจนสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

รศ.นพ.ชนินทร์ มหรรฆานุเคราะห์

ผู้ตรวจสอบต้นฉบับและให้กำลังใจ
ในทุกด้านด้วยดีมาตลอด

นางสาวพฤษชาติ สิงห์สุวรรณ

ผู้ตรวจความถูกต้องของภาษา
ด้วยความตั้งใจอย่างดี

คำนำ

ประสาททกยวภาคศาสตร์เป็นสาขาวิชาที่ยากแก่ความเข้าใจ เนื่องจากเนื้อหาส่วนใหญ่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จำเป็นอย่างยิ่งต้องอาศัยความเข้าใจเป็นหลัก ยากยิ่งไปกว่านั้น คือ การนำเอาความรู้สาขาวิชานี้ไปใช้ในทางคลินิก หนังสือเล่มนี้ จึงได้รับการเขียนขึ้นด้วยความตระหนักในความเป็นจริงข้างต้นนี้โดยมุ่งหวังให้นักศึกษาได้ใช้เป็นคู่มือในการเรียนสาขาวิชาประสาททกยวภาคศาสตร์เพื่อเป็นการปูพื้นความรู้ความเข้าใจซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมโยงเอาไปใช้กับผู้ป่วยในชั้นคลินิกต่อไปได้

ความหลากหลายของเนื้อหาสาขาวิชา ทำให้ยากที่จะเขียนให้ครอบคลุมทุกเรื่อง ให้ละเอียดได้ แนวทางในการเขียนจึงมุ่งเน้นเนื้อหาที่ทำให้เกิดแนวความคิด ความเข้าใจ และได้สอดแทรกความรู้ทางคลินิก โดยอาศัยประสบการณ์ความเป็นแพทย์เฉพาะทางเวชศาสตร์ฟื้นฟูของผู้เขียน ย่อยและเรียบเรียงให้อ่านเข้าใจง่ายไม่ละเอียดเกินไป แต่พยายามรวมจุดที่น่าสนใจที่สามารถนำไปใช้ได้จริง ๆ เพื่อกระตุ้นให้เกิดความสนใจ จึงหวังว่าหนังสือเล่มนี้จะมีประโยชน์ต่อนักศึกษาพอสมควร

คำเฉพาะทางคลินิกและคำศัพท์ที่ใช้ในหนังสือเล่มนี้ได้เขียนเป็นภาษาอังกฤษหรือใช้เป็นคำเทียบศัพท์เพื่อให้นักศึกษาสามารถจำเพื่อสามารถสื่อสารกับผู้ร่วมวิชาชีพเดียวกัน และนำไปใช้ทางคลินิกได้เลย แต่กระนั้นก็ไม่ละเลยภาษาไทยโดยมีการแปลคำศัพท์ดังกล่าวให้เป็นภาษาไทยให้ด้วยเพื่อให้สามารถสื่อสารและอธิบายให้กับผู้ป่วยได้ดี โดยการแปลดังกล่าวอ้างอิงมาจากพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2525 และพจนานุกรมศัพท์แพทย์ พ.ศ. 2532 ฉะนั้นหากมีข้อผิดพลาดหรือข้อทักท้วงประการใด ผู้เขียนขอน้อมรับ โดยด้วยความเต็มใจที่จะได้นำไปใช้ในการแก้ไขให้ถูกต้องในโอกาสต่อไป

ศ.พญ. ผาสุก มหรรฆานุเคราะห์

สารบัญ

บทที่ 1	Introduction to Nervous System	1
	โครงสร้างของระบบประสาทของมนุษย์	3
	เซลล์ประสาท (Neuron)	6
	Organization ของเซลล์ประสาท	9
	การจำแนกชนิดของเซลล์ประสาท	10
	Formation of myelinated nerve fiber	11
	Synapse	14
	เส้นประสาท (Nerve)	16
	Nerve endings	17
	Nervous system support and protection	20
	Meninges	22
	Meningeal Space	24
บทที่ 2	Spinal Cord	29
	ลักษณะภายนอกของไขสันหลัง	30
	ส่วนขยายใหญ่ของไขสันหลัง	32
	ร่องของไขสันหลัง	32
	การเจริญเติบโตของไขสันหลัง	33
	โครงสร้างของ spinal nerve	35
	Spinal meninges	38
	Spinal meningeal spaces	40
	ลักษณะภายในของไขสันหลัง	41
	โครงสร้างภายในไขสันหลัง	43
	Nuclei or cell columns	45
	Laminae	46
	ลักษณะความแตกต่างของไขสันหลังแต่ละระดับ	47
	การประยุกต์ใช้ทางคลินิก (Clinical application)	51

บทที่ 3	Brainstem	57
	Brainstem anatomy	59
	Brainstems topography	61
	Reticular formation ภายในก้านสมอง	65
	Brainstem functional levels	66
	เทคนิคการแยก brainstem section อย่างง่าย	75
บทที่ 4	Forebrain	81
	ศัพท์เฉพาะใน forebrain	82
	Diencephalon	84
	Cerebral hemisphere	88
	Forebrain functional levels	92
บทที่ 5	Lower Motor Neuron : Flaccid Paralysis	97
	Muscle Receptors	99
	Motor Unit	100
	Reflex activity ของ spinal motor neuron	102
	Lower motor neuron	104
	Lower motor neuron ในก้านสมอง	105
	Lower motor neuron ในไขสันหลัง	113
	Lower motor neuron syndrome	115
บทที่ 6	Pyramidal System : Spastic Paralysis	119
	Pyramidal (corticospinal) tract	120
	Corticobulbar or corticonuclear tract	124
	Upper motor neuron syndrome (UMNS)	127
	Capsule stroke	128
	Spinal cord lesion	131
	Combined lesion ของ upper และ lower motor neuron	132
บทที่ 7	Brainstem Motor Center	135
	Brainstem supraspinal centers และ pathway	136
	Decerebrate และ Decorticate Posturing	142
	การฟื้นตัวของ Postcapsular lesion	144
	Clinical implications of spinal motor organization	146

บทที่ 8	Basal Ganglia : Movement Disorder	149
	Corpus striatum	151
	Subthalamic nucleus	154
	Interconnection of Basal ganglia	155
	ลักษณะผู้ป่วยที่มีพยาธิสภาพของ Basal ganglia	158
	Parkinson disease	160
	Huntington disease	162
	พยาธิสภาพของ Subthalamic nucleus	162
	Tardive dyskinesia	163
	Cerebral palsy	163
	Functional considerations	163
บทที่ 9	Cerebellum	173
	การแบ่งย่อยทางกายวิภาคศาสตร์ (Anatomical subdivisions)	174
	Cerebellar peduncles	176
	Cerebellar cortex	178
	Cerebellar nuclei	180
	Posterior lobes of cerebellum	181
	Anterior lobe of cerebellum	184
	Flocculonodular lobe of cerebellum	186
บทที่ 10	Vestibular System and Ocular Movements	191
	Vestibular System	192
	ความสัมพันธ์ทางคลินิก	196
	Ocular movements	197
	Vestibulo-Ocular Reflex	200
	Nystagmus	203
	Voluntary eye movement	203
	Voluntary eye movement center	204
	Superior colliculus	208

บทที่ 11	Somatosensory System	211
	General Sense	212
	Peripheral Components	215
	Spinal Tactile, Vibration and Proprioception Pathway	219
	Spinal Pain and Temperature Pathway	223
	การเปรียบเทียบระหว่าง Spinal Tactile, Vibration and Proprioception pathway และ spinal pain and temperature pathway	
	ความสำคัญของ sensory pathway ภายในไขสันหลังในทางคลินิก	229
	ความรู้สึกรั่วไหลจากศีรษะ	230
	การประยุกต์ cranial sensory pathway ในทางคลินิก	237
	Central connection of slow pain	239
	Pain Modulation	241
	Substantia gelatinosa	243
บทที่ 12	Visual System	247
	Retina	248
	Visual pathway	252
	Visual field	255
	Visual reflex	257
บทที่ 13	Auditory System	265
	หู (Ear)	266
	Auditory pathway	270
	Bilateralism ของ auditory pathway	272
	Auditory Modulation	274
บทที่ 14	Gustatory & Olfactory System	277
	Gustatory receptor	278
	Gustatory pathway	279
	Olfactory receptor	281
	Olfactory pathway	281
บทที่ 15	Cerebral Cortex	289
	Subdivisions of the cerebral cortex	290
	Histological feature	291
	Functional histology	292
	Cortical connection	294

	หลักการแบ่ง Sulci และ Gyri ภายใน cerebral hemisphere	298
	Functional area	303
	Hemispheric lateralization of function	310
	Language area	311
บทที่ 16	Limbic System	315
	Limbic Lobe	316
	Hippocampal formation	322
	Amygdaloid nucleus	331
บทที่ 17	Hypothalamus	337
	การแบ่ง hypothalamus	340
	Nuclei ภายใน hypothalamus	341
	การติดต่อภายใน hypothalamus	343
	หน้าที่ของ hypothalamus	347
	Hypothalamic syndrome	348
บทที่ 18	Autonomic Nervous System	353
	หลักการพื้นฐานของระบบประสาทอัตโนมัติ	354
	การแบ่งระบบประสาทอัตโนมัติในแง่กายวิภาคศาสตร์	355
	การแบ่งระบบประสาทอัตโนมัติในแง่หน้าที่	357
	หน้าที่ทั่วไปของ autonomic efferent	363
	Brainstem central connections	367
	Spinal central connection	367
	การควบคุมระบบประสาทอัตโนมัติจากสมอง	368
	Visceral sensation	368
	Referred pain	369
	Autonomic control center	371
บทที่ 19	Blood Supply of Central Nervous System	383
	Blood Brain Barrier	386
	Carotid System	387
	Posterior or vertebrobasilar system	393
	Cerebral arteries circle of Willis	395
	Spinal Cord Vasculature	398
	ระบบหลอดเลือดดำของสมองและไขสันหลัง	400

บทที่ 20	Ventricular System	403
	Subarachnoid Space และ Cisterns	407
	Choroid Plexus	409
	Cerebrospinal Fluid Circulation	410
	Cerebrospinal Fluid	411
	Hydrocephalus	411
	Intracranial Pressure	412
บทที่ 21	Development of Nervous System	415
	Development of Central Nervous System	419
	ไขสันหลัง (Spinal Cord)	419
	สมอง (Brain)	430
	Development of Peripheral Nervous System	451
	Spinal nerve	452
	Cranial nerve	453
	ระบบประสาทอัตโนมัติ	459
บทที่ 22	Reticular Formation : Modulation and Activation	463
	หน้าที่	466
	ความเกี่ยวข้องทางคลินิก	470
บทที่ 23	Aging of the Nervous System : Dementia	473
	Recovery of Function of Nervous System : Plasticity and Regeneration	
	ชนิดของโรคสมองเสื่อมที่เกี่ยวข้องกับวัยชรา	474
	Nerve degeneration ของระบบประสาทส่วนปลาย	477
	Nerve regeneration ของระบบประสาทส่วนปลาย	479
	Nerve degeneration ของระบบประสาทส่วนกลาง	480
	Nerve regeneration ของระบบประสาทส่วนกลาง	481
	CNS plasticity	481
บทที่ 24	Principle for Locating Lesions and Clinical Illustrations	485
	Spinal Cord	486
	Brainstem	492
	Cerebral hemisphere	496
	ตัวอย่างผู้ป่วย	497

Introduction to Nervous System

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. อธิบายลักษณะโครงสร้างและจำแนกชนิดของระบบประสาท
2. บอกส่วนประกอบและจำแนกชนิดของเซลล์ประสาท
3. อธิบายขบวนการสร้างของ myelinated nerve fiber และ non-myelinated nerve fiber
4. บอกส่วนประกอบของ synapse ในระบบประสาท
5. บอกลักษณะของ sensory nerve ending และ motor nerve ending ที่สำคัญ
6. บอกชนิดและส่วนประกอบของ glia cells
7. จำแนกชั้นต่างๆ ของ meninges ของสมองและไขสันหลัง
8. สามารถนำความรู้บทนี้ไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก

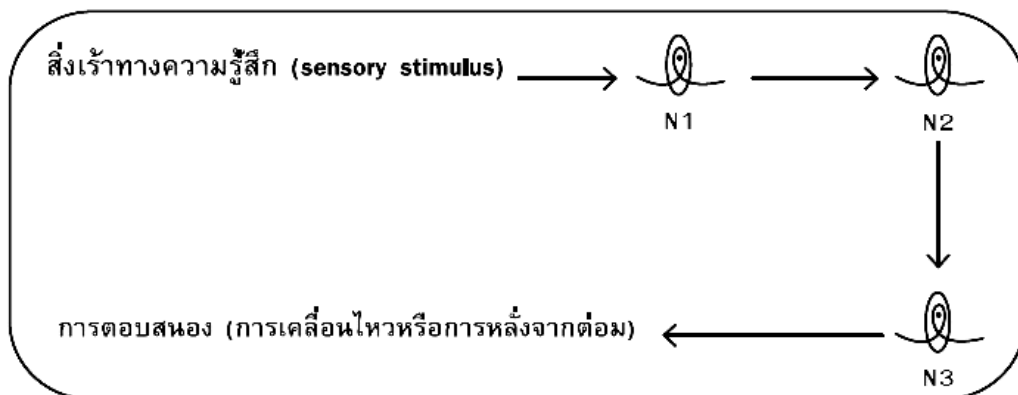
Introduction to Nervous System

มนุษย์จัดว่ามีระบบประสาทเจริญดีที่สุดในบรรดาสัตว์อื่น ๆ กล่าวคือ มีความสามารถในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่เรียกว่า **Irritability** และมีความสามารถในการนำพากระแสประสาทไปยังที่ต่าง ๆ ได้ เรียกว่ามี **Conductivity** โดยมีเซลล์ประสาท (neuron) อันเป็นหน่วยพื้นฐานในการทำหน้าที่ต่าง ๆ ทำให้สามารถจดจำ เรียนรู้ และตอบสนองต่อสิ่งเร้าต่าง ๆ รวมทั้งมีสติสัมปชัญญะ ตลอดจนมีความคิดสร้างสรรค์ได้

โครงสร้างของระบบประสาทประกอบด้วยเซลล์ประสาทที่เรียงต่อกันตามยาวแบบอนุกรม (longitudinal series) ทำให้เกิดเป็นวงจรสามแบบ คือ reflex circuit, relay circuit และ combined reflex and relay circuit ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. Reflex circuit

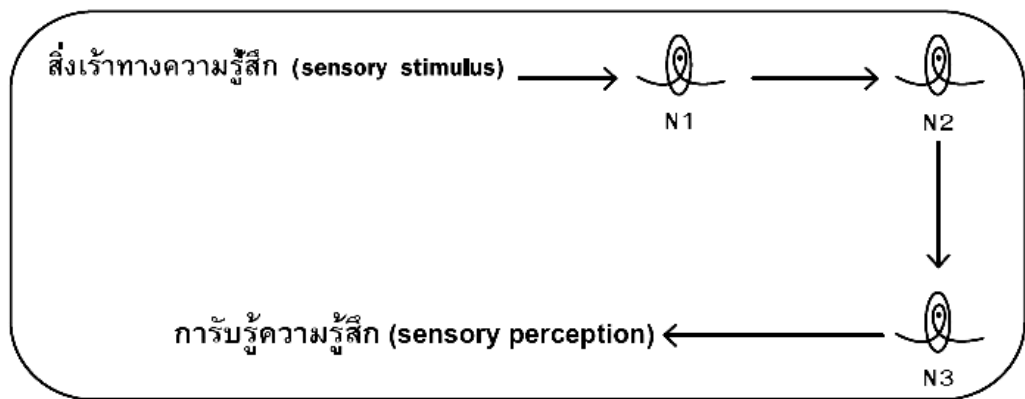
Reflex circuit เป็นวงจรที่ทำหน้าที่นำพากระแสประสาทไปก่อให้เกิดการตอบสนองที่อยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary response) เช่น ในการตรวจ deep tendon reflex ของเข่า ดังแผนผังที่ 1.1



แผนผังที่ 1.1 แสดง Reflex circuit โดยที่ N1, N2, N3 หมายถึง เซลล์ประสาทตัวที่หนึ่ง ตัวที่สอง และตัวที่สามตามลำดับ

2. Relay circuit

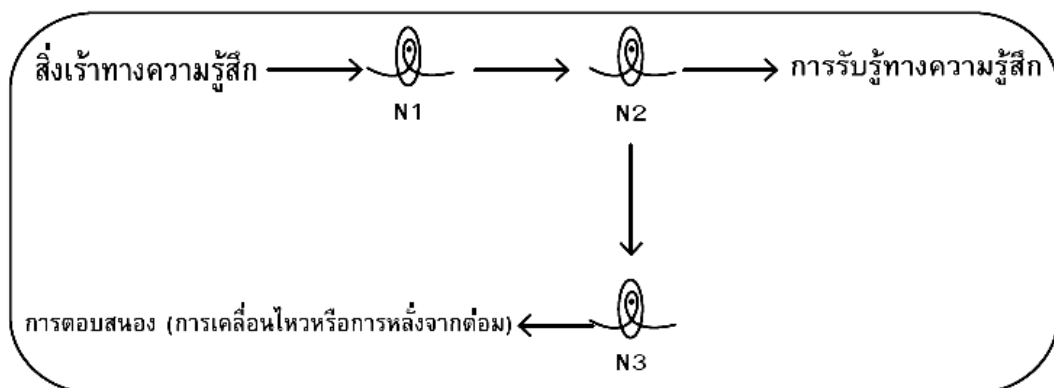
Relay circuit เป็นวงจรที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาทจากส่วนหนึ่งของระบบประสาทไปยังอีกส่วนหนึ่ง ไม่ว่าจะเป็นกระแสประสาทรับความรู้สึกหรือสั่งการ เช่น sensory relay circuit เป็นวงจรของระบบประสาทรับความรู้สึกที่ทำหน้าที่นำกระแสประสาทจาก sensory organ ไปยังสมอง ทำให้สมองสามารถรับรู้ความรู้สึกนั้นได้ ดังในแผนผังที่ 1.2



แผนผังที่ 1.2 แสดง relay circuit ทางความรู้สึก โดยที่ N1, N2, N3 หมายถึง เซลล์ประสาทตัวที่หนึ่ง ตัวที่สอง และตัวที่สามตามลำดับ

3. Combined reflex and relay circuit

Combined reflex and relay circuit เป็นการแทรกซ้อนกันระหว่างวงจร reflex circuit และ relay circuit เช่น การที่มือถูกหนามตำสมองจะรับรู้ความรู้สึกเจ็บ (relay circuit) และมีการตอบสนองด้วยการกระตุกมือหนีโดยอัตโนมัติ (reflex circuit) ดังแผนผังที่ 1.3

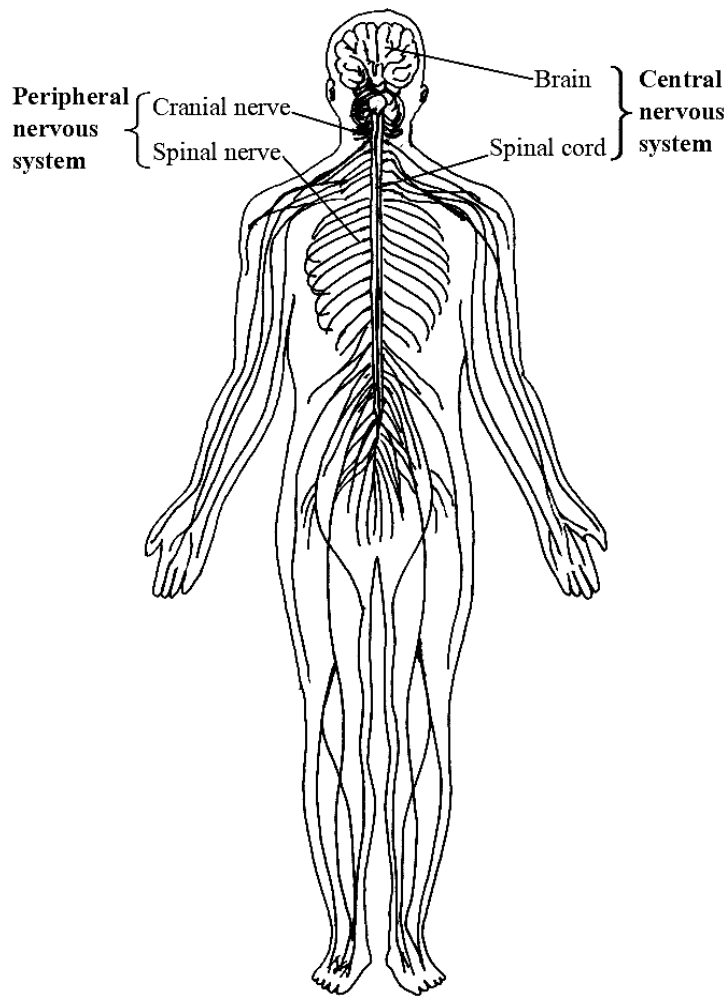


แผนผังที่ 1.3 แสดง Combined reflex and relay circuit โดยที่ N1, N2, N3 หมายถึง เซลล์ประสาทตัวที่หนึ่ง ตัวที่สอง และตัวที่สามตามลำดับ

โครงสร้างของระบบประสาทของมนุษย์

โครงสร้างของระบบประสาทของมนุษย์ แบ่งออกได้เป็นสองระบบหลัก (แผนผังที่ 1.4) คือ

1. Central nervous system, CNS หมายถึง ระบบประสาทส่วนกลาง ประกอบด้วยสมอง (brain) ที่อยู่ในกะโหลกศีรษะ (skull) กับไขสันหลัง (spinal cord) ซึ่งอยู่ในลำกระดูกสันหลัง (vertebral column) (รูปที่ 1.1, แผนผังที่ 1.4) มีหน้าที่รวบรวมข้อมูลในรูปแบบต่างๆ ที่เข้ามาสู่ร่างกายแล้วนำมาแปลผล ตลอดจนควบคุมระบบประสาททั้งหมดด้วยการรับข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสิ่งต่างๆ ภายนอกและภายในร่างกาย แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาแปลผล ทำให้เกิดผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่น การเคลื่อนไหวของกล้ามเนื้อ เป็นต้น



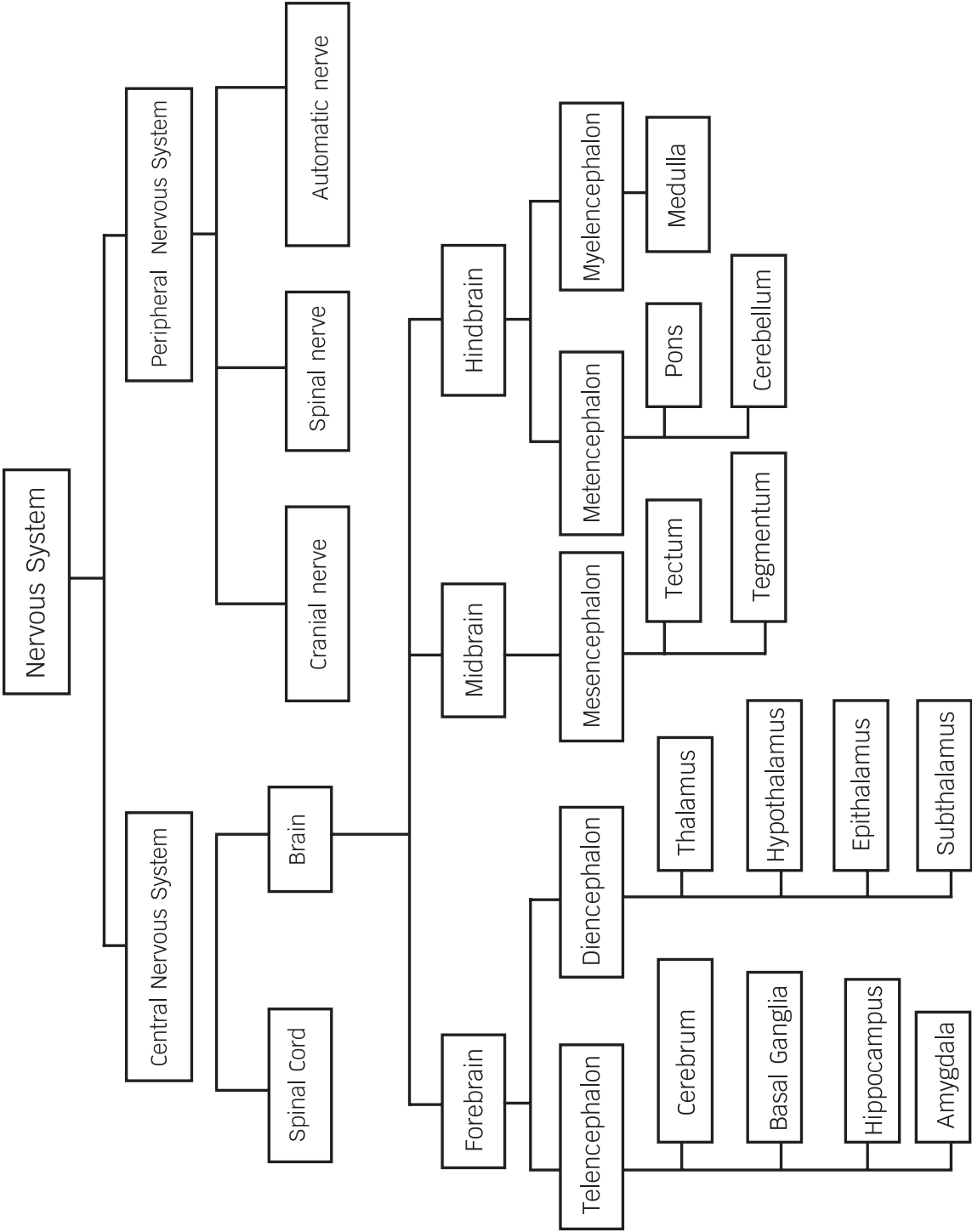
รูปที่ 1.1 แสดงระบบประสาทมนุษย์ (วาดใหม่จาก Martin, 1996)

2. Peripheral nervous system, PNS หมายถึงระบบประสาทส่วนปลาย ประกอบด้วย cranial nerve จำนวน 12 คู่, spinal nerve จำนวน 31 คู่, autonomic nerve, ganglion และ nerve ending (รูปที่ 1.1, แผนผังที่ 1.4) ระบบประสาทส่วนปลายทำหน้าที่เชื่อมต่อระบบประสาทส่วนกลางกับอวัยวะตลอดจนเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย โดยมีบทบาทในการนำกระแสประสาทเข้าและออกจากระบบประสาทส่วนกลาง กระแสประสาทที่เข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางเรียกว่า **afferent signals** และกระแสประสาทที่ออกจากระบบประสาทส่วนกลางเรียกว่า **efferent signals**

นอกจากนี้ระบบประสาทสามารถแบ่งเป็น 2 ระบบตามการทำงาน ดังนี้

1. Somatic nervous system หมายถึง ระบบประสาททางกาย ควบคุมการทำงานภายใต้อำนาจจิตใจ เช่น ระบบประสาทการเคลื่อนไหว (motor system) เป็นต้น

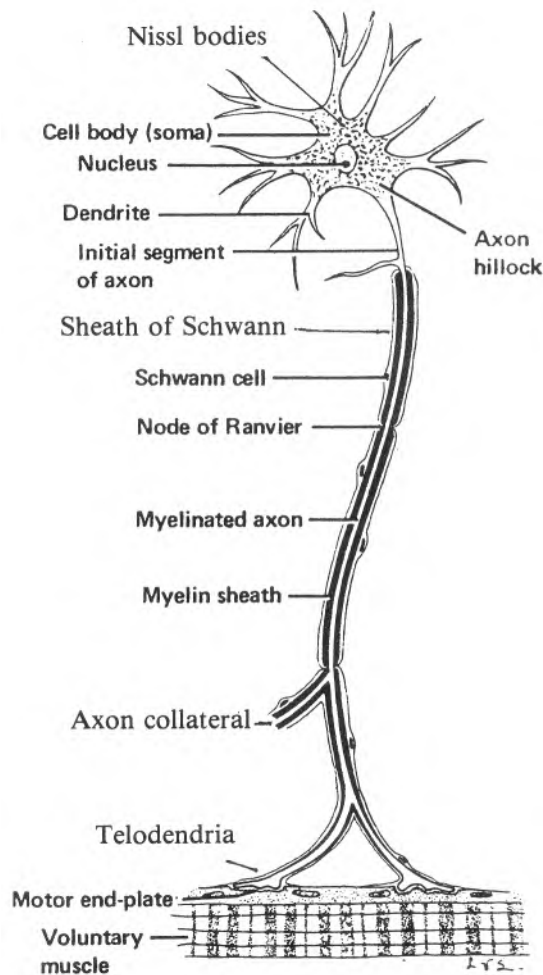
2. Autonomic nervous system หมายถึง ระบบประสาทอัตโนมัติ ประกอบด้วย sympathetic nervous system และ parasympathetic nervous system ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานนอกอำนาจจิตใจ เช่น การเต้นของหัวใจ เป็นต้น



แผนผังที่ 1.4 แสดงโครงสร้างของระบบประสาท

เซลล์ประสาท (Neuron)

เซลล์ประสาทประกอบด้วย cell body และ neurite ซึ่งเป็น process ที่ยื่นออกจาก cell body ประกอบด้วย dendrite และ axon (รูปที่ 1.2) มีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 1.2 แสดงโครงสร้างของเซลล์ประสาท (วาดใหม่จาก มีชัย, 2530)

1. Cell body หรือ Soma เป็นศูนย์กลางเกี่ยวกับการให้อาหาร เพราะมี organelles ของเซลล์ ซึ่งคำจุนเซลล์ประสาททั้งหมด เป็นศูนย์กลางของการเผาผลาญพลังงานของเซลล์ประสาท ภายใน cell body ประกอบด้วย nucleus และ cytoplasm

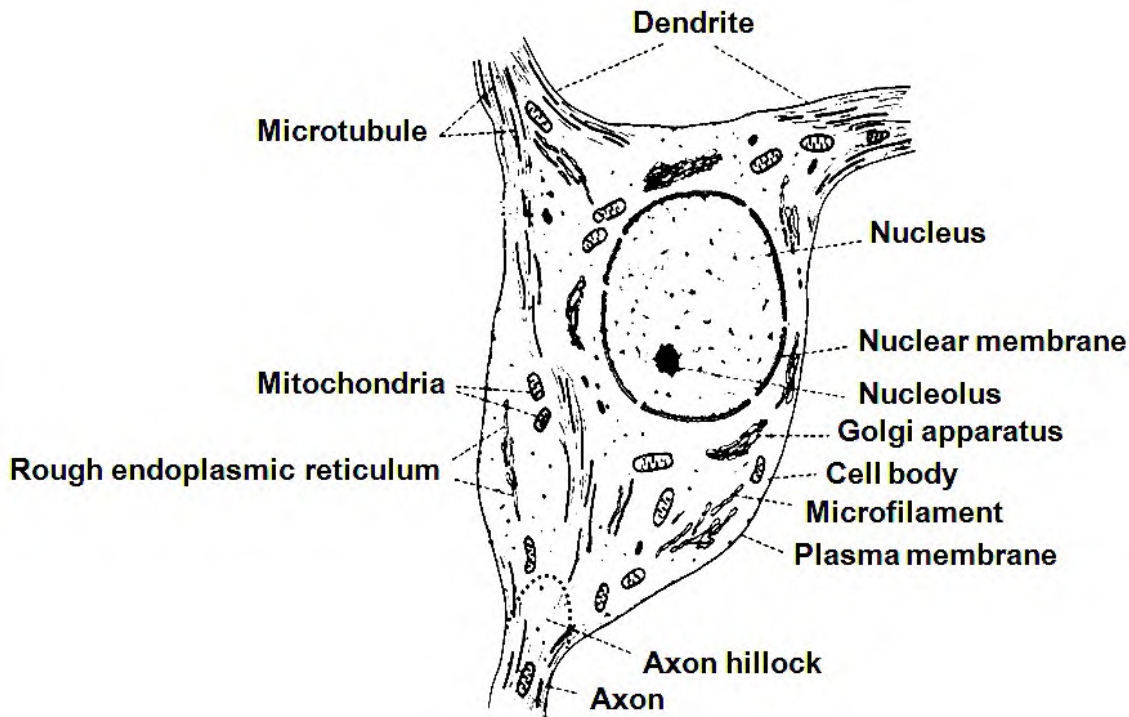
1.1 Nucleus มีขนาดใหญ่ ติดสีไม่เข้มเนื่องจากมีเม็ด chromatin เล็กๆ ละเอียดกระจายอยู่ทั่วไป ภายใน nucleus มี nucleoplasm, chromatin และ nucleolus ที่เห็นได้ชัดเจน (รูปที่ 1.3) และเฉพาะในเพศหญิงจะมี nucleolar satellite

1.2 Cytoplasm ภายในมี cellular organelles (รูปที่ 1.3) ดังนี้

1.2.1 Golgi apparatus มักอยู่รอบๆ nucleus ทำหน้าที่ผลิตคาร์โบไฮเดรตและ สร้าง lysosome มีลักษณะเป็นถุงที่มี membrane หุ้มซึ่งทำหน้าที่ขจัดของเสียภายในเซลล์ประสาท

1.2.2 Mitochondria กระจายอยู่ภายใน cell body, dendrite และ axon ทำหน้าที่ผลิตพลังงานให้เซลล์ประสาท

1.2.3 Neurofilament เป็น cytoplasmic filament ทำหน้าที่เกี่ยวกับการช่วยขนส่งสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ประสาท



รูปที่ 1.3 ส่วนประกอบภายใน nucleus และ cytoplasm (วาดใหม่จาก Snell, 1997)

1.2.4 Microfilament เป็นแท่งบางขนาด 7 นาโนเมตรบางที่สุดในกลุ่ม cytoskeleton ประกอบด้วย actin

1.2.5 Microtubule คือ cytoskeleton อย่างหนึ่ง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า **neurotubule** ทำหน้าที่ช่วยขนส่งสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ประสาท

1.2.6 Nissl bodies ได้แก่ rough endoplasmic reticulum ซึ่งเมื่อย้อมด้วย basic dyes จะเห็นเป็นก้อนติดสีเข้มรวมกันเป็นกลุ่ม (รูปที่ 1.2, 1.3) มักกระจายทั่วไปใน cell body และ dendrite ยกเว้นบริเวณ axon hillock

1.2.7 Plasma membrane หนาประมาณ 8 นาโนเมตร ทำหน้าที่แยก cytoplasm ออกจากสิ่งที่อยู่นอกเซลล์ (รูปที่ 1.3) มีลักษณะเป็น semi-permeable membrane ที่ยอมให้อิออนบางชนิดเท่านั้นที่ผ่านได้ เป็นโครงสร้างพื้นฐานของการเกิดกระแสประสาท

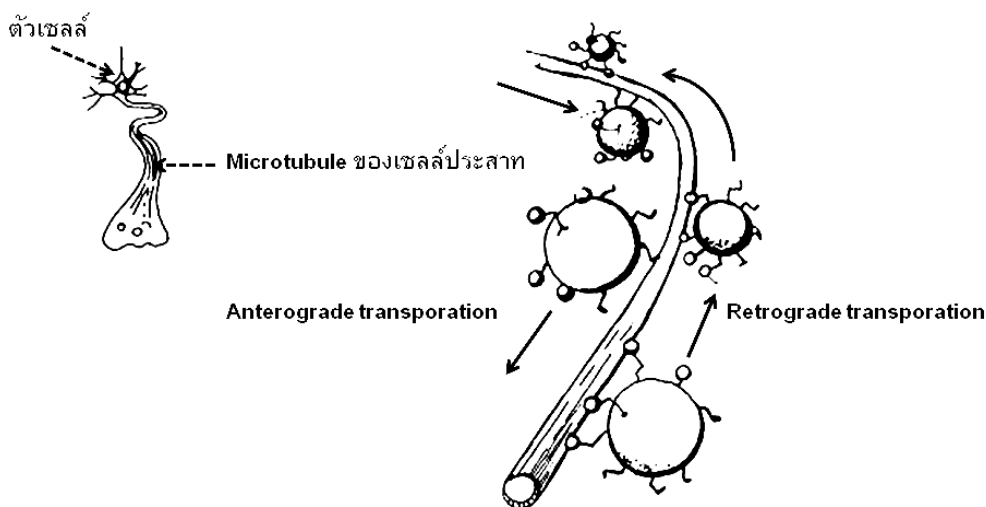
2. Dendrite คือ แขนงของเซลล์ประสาทที่มักสั้นและแตกแขนงคล้ายกิ่งไม้เรียกว่า **dendritic tree** ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทตรงเข้าไปยัง cell body ภายในประกอบคล้ายคลึงใน cell body ประกอบด้วย Nissl body, mitochondria และ cytoplasmic organelles อื่น ๆ (รูปที่ 1.3) เซลล์ประสาทมี dendrite ตั้งแต่หนึ่งอันขึ้นไปซึ่งทำหน้าที่รับกระแสประสาทเข้าสู่ cell body ผิว dendrite ของเซลล์ประสาทบางตัวมีปุ่มเล็กๆ คล้ายหนามยื่นออกไป เรียกว่า **dendritic spine** เพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเกิด synapse กับ axon

3. Axon คือ แขนงของเซลล์ประสาทที่มีความยาวหลากหลายตั้งแต่ microns ถึง meters และมีแขนงเดียวในเซลล์ประสาทหนึ่งตัว ทำหน้าที่ส่งกระแสประสาทออกจาก cell body มีลักษณะพิเศษดังนี้ บริเวณที่ axon เริ่มออกจาก cell body มีลักษณะเป็นรูปกรวยเรียกว่า **axon hillock** ซึ่งจะไม่พบ Nissl body และ Golgi apparatus ที่บริเวณนี้ (รูปที่ 1.2, 1.3) ภายใน cytoplasm ของ axon ประกอบด้วย neurofibril และ microtubule ซึ่งไม่พบ Nissl body เช่นกัน

โดยทั่วไปแขนง axon ของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลางจะสั้น แต่ axon ของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนปลายจะยาว plasma membrane ที่ห่อหุ้ม axon เรียกว่า **axolemma** ส่วน cytoplasm ที่อยู่ภายใน axon เรียกว่า **axoplasm** ซึ่งไม่มี Nissl body และ Golgi apparatus แขนงที่แยกออกด้านข้างของ axon เรียกว่า **collateral branch** ส่วนปลายของ axon เรียกว่า **telaxon** ซึ่งแตกแขนงและมีลักษณะเป็นปุ่ม เรียกว่า **synaptic end bulb** มีหน้าที่ถ่ายทอดกระแสประสาทไปยังเซลล์ประสาทอื่นๆ หรือไปยังอวัยวะเป้าหมาย โดยที่ภายใน synaptic end bulb จะมี synaptic vesicles ทำหน้าที่เก็บ neurotransmitter ซึ่งเป็นสารสื่อกระแสประสาท ช่วยการนำกระแสประสาท

Axon ไม่ว่าจะสั้นหรือยาวจะถูกควบคุมให้สามารถคงสภาพอยู่ได้ด้วย cell body โดยอาศัยกระบวนการขนส่งภายใน axon สองแบบ โดยองค์ประกอบที่แตกต่างกันถูกส่งไปด้วยอัตราและทิศทางต่างกัน ดังนี้

3.1 Anterograde axonal transport หมายถึง กระบวนการนำเอาสารอาหารจาก cell body ออกไปเลี้ยงส่วนปลายของ axon ทำให้ axon สามารถเจริญเติบโตและทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ (รูปที่ 1.4) มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของ axon ในระหว่างที่มีการพัฒนาการ เพื่อที่จะรักษาโครงสร้างของ axon ไว้ organelles ที่จำเป็นต่อการส่งต่อ synapse ถูกเคลื่อนย้ายโดยเร็ว (100-400 mm/day) ขณะที่ homeostasis ของ axon เคลื่อนย้ายอย่างช้าๆ (1-2 mm/day) โดยกระบวนการดังกล่าว นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อการสร้างและปล่อย neurotransmitter เพื่อช่วยในการส่งกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง



การเคลื่อนที่ของ organelles ใน neurotubule

รูปที่ 1.4 Anterograde axonal transport และ retrograde axonal transport

(วาดใหม่จาก Kandel et al., 1991)

3.2 Retrograde axonal transport หมายถึง กระบวนการนำของเสียของกระบวนการเผาผลาญตามปกติ หรือสิ่งที่ไม่ต้องการจากโครงสร้างเป้าหมายที่ปลายทาง axon กลับสู่ cell body ด้วยความเร็ว 100-200 mm/day เพื่อการฟื้นฟูสภาพของสิ่งนั้นๆ ให้คืนดีขึ้นมาอีกครั้ง (restoration) (รูปที่ 1.4)

Retrograde axonal transportation มีความสำคัญทางคลินิก เพราะเป็นช่องทางที่สารพิษเชื้อโรคบางชนิด เช่น บาดทะยัก (tetanus), เริม (herpes simplex) เชื้อพิษสุนัขบ้า (rabies) และ โปลิโอ (poliomyelitis) อาจถูกนำพาจากระบบประสาทส่วนปลายไปยังระบบประสาทส่วนกลางได้

โดยสรุป สิ่งที่แตกต่างกันระหว่าง axon และ dendrite มีดังนี้ axon ไม่มี Nissl bodies แต่พบในส่วนโคนของ dendrite โดยที่ axon มีแขนงเดียวแต่ dendrite แตกแขนงมากมายคล้ายกิ่งไม้ และ axon มี organelles อื่นๆ น้อย จึงมี sympathetic activity ต่ำ แต่ dendrite มีส่วนประกอบของ organelles คล้าย cell body

โรคโปลิโอ เป็นโรคที่เกิดจากเชื้อโปลิโอไวรัสเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางโดยขบวนการ retrograde axonal transportation แม้ว่าปัจจุบันจะพบโรคนี้น้อยลงมาก แต่เราต้องเกี่ยวข้องกับและดูแลผู้ป่วยโรคนี้อยู่ ซึ่งมักมีความพิการหลงเหลืออยู่ที่เราเรียกว่า **residual poliomyelitis** ความพิการดังกล่าวทำให้ผู้ป่วยมีอาการอ่อนแรงของแขนหรือขาหนึ่งหรือสองข้าง สำหรับบทบาทของแพทย์ นักกายภาพบำบัดและนักกิจกรรมบำบัดต่อผู้ป่วยเหล่านี้ คือการแนะนำวิธีออกกำลังกายและการดำเนินวิถีชีวิตที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้อาการของโรคดังกล่าวกำเริบจนอาจจะกลายเป็นกลุ่มอาการที่เรียกว่า **post poliomyelitis syndrome** (Halstead, 1990)

Organization ของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาทหรือส่วนประกอบของเซลล์ประสาทมีการรวมกลุ่มกัน มีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

Nuclei หมายถึง กลุ่มเซลล์ประสาทที่มีลักษณะโครงสร้างหรือหน้าที่เหมือนกันในระบบประสาทส่วนกลาง

Nucleus หมายถึง กลุ่มของเซลล์ประสาทที่รวมกันอยู่ในบริเวณจำเพาะ มีขนาดเล็กกว่า ganglion

Stratum หรือ Lamina หมายถึง เซลล์ประสาทที่เรียงตัวกันเป็นชั้นๆ แต่ละ lamina ประกอบด้วยเซลล์ประสาทชนิดเดียวกันรวมกันอยู่ พบใน gray matter ของไขสันหลัง

Column หมายถึง เซลล์ประสาทที่เรียงตัวกันเป็นกลุ่มยาวๆ

Ganglion หมายถึง กลุ่มก้อนของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย

Fasciculus, Lemniscus หมายถึง มัดหรือกลุ่มของ axon ในระบบประสาทส่วนกลาง

Funiculus หมายถึง ส่วนของระบบประสาทส่วนกลางที่มีลักษณะเป็นแท่งหรือเป็นลำ

Tract หรือ pathway หมายถึง กลุ่มของ nerve fiber ของระบบประสาทส่วนกลางที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน โดยมีเซลล์ประสาทต้นกำเนิด วิถีทางเดิน และจุดสิ้นสุดเหมือนกัน

Decussation หมายถึง ตำแหน่งที่กลุ่มประสาทอย่างเดียวกันทอดข้ามแนวกลางตัว

Commissure หมายถึง ตำแหน่งที่เชื่อมต่อโครงสร้างแบบเดียวกันของซีกซ้ายและขวา

Bundle หมายถึง กลุ่มของ nerve fiber ของระบบประสาทส่วนกลาง

Peduncle หมายถึง ส่วนที่มีลักษณะเป็นก้านที่เชื่อมส่วนต่างๆ ของสมอง

การจำแนกชนิดของเซลล์ประสาท

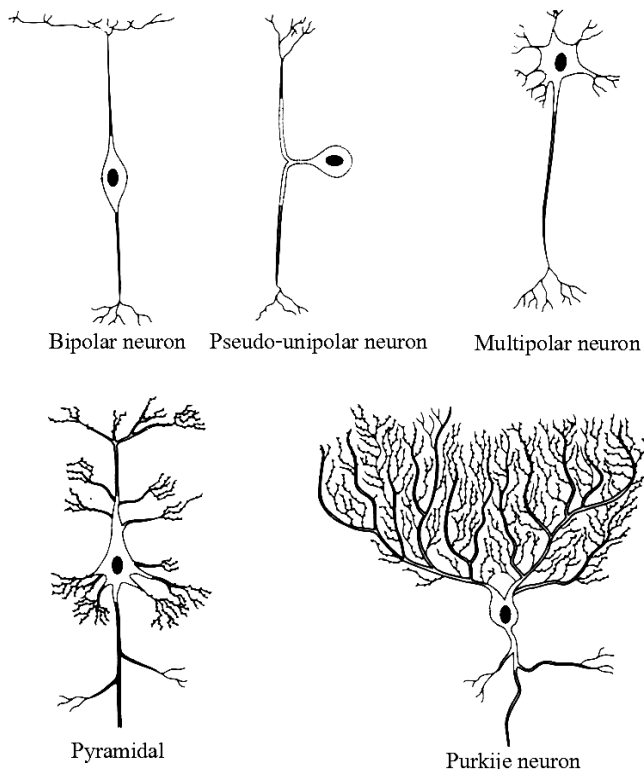
ชนิดของเซลล์ประสาทจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ จำแนกตามจำนวนแขนงที่ยื่นออกจาก cell body และจำแนกตามหน้าที่การทำงาน

1. จำแนกตามจำนวนแขนงที่ยื่นออกจาก cell body ดังนี้

1.1 Unipolar neuron หรือ pseudounipolar neuron (รูปที่ 1.5) คือเซลล์ประสาทที่ประกอบด้วยส่วนที่ยื่นออกจาก cell body เพียงแขนงเดียวแล้วแยกเป็นแขนงย่อย 2 แขนง คือ peripheral process ทำหน้าที่เหมือน dendrite และ central process ทำหน้าที่เหมือน axon ตำราบางเล่มเรียกเซลล์ประสาทชนิดนี้ว่า pseudounipolar neuron เนื่องจากในระยะ embryonic period เซลล์ประสาทชนิดนี้เจริญมาจาก bipolar neuroblast แล้วจึงมีการรวมกันของส่วนต้นของแต่ละแขนงเข้าด้วยกันในภายหลัง มักพบเซลล์ประสาทชนิดนี้ใน dorsal root ganglion ของ spinal nerve

1.2 Bipolar neuron (รูปที่ 1.5) คือเซลล์ประสาทที่ประกอบด้วยส่วนที่ยื่นออกจาก cell body สองแขนงในทิศทางตรงข้ามกัน โดยแขนงหนึ่งจะทำหน้าที่เป็น dendrite อีกแขนงหนึ่งทำหน้าที่เป็น axon เซลล์ประสาทชนิดนี้พบเฉพาะใน olfactory system, visual system, auditory system และ vestibular system

1.3 Multipolar neuron (รูปที่ 1.5) คือเซลล์ประสาทที่ประกอบด้วยส่วนที่ยื่นออกจาก cell body หลายแขนง แต่มีเพียงแขนงเดียวที่ทำหน้าที่เป็น axon แขนงที่เหลือทำหน้าที่เป็น dendrite พบในเซลล์ประสาททั่วไป เช่น เซลล์ประสาทใน gray matter ของไขสันหลัง, pyramidal cell ใน cerebral cortex และ Purkinje cell ใน cerebellar cortex (รูปที่ 1.5)



รูปที่ 1.5 แสดง unipolar neuron, bipolar neuron, multipolar neuron

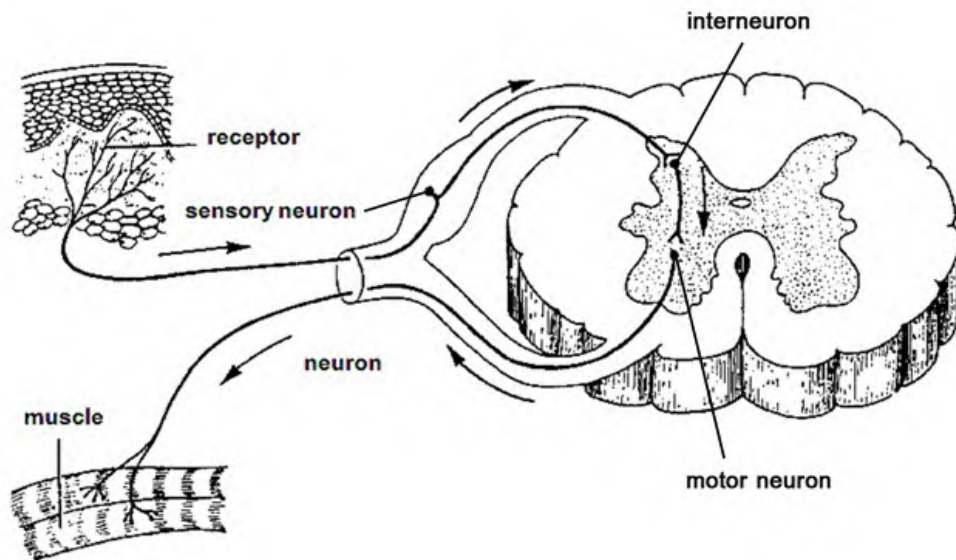
(ดัดแปลงมาจาก Kandel et al., 1991)

2. จำแนกตามหน้าที่การทำงาน

2.1 Sensory neuron (รูปที่ 1.6) เป็นเซลล์ประสาทที่รับสัญญาณประสาทจากอวัยวะรับความรู้สึกเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง เซลล์ประสาทชนิดนี้มักเป็น unipolar neuron

2.2 Motor neuron (รูปที่ 1.6) เป็นเซลล์ประสาทที่นำกระแสประสาทจากระบบประสาทส่วนกลางไปควบคุมกล้ามเนื้อ อวัยวะภายในและต่อมต่างๆ เซลล์ประสาทชนิดนี้มักเป็น multipolar neuron

2.3 Interneuron (รูปที่ 1.6) เป็นเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ประสานงานระหว่างเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง เซลล์ประสาทชนิดนี้มักเป็น multipolar neuron



รูปที่ 1.6 การจำแนกเซลล์ประสาทตามหน้าที่การทำงาน (ดัดแปลงจาก Nolte, 1993)

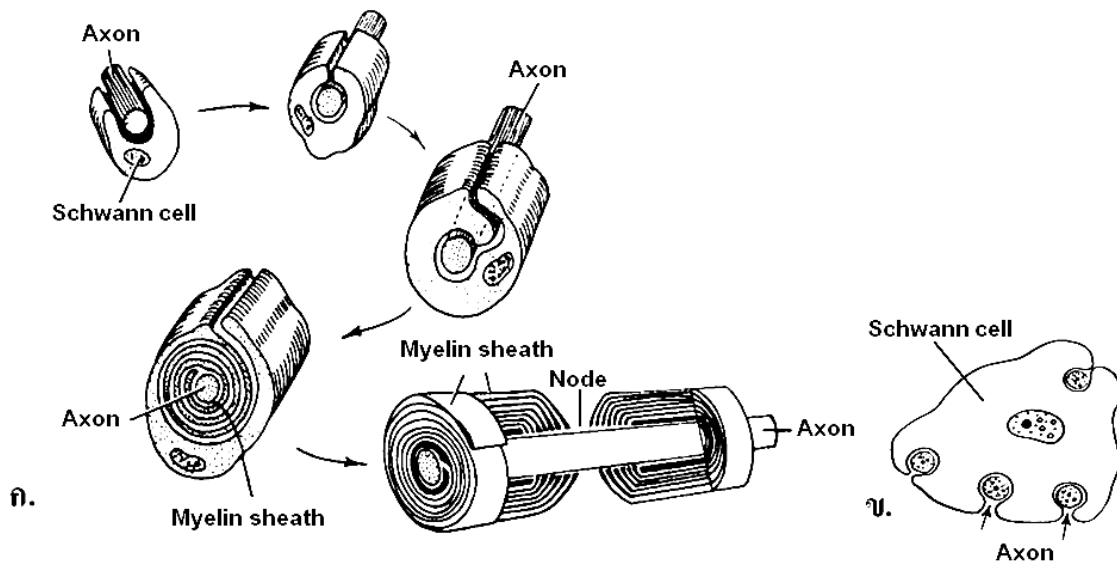
Formation of myelinated nerve fiber

Axon ส่วนใหญ่มีปลอกหุ้ม เรียกว่า **myelinated nerve fiber** ส่วน axon ที่ไม่มีปลอกหุ้มเรียกว่า **unmyelinated (nonmyelinated) nerve fiber** ปลอกหุ้มดังกล่าวไม่ใช่ส่วนหนึ่งของเซลล์ประสาทแต่เป็นส่วนที่ถูกสร้างจาก glia cell โดย myelin sheath มีประโยชน์ในการช่วยนำกระแสประสาทไปตาม axon ได้เร็วขึ้น ความเร็วของกระแสประสาทแปรตามความหนาของ myelin sheath myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลายเกิดจากเซลล์ต่างชนิดกัน ดังนี้

1. การสร้าง myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนปลาย

การสร้าง myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนปลาย (รูปที่ 1.2) เริ่มจากการที่ axon ฝังตัวลงในร่องบนผิวของ plasma membrane ของ Schwann cells และจมลงไปใน cytoplasm ทำให้ axon ห้อยแขวนอยู่ใน Schwann cells ด้วย mesoaxon จากนั้น Schwann cells จะหมุนรอบ axon ทำให้ mesoaxon พันรอบ axon เป็นเกลียวหลายรอบและกระชับแน่นจนรัดเอา cytoplasm ทะลักมาอยู่ข้างนอกพร้อมกับนิวเคลียสของมัน เกิดเป็น Schwann cell multilayers (รูปที่ 1.7 ก) ชั้นนอกสุดของ Schwann cell layer ถูกเรียกว่า **neurolemma** เนื่องจาก Schwann cell ตัวหนึ่งสามารถสร้างปลอก

หุ้ม axon ได้เพียงช่วงสั้นๆ ฉะนั้นการสร้างปลอกหุ้ม axon หนึ่งเส้นตลอดความยาวจึงจำเป็นต้องใช้ Schwann cells หลายตัวต่อกัน ดังนั้นช่องว่างระหว่าง Schwann cells ที่สร้างปลอกหุ้มปล้องติดกันจึงเป็นบริเวณที่ปลอกหุ้มนั้นขาดเป็นช่วงๆ เรียกว่า **node of Ranvier** ซึ่งเป็นบริเวณที่ไวต่อการเกิด action potential ส่วนปล้องของ myelin sheath ที่เกิดจากแขนงของ Schwann cell 1 cell เรียกว่า **internode** ส่วนบริเวณที่มีลักษณะคล้ายรูปลิ้นแทรกอยู่ใน myelin sheath เมื่อดูด้วย light microscope ซึ่งเกิดจากการรีดไม่หมดของ cytoplasm ของ Schwann cell ทำให้แยก plasma membrane ออกจากกัน เรียกว่า **Schmidt-Lantermann cleft**



รูปที่ 1.7 การสร้าง myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนปลาย (ก)

การสร้าง unmyelinated nerve fiber (ข) (ดัดแปลงจาก Pansky et al., 1992)

2. การสร้าง unmyelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนปลาย

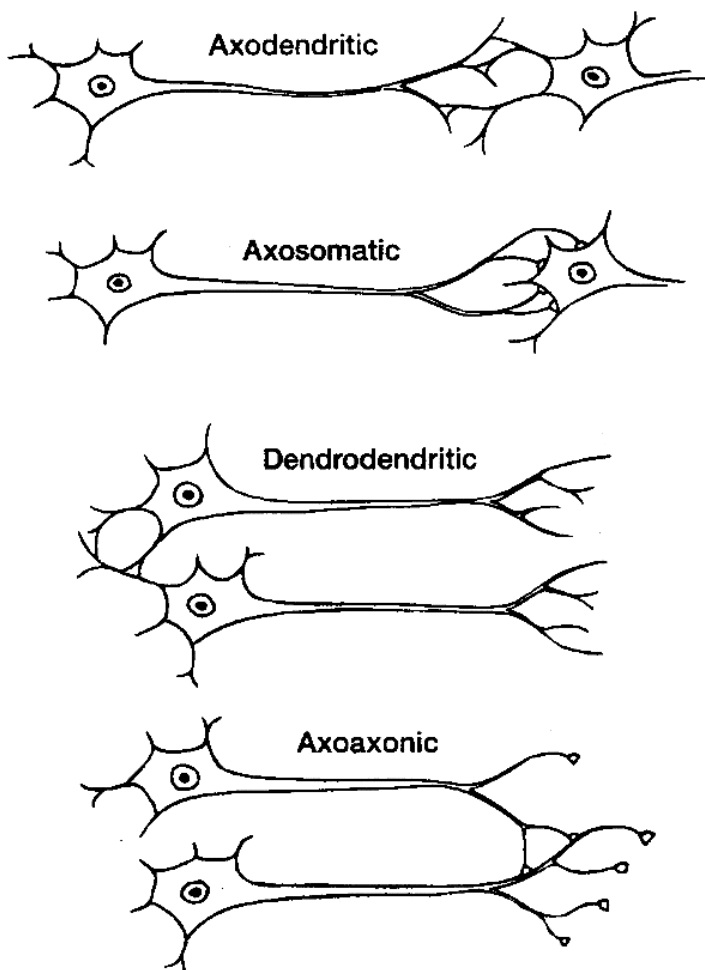
สำหรับ unmyelinated (nonmyelinated) nerve fiber ในระบบประสาทส่วนปลาย axon ถูกฝังตัวลงในร่องบนผิวของ plasma membrane ของ Schwann cells และจมลงไปใน cytoplasm โดยไม่มีการพันรอบ axon โดยที่ Schwann cell 1 cell สามารถหุ้มได้หลาย unmyelinated nerve fiber (รูปที่ 1.7 ข)

3. การสร้าง myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนกลาง

การสร้าง myelinated nerve fiber ในระบบประสาทส่วนกลาง เกิดจาก oligodendrocyte ซึ่งเป็น glia cells ขนาดเล็ก มีส่วน plasma membrane ที่ยื่นแขนงมีลักษณะคล้ายหนวดปลาหมึกพันรอบ axon เป็นเกลียวแน่น (รูป 1.8 ข) ถ้ามีแขนงของ oligodendrocyte ที่ติดกันพัน axon เส้นเดียวกันจะเกิดช่องว่างเป็น node of Ranvier เช่นกัน (รูปที่ 1.8 ก) ดังนั้น myelin sheath จึงอยู่ภายในแขนงของ oligodendrocyte โดย oligodendrocyte หนึ่งตัวสามารถสร้างปลอกหุ้มหลาย axon ได้พร้อมๆ กัน

Synapse

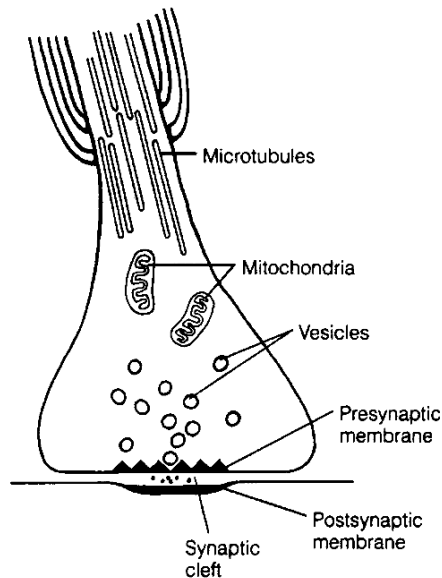
Synapse คือ จุดประสานของการทำงานระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งหรือกับเซลล์กล้ามเนื้อหรือกับเซลล์ต่อม ณ ตำแหน่งปลายสุด axon ของเซลล์ประสาท สำหรับ synapse ระหว่างเซลล์ประสาทกับเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งนั้นสามารถเกิดขึ้นได้หลายตำแหน่งดังนี้ synapse ระหว่าง axon ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งกับ dendrite ของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่ง เรียกว่า **axodendritic synapse** หรือ ระหว่าง axon ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งกับ cell body ของเซลล์ประสาทอีกตัวเรียกว่า **axosomatic synapse** หรือ ระหว่าง dendrite ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งกับ dendrite ของเซลล์ประสาทอีกตัวเรียกว่า **dendritodendritic (dendrodendritic) synapse** หรือ ระหว่าง axon ของเซลล์ประสาทตัวหนึ่งกับ axon ของเซลล์ประสาทอีกตัวเรียกว่า **axoaxonic synapse** (รูปที่ 1.9) โดยทั่วไป synapse มีลักษณะเฉพาะสองอย่าง ดังนี้



รูปที่ 1.9 แสดงชนิดของ synapse (ดัดแปลงจาก Waxman et al., 1995)

1. ลักษณะเฉพาะทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomical characteristic)

ประกอบด้วยโครงสร้างที่สำคัญ 3 ส่วน คือ presynaptic membrane, synaptic cleft และ postsynaptic membrane (รูปที่ 1.10) presynaptic membrane เป็นแผ่นส่วนที่ประสานกับ synaptic end bulb โดย synaptic cleft เป็นช่องระหว่าง axon terminal กับส่วนของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งหรือเซลล์กล้ามเนื้อหรือเซลล์ต่อมหรือช่องระหว่าง presynaptic กับ post membrane นั่นเอง postsynaptic membrane เป็นส่วนของเซลล์ประสาทอีกตัวหนึ่งหรือเซลล์กล้ามเนื้อหรือเซลล์ต่อม



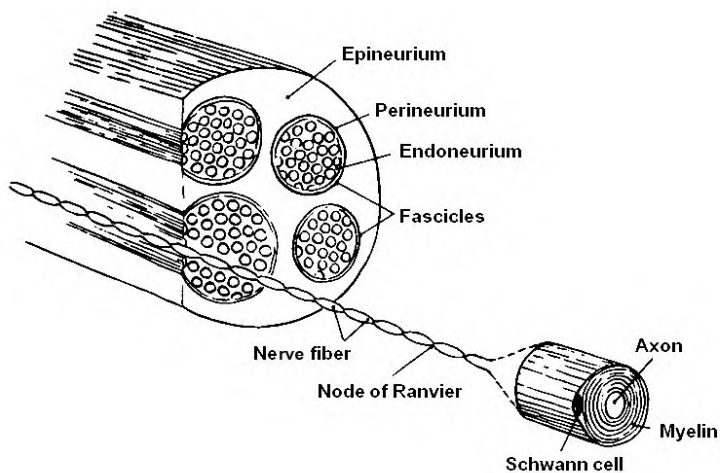
รูปที่ 1.10 ลักษณะเฉพาะทางกายวิภาคศาสตร์ที่สำคัญของ synapse
(ดัดแปลงมาจาก Kandel et al., 1991)

2. ลักษณะเฉพาะทางสรีรวิทยา (physiological characteristic)

ลักษณะเฉพาะทางสรีรวิทยาที่สำคัญ คือ การเกิด polarization หมายถึงกระบวนการที่กระแสประสาทถ่ายทอดมาที่ axon terminal ผ่าน synaptic cleft ไปยังเซลล์ต่างๆ ดังกล่าวได้ด้วยสารที่เป็น neurotransmitter ซึ่งเป็นสารสื่อประสาท หรือ กระแสไฟฟ้า โดยปกติ synapse อาศัย neurotransmitter มากกว่ากระแสไฟฟ้า เมื่อกระแสประสาทมาถึงบริเวณ synapse โดย neurotransmitter ถูกผลิตและถูกปล่อยโดยเซลล์ประสาท และจะถูกปล่อยเข้าไปใน synaptic cleft จากนั้นข้ามผ่าน synaptic cleft ไปมีผลต่อ postsynaptic neuron โดย neurotransmitter ที่ neuromuscular และ neuroglandular junction เป็นชนิดกระตุ้น (excitatory) แต่ neurotransmitter ที่อยู่ระหว่างเซลล์ประสาทนั้นจะมีทั้งชนิดกระตุ้น (excitatory) และชนิดยับยั้ง (inhibitory) จึงทำให้สามารถควบคุมสิ่งต่างๆ ในร่างกายได้เป็นอย่างดี neurotransmitter มีหลายชนิด ที่ทราบในปัจจุบัน คือ acetylcholine, norepinephrine, epinephrine, dopamine, glycine, enkephaline, substance P, glutamic acid, serotonin และ gamma-aminobutyric acid (GABA) neurotransmitter ต่างๆ เหล่านี้อยู่ที่ axon terminal จะถูกปล่อยออกมาเมื่อมีกระแสประสาทผ่านมาที่ axon terminal นี้เท่านั้น

เส้นประสาท (Nerve)

เส้นประสาท หมายถึง กลุ่มของใยประสาทซึ่งรวมกันเป็นมัดหรือแท่ง สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เส้นประสาททำหน้าที่นำสัญญาณประสาทติดต่อกันระหว่างระบบประสาทส่วนกลางกับระบบประสาทส่วนปลายของร่างกาย เส้นประสาทถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาทสามชั้น (รูปที่ 1.11) ดังนี้ เส้นประสาทถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาทเรียกว่า **epineurium** กลุ่มใยประสาท (bundles, fasciculi) ที่อยู่ภายในเส้นประสาทถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาทที่เรียกว่า **perineurium** และใยประสาทแต่ละเส้นที่อยู่ภายในกลุ่มใยประสาทถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาท เรียกว่า **endoneurium** เส้นประสาทในมนุษย์ประกอบด้วย cranial nerve 12 คู่ และ spinal nerve 31 คู่



รูปที่ 1.11 เนื้อเยื่อประสาท epineurium, perineurium และ endoneurium
(ดัดแปลงจาก Bhatnagar et al., 1995)

เส้นประสาทแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. **sensory nerve** คือ เส้นประสาทรับความรู้สึก ประกอบด้วย sensory nerve fiber ที่นำกระแสประสาทความรู้สึกไปยังระบบประสาทส่วนกลาง เช่น olfactory nerve (CN I), optic nerve (CN II), vestibulocochlear nerve (CN VIII) และ dorsal root ของ spinal nerve เป็นต้น
2. **motor nerve** คือ เส้นประสาทสั่งการ ประกอบด้วย motor nerve fiber ซึ่งนำกระแสประสาทสั่งการจากระบบประสาทส่วนกลางไปยังกล้ามเนื้อหรือต่อม เช่น oculomotor nerve (CN III), trochlear nerve (CN IV), abducens nerve (CN VI), spinal accessory nerve (CN XI), hypoglossal nerve (CN XII) และ ventral root ของ spinal nerve เป็นต้น
3. **mixed nerve** คือ เส้นประสาทผสมซึ่งประกอบด้วย sensory, motor และ autonomic nerve ซึ่งทำหน้าที่นำกระแสประสาทไปและกลับยังระบบประสาทส่วนกลาง เช่น trigeminal nerve (CN V), facial nerve (CN VII), glossopharyngeal nerve (CN IX), vagus nerve (CN X) และ spinal nerve เป็นต้น

Nerve endings

Nerve ending คือปลายประสาท เป็นส่วนสำคัญเนื่องจากเป็นตำแหน่งที่จะมีการสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทสองเซลล์ หรือ ระหว่างเซลล์ประสาทและกล้ามเนื้อ หรือ ต่ออวัยวะ โดย nerve ending แบ่งออกได้ สองกลุ่ม ดังนี้

1. Sensory nerve endings เป็นปลายประสาทรับความรู้สึกจาก receptors ดังนั้นโครงสร้างนี้จึงเป็นโครงสร้างบริเวณส่วนปลายของ sensory nerve fiber ซึ่งมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อสิ่งกระตุ้นแล้วเกิดสัญญาณประสาทแล่นเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลางทาง sensory nerve

1.1 Receptors แบ่งตามหลักสรีรวิทยา ได้ดังนี้

1.1.1 Mechanoreceptors ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัส (touch), แรงกด (pressure) และความรู้สึกจากข้อ (proprioception)

1.1.2 Thermoreceptors ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับอุณหภูมิ เช่น ร้อน เย็น

1.1.3 Photoreceptors ทำหน้าที่รับภาพ

1.1.4 Chemoreceptors ทำหน้าที่รับรส รับกลิ่น

1.2 Receptors แบ่งตามลักษณะโครงสร้างเป็น 2 กลุ่ม คือ non-encapsulated sensory nerve endings และ encapsulated sensory nerve endings สามารถสรุปได้ดังนี้

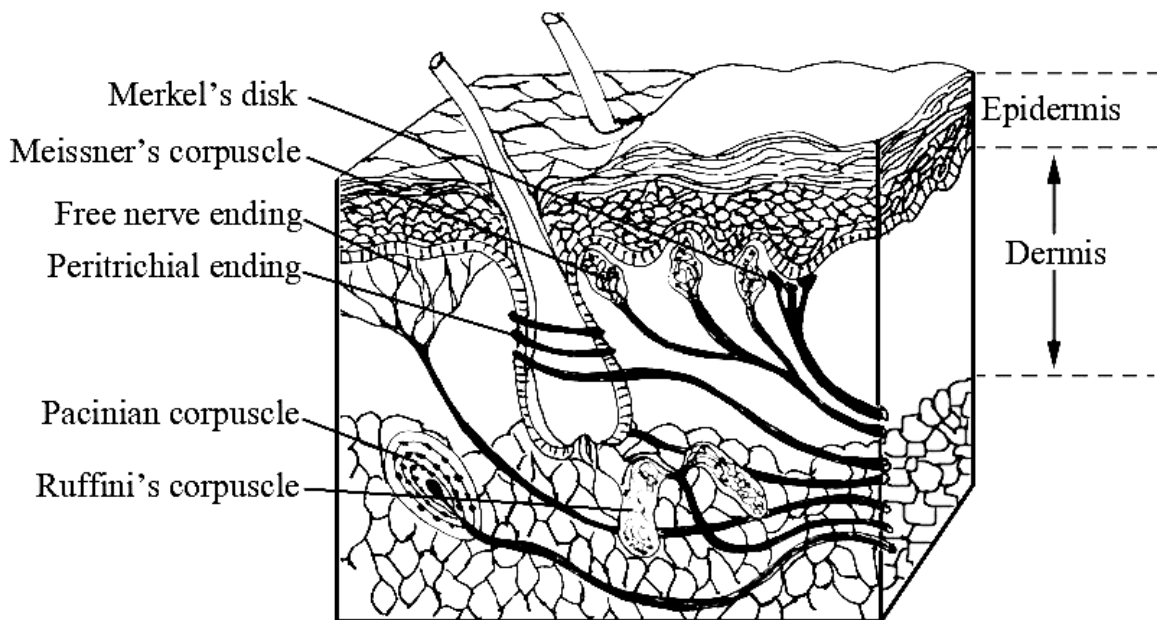
1.2.1 Nonencapsulated sensory nerve endings เป็น receptor ที่ไม่มีเปลือกหุ้มพบได้ทั่วไปตามผิวหนัง เยื่อบุผิว กล้ามเนื้อ เอ็น ข้อต่อและอวัยวะภายใน มีหลายชนิด คือ

1.2.1.1 Free nerve ending (รูปที่ 1.12) เป็น receptor ที่พบในผิวหนัง กล้ามเนื้อ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันและอวัยวะภายใน ทำหน้าที่รับความรู้สึก pain and temperature

1.2.1.2 Merkel's disk (รูปที่ 1.12) เป็น receptor ที่พบในผิวหนังทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัส

1.2.1.3 Peritrichial ending (รูปที่ 1.12) เป็น receptor ที่พบใน hair follicle ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัส

1.2.1.4 Undifferentiated ending เป็น receptor ที่พบในข้อต่อ เอ็น ฟังซีด ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากข้อ



รูปที่ 1.12 แสดง sensory nerve ending ชนิดต่างๆ (วาดใหม่จาก Martin, 1996)

1.2.2 Encapsulated sensory nerve endings เป็น receptors ที่แขนงปลายของเส้นประสาทรับความรู้สึกมีเปลือกหุ้ม แบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังนี้

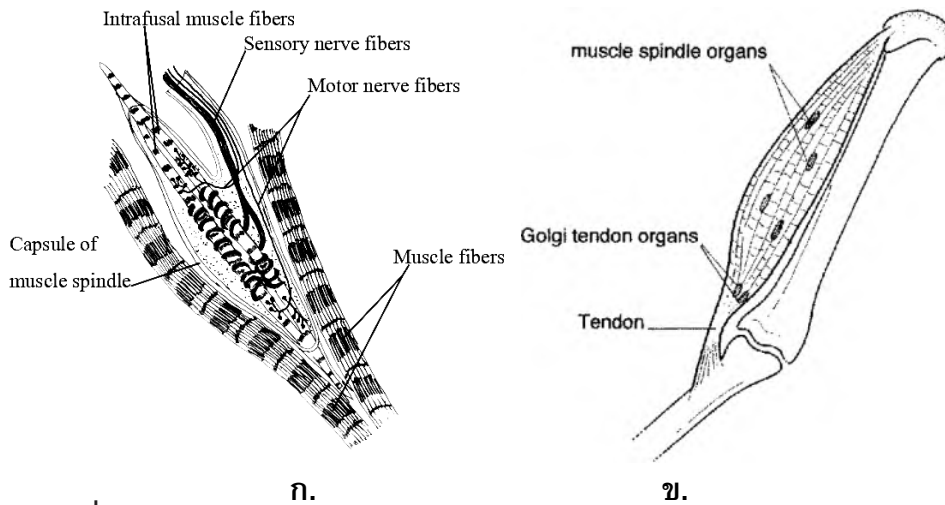
1.2.2.1 Meissner's corpuscle (รูปที่ 1.12) เป็น receptor รูปรี พบในชั้น papilla ของหนังแท้ โดยเฉพาะบริเวณฝ่ามือ ฝ่าเท้า ปลายลิ้น หัวนมและอวัยวะสืบพันธุ์ภายนอก receptor ชนิดนี้ประกอบด้วยเซลล์แบนๆ อยู่ตรงกลางมีเปลือกบางๆ หุ้มและมี unmyelinated nerve fiber พันไปโดยรอบ Meissner's corpuscle ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัสและแยกจุดสัมผัส (two-point discrimination)

1.2.2.2 End bulb of Krause เป็น receptor รูปร่างกลม มี unmyelinated nerve fiber พุ่งเข้าสู่ end bulb แล้วแตกแขนงกระจายอยู่ภายใน receptor ชนิดนี้พบที่ผิวหนัง ปาก ลิ้น และข้อ ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัส ความรู้สึกกด อุณหภูมิและความรู้สึกจากข้อ

1.2.2.3 Pacinian corpuscle (รูปที่ 1.12) เป็น receptor รูปร่างรีๆ มีเปลือกหุ้มหนาหลายชั้นเป็นวงโดยรอบคล้ายหัวหอม แต่ละชั้นประกอบด้วย collagen และ fibroblast ส่วนแกนกลางเรียกว่า inner bulb เป็นทางผ่านเข้าของ sensory nerve fiber ชนิด unmyelinated nerve fiber receptor นี้ทำหน้าที่รับความรู้สึกสัมผัสและความรู้สึกกด พบได้ที่ ฝ่ามือ ฝ่าเท้า เยื่อช่องท้อง เยื่อหุ้มปอด หัวนม ปุ่มกระดั้น (clitoris) องคชาติ (penis) และอวัยวะภายใน

1.2.2.4 Neuromuscular spindle (รูปที่ 1.13ก-ข) หรือ muscle spindle เป็น receptor ที่พบในกล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle) มีรูปร่างเหมือนกระสวย ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับตำแหน่งและความตึงของกล้ามเนื้อด้วย proprioceptive receptor

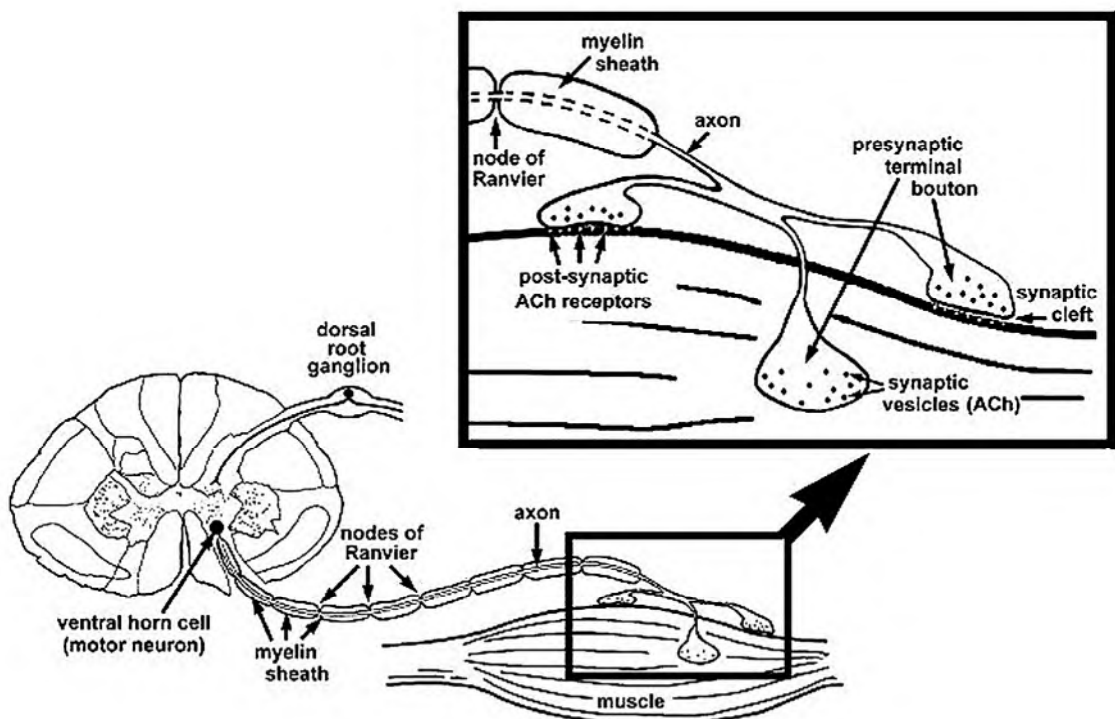
1.2.2.5 Neurotendinous spindle (Golgi tendon organ) (รูปที่ 1.13ข) เป็น receptor บริเวณ tendon ทำงานตรงข้ามกับ muscle spindle กล่าวคือ เมื่อ tendon ตึงสัญญาณประสาทที่เข้าสู่ไขสันหลังจะไปยับยั้งการทำงานของ α -motor neuron ทำให้กล้ามเนื้อคลายตัว



รูปที่ 1.13 Encapsulated sensory nerve endings: neuromuscular spindle (ก) และ neurotendinous spindle (ข) (วาดใหม่จาก Barr et al., 1993)

2. Motor nerve endings เป็นโครงสร้างที่ปลายประสาทส่งการไปเชื่อมต่อกับกล้ามเนื้อและต่อม มีสองชนิด ดังนี้

2.1 Motor end plate (neuromuscular junction) (รูปที่ 1.14) คือ axon terminal ที่แตกแขนงออกไปเชื่อมต่อกับกล้ามเนื้อลาย เมื่อสัญญาณประสาทมาถึงบริเวณ motor end plate จะทำให้มีการหลั่ง acetylcholine จาก synaptic vesicles ทำให้เกิดกระบวนการ depolarization ส่งผลให้กล้ามเนื้อหดตัว



รูปที่ 1.14 แสดงโครงสร้างของ motor end plate (<http://quizlet.com/11693507/weakness-myopathy-anterior-horn-cell-disease-neuropathies-neuromuscular-transmission-disease-flash-cards/>)

Myasthenia gravis เป็น autoimmune disease ที่เกิดจากพยาธิสภาพที่ neuromuscular junction โดยมีผลต่อ nicotinic acetylcholine receptors ทำให้กล้ามเนื้อคลายอ่อนแรงและเกิดการล้าของกลุ่มกล้ามเนื้อลูกตา กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการเคี้ยว การกลืน และกล้ามเนื้อแขนขา อาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงและล้ามีความรุนแรงหลากหลายและอาการจะเป็นมากขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของ acetylcholine ใน neuromuscular junction ทำโดยการยับยั้งเอนไซม์ acetylcholinesterase จะลดความรุนแรงของอาการลงได้ อาการกล้ามเนื้ออ่อนแรงและล้าจะเกิดขึ้นเด่นในกลุ่มกล้ามเนื้อแขนขาส่วน proximal และลำตัว ดังที่พบใน Lambert-Eaton myasthenic syndrome

2.2 Postganglionic autonomic ending มีลักษณะเป็น axon terminal ที่แตกแขนงออกไปเชื่อมต่อกับกล้ามเนื้อเรียบหรือต่อม

Nervous system support and protection

เนื่องจากเซลล์ประสาทบอบบางมากและไม่สามารถดำรงอยู่ได้ถ้าไม่ได้รับการปกป้องจาก glia cell ที่เป็นเซลล์สนับสนุนซึ่งมีหน้าที่ในการสร้างโครงสร้างที่ช่วยค้ำจุนระบบประสาทและทำให้สภาพแวดล้อมของเซลล์ประสาทเหมาะสมในการทำหน้าที่ได้อย่างดี

Glia cell มีอยู่ทั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย โดย glia cell ในระบบประสาทส่วนกลางมี 4 ชนิดคือ ependymal cell, microglia, astrocyte และ oligodendrocyte ส่วน glia cell ในระบบประสาทส่วนปลายมี 2 ชนิดคือ Schwann cell และ Satellite cell มีรายละเอียด ดังนี้

1. Glia หรือ supporting cells ในระบบประสาทส่วนกลางมีอยู่ 4 ชนิด ดังนี้

1.1 Ependymal cell (รูปที่ 1.15 F, G) ประกอบด้วย 3 ชนิด ดังนี้

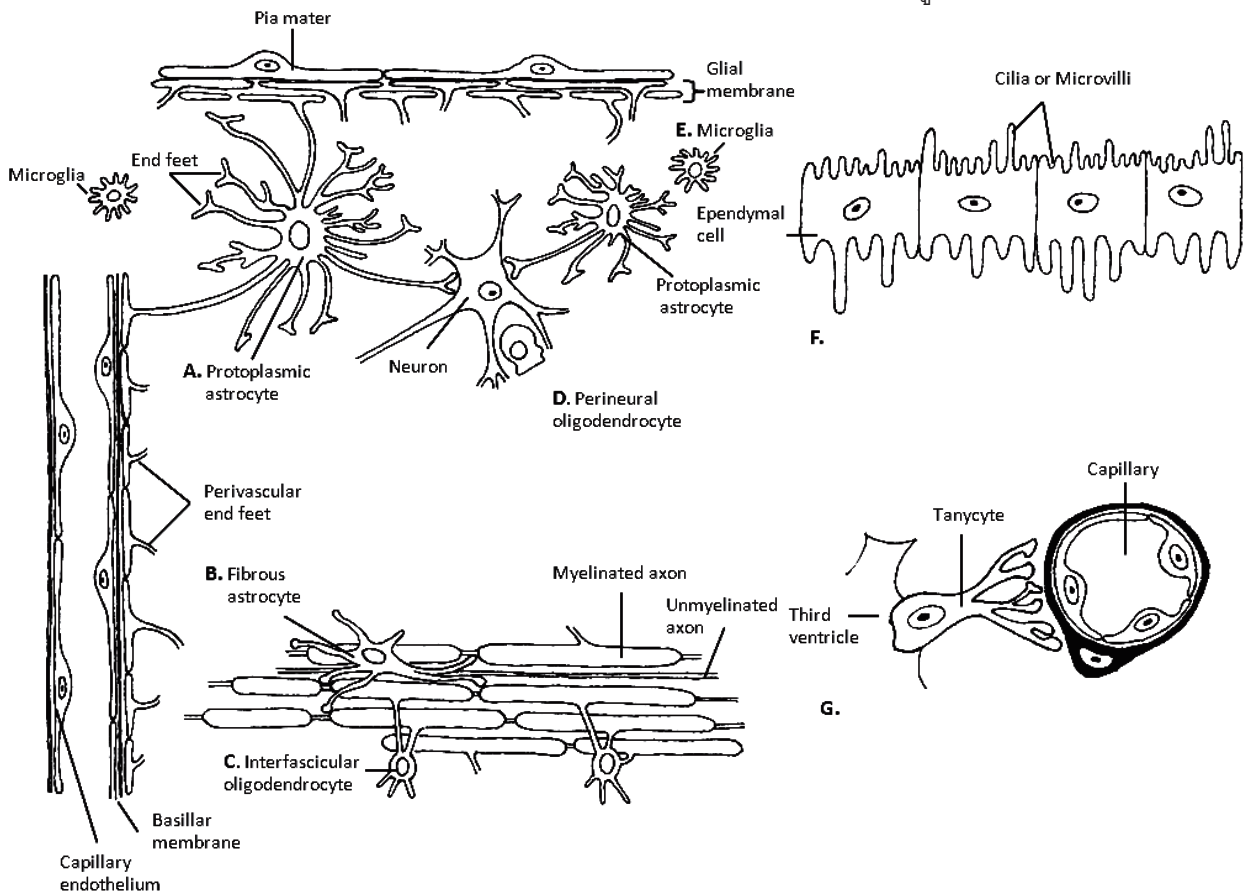
- Ependymocyte เป็น cuboidal หรือ columnar cell เป็นเซลล์ที่บุอยู่ตาม ventricle และ central canal ของ spinal cord

- Tanycyte เป็น ependymal cell ชนิดพิเศษที่พบบริเวณ third ventricle เป็นเซลล์ที่มีแขนงยื่นเข้าไปแทรกในเนื้อสมอง มีบทบาทในการขนส่งฮอร์โมนจาก cerebrospinal fluid, CSF ซึ่งเป็นน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลังไปยังหลอดเลือดฝอยบริเวณต่อมใต้สมอง

- Choroidal epithelial cell เป็น modified ependymal cell ที่บุบริเวณ choroid plexus และมีบทบาทในการสร้าง CSF และเป็นส่วนประกอบของ blood brain barrier

1.2 Microglia cell (รูปที่ 1.15 E) เป็นเซลล์ที่เจริญมาจาก mesenchyme ซึ่งมาจาก mesoderm จึงไม่ได้เจริญมาจาก neuroectoderm เหมือน glia cell ชนิดอื่นๆ เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กที่มีแขนงเล็กๆ ยื่นออกจากเซลล์ เซลล์ชนิดนี้ทำหน้าที่เก็บกินเซลล์ที่ตายแล้วหรือสิ่งแปลกปลอมภายในระบบประสาทส่วนกลาง เทียบได้กับ macrophage ของเนื้อเยื่อชนิดอื่นที่อยู่นอกกระบบประสาท

1.3 Astrocyte (รูปที่ 1.15 A, B) เป็นเซลล์ที่มีมากที่สุดในระบบประสาทส่วนกลาง astrocyte แต่ละตัวนั้น ตัวเซลล์จะมีรูปร่างคล้ายดาวและมีแขนที่ยื่นออกไปจำนวนมากซึ่งมีรูปร่างไม่แน่นอน แขนงของ astrocyte มีลักษณะเป็น vascular end feet แผ่หุ้ม capillaries และทำหน้าที่เสมือนเป็น **blood brain barrier** เพื่อทำหน้าที่เลือกสารที่เหมาะสมจากระบบไหลเวียนของเลือดเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง



รูปที่ 1.15 ลักษณะของ Glia หรือ supporting cells ชนิด Astrocyte (A, B), Oligodendrocyte (C, D), Microglia (E) และ Ependymal cell (F, G) (ดัดแปลงจาก Bhatnagar et al., 1995)

Astrocyte มี 2 ชนิด คือ protoplasmic astrocyte (รูปที่ 1.15 A) และ fibrous astrocyte (รูปที่ 1.15 B) สำหรับ protoplasmic astrocyte มีจำนวนมากที่สุด มักพบใน gray matter มีลักษณะส่วนปลายคล้ายเท้า (end feet) ยื่นแผ่ออกและต่อกันเป็น external limiting membrane คลุมด้านนอกของสมองและไขสันหลัง ส่วน fibrillary astrocyte พบใน white matter มีหน้าที่ในการซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ถูกทำลาย ทำให้เกิด scar ขึ้นในระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนี้ astrocyte ยังมีบทบาทในการสร้าง neurotrophic factor ที่จำเป็นต่อการอยู่รอดของเซลล์ประสาทและเป็นเซลล์ตัวแรกที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อระบบประสาทส่วนกลางได้รับอันตราย นอกจากนี้ astrocyte ยังเป็นเซลล์ที่ง่ายต่อการเจริญเป็นเซลล์มะเร็งด้วย

1.4 Oligodendrocyte (รูปที่ 1.8, 1.15 C, D) เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็กกว่า astrocyte และมีแขนงน้อยและสั้นกว่า astrocyte นิวเคลียสติดสีเข้มกว่า astrocyte โดยรอบของนิวเคลียสมีลักษณะใส มองเห็นคล้ายไข่ดาว เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการสร้างและการคงสภาพของ myelin sheath ในระบบ

ประสาทส่วนกลาง oligodendrocyte แต่ละตัวสามารถสร้าง myelin sheath หุ้มได้หลาย axon พร้อมๆ กันขึ้นอยู่กับความหนาของ myelin sheath กล่าวคือ ยิ่ง myelin sheath บาง oligodendrocyte หนึ่งตัวก็จะสามารถหุ้มจำนวน axon ได้มากขึ้น จากการวิจัยพบว่า oligodendrocyte สามารถสร้าง neurotrophic factor ได้ด้วย

2. Glia หรือ supporting cells ในระบบประสาทส่วนปลายมีอยู่ 2 ชนิด ดังนี้

2.1 Schwann cells (รูปที่ 1.7) เป็นเซลล์ที่พบในระบบประสาทส่วนปลายซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับ oligodendrocyte ในระบบประสาทส่วนกลางแต่ต่างกันว่า oligodendrocyte สามารถหุ้มหลาย axon ในเวลาเดียวกัน แต่ Schwann cell จะหุ้มเฉพาะบางส่วนของ axon เดียวเท่านั้น ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในบทที่ 23

นอกจากนี้ Schwann cell ยังมีความสำคัญในแง่ของขบวนการ regeneration ของเส้นประสาทที่ได้รับบาดเจ็บด้วย ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อ nerve regeneration เรียบร้อยแล้วเช่นกัน

2.2 Capsular cells หรือ Satellite cell เป็นเซลล์ที่หุ้ม cell body ของเซลล์ประสาทที่อยู่ใน sensory ganglion และ autonomic ganglion ของ spinal nerve และ cranial nerve เป็นเซลล์ที่มีขนาดเล็ก nucleus กลม เรียงตัวเป็นแกนเดี่ยว อยู่ล้อมรอบ cell body ของ ganglion cell จึงสามารถช่วยแยก ganglion cell ออกจากเซลล์อื่นได้ ส่วนการหุ้มของเซลล์นี้ใน autonomic ganglion นั้นมักจะไม่มีสมบุรณ์ แต่จะหุ้มเซลล์ใน ganglion cell ได้สมบุรณ์

ในทางคลินิกผู้ป่วยที่มีการเจริญของ glia cells มากเกินไป อาจทำให้เกิดเนื้องอกได้ตามชนิดของเซลล์สนับสนุนชนิดนั้นๆ เช่น astrocytoma, glioblastoma multiform (พยากรณ์โรคเลวร้ายที่สุด), oligodendroglioma, ependymoma, Schwannomas และ medulloblastoma

ตำราบางเล่มกล่าวไว้ว่า glia cell แบ่งเป็น microglia และ macroglia โดยที่ประกอบด้วยเซลล์ 4 ชนิด ดังนี้ astrocyte และ oligodendrocyte อยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง ส่วน Schwann cells และ capsular cells อยู่ในระบบประสาทส่วนปลาย

Meninges

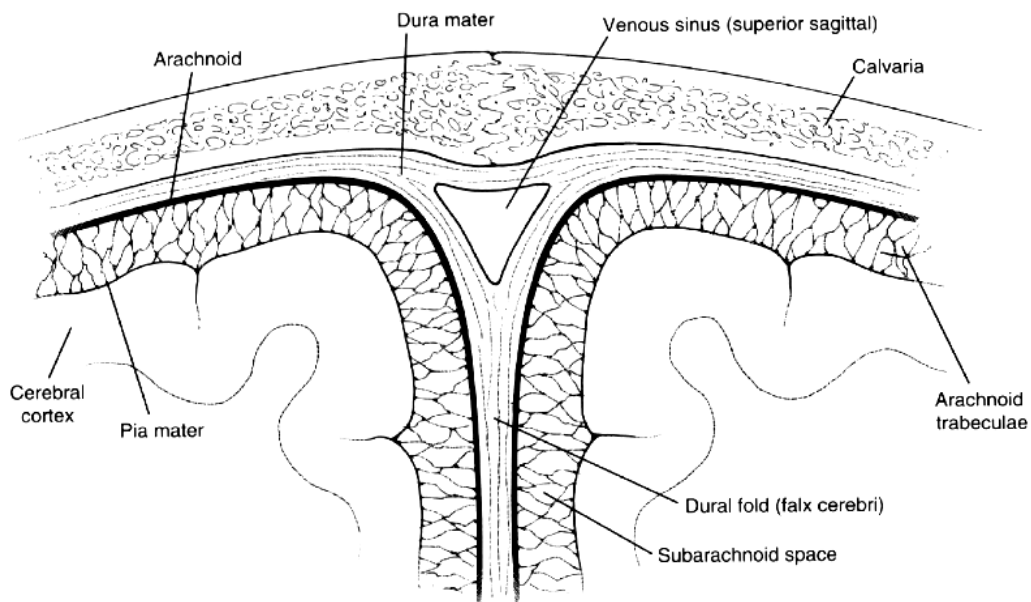
Meninges หมายถึง เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลังประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue membrane) สามชั้น ที่แยกสมองออกจากกระดูกกะโหลกศีรษะ (cranial bones) และแยกไขสันหลังออกจากกระดูกสันหลัง โดย meninges ทั้งสามชั้นมีชื่อเรียงตามลำดับจากชั้นนอกเข้าไปชั้นใน ดังนี้ dura mater, arachnoid และ pia mater (รูปที่ 1.16)

meninges ต่อเป็นผืนเดียวกันที่ foramen magnum ซึ่งเป็นรูเปิดในฐานของกะโหลกศีรษะ (base of skull) และเป็นจุดที่สมองและไขสันหลังเชื่อมต่อกัน ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

1. Dura mater

เป็นเนื้อเยื่อที่แข็งแรงและเหนียวคล้ายพังผืด (strong fibrous membrane) แบ่งเป็นสองส่วน ดังนี้

1.1 Cranial dura mater ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเหนียวคล้ายพังผืดและแข็งแรงสองชั้น เชื่อมติดแน่นกับด้านในของกะโหลกศีรษะ ยกเว้นในบริเวณที่ meninges ทั้งสองชั้นแยกจากกันเป็น dura venous sinuses ที่ทำหน้าที่ระบายเลือดดำจากสมองไปสู่หลอดเลือดดำในคอ ชั้นในของ dura mater จะแยกส่วนต่าง ๆ ของสมองออกจากกัน เช่น **falx cerebri** แทรกระหว่าง cerebral hemisphere สองซีก, **falx cerebelli** แทรกอยู่ระหว่าง cerebellar hemisphere สองซีก, **tentorium cerebelli** แทรกอยู่ระหว่างส่วนล่างของ cerebral hemisphere และ cerebellum คล้ายเต็นท์ (รูปที่ 1.17 ก, ข)



รูปที่ 1.16 เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง ประกอบด้วย เนื้อเยื่อเกี่ยวพันสามชั้น
(ดัดแปลงจาก Young et al., 1997)

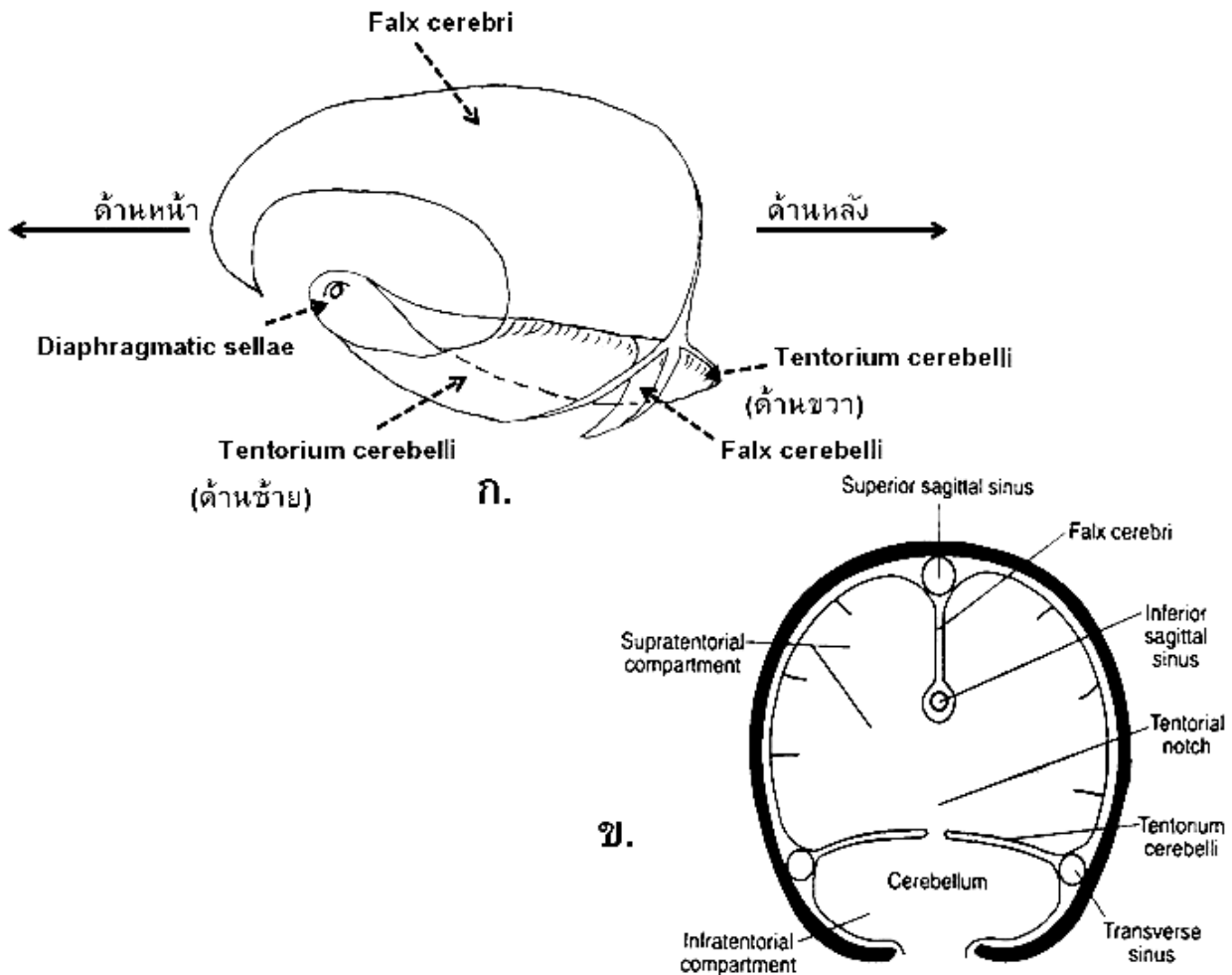
1.2 Spinal dura mater (รูปที่ 2.7) ส่วนนี้มีชั้นเดียว แยกจากกระดูกสันหลัง โดย internal vertebral venous plexus สำหรับ spinal dura mater นั้นจะหุ้มไขสันหลังอยู่อย่างหลวม ๆ และเป็นปลอกหุ้มเส้นประสาทไขสันหลังขณะไหล่ออกจากช่องไขสันหลัง dura mater จะมีลักษณะเป็นถุงตันสิ้นสุดที่ระดับกระดูกกระเบนเหน็บที่ 2 (S2)

2. Arachnoid mater

เป็นเนื้อเยื่อบาง ๆ (thin, delicate membrane) ที่หุ้มสมอง (รูปที่ 1.16) และไขสันหลัง (รูปที่ 2.7) อยู่อย่างหลวม ๆ ด้านนอก arachnoid mater ติดกับ dura mater ส่วนด้านในของ arachnoid mater มี arachnoid trabeculae คล้ายใยแมงมุมยื่นไปสู่ pia mater

3. Pia mater

เป็นเยื่อบาง ๆ ที่หุ้มแนบเนื้อสมอง (รูปที่ 1.16) และไขสันหลัง pia mater (รูปที่ 2.7) เป็นแผ่นเยื่อบางที่มีเส้นเลือดมากมาย (highly vascular membrane) ประกอบด้วยเส้นเลือดมาเลี้ยงสมองและไขสันหลังซึ่งจะทาบบอยู่บนผิววนอก



รูปที่ 1.17 ชั้นในของ dura mater จะแยกส่วนต่างๆ ของสมองออกจากกัน
(วาดใหม่จาก Young et al., 1997)

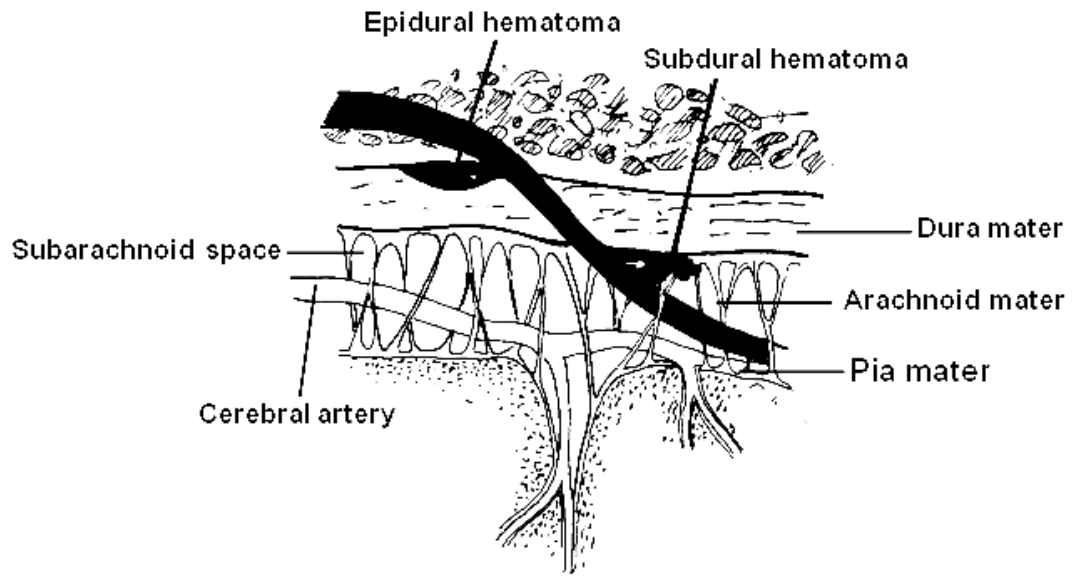
Meningeal Space

Meningeal spaces เป็นช่องที่แทรกอยู่ระหว่างชั้นของเยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง meningeal space ที่สำคัญในทางคลินิก (รูปที่ 1.18) มีดังนี้

1. **Epidural space** เป็นช่องที่แทรกอยู่ระหว่างกะโหลกศีรษะหรือกระดูกสันหลัง และ dura mater (epi แปลว่า เหนือ)

2. **Subdural space** เป็นช่องที่แทรกอยู่ระหว่าง dura mater และ arachnoid mater (sub แปลว่า ใต้)

3. **Subarachnoid space** เป็นช่องอยู่ระหว่าง pia mater และ arachnoid mater ภายใน subarachnoid space จะมี CSF บรรจุอยู่ subarachnoid space นี้จะติดต่อกับ ventricle ซึ่งเป็นที่สร้าง CSF ภายใน subarachnoid space ยังมีความสำคัญทางคลินิกมากในกรณีที่จะเอา CSF ออกมาตรวจ วินิจฉัยโดยการแทงเข็มเข้าไปใน subarachnoid space เรียกขบวนการนี้ว่า **Lumbar puncture (LP)**



รูปที่ 1.18 Meningeal space ที่สำคัญในทางคลินิก: epidural space, subdural space
(ดัดแปลงจาก Young et al., 1997)

คำถามท้ายบท

คำสั่ง ให้นักศึกษาเลือกข้อที่ถูกต้องที่สุดเพียงข้อเดียว

สิ่งเร้าทางความรู้สึก → [1] → [2] → [3] → การรับรู้ความรู้สึก

1. แผนผังข้างต้น เป็นวงจรชนิดใดต่อไปนี้ในระบบประสาท ?
 1. Reflex circuit
 2. Relay circuit
 3. Combined reflex - relay circuit
 4. Autonomic circuit
 5. Motor circuit
2. เซลล์ประสาทประเภทใดต่อไปนี้ที่พบในปมประสาทความรู้สึก (sensory ganglion) ?
 1. Unipolar neuron
 2. Bipolar neuron
 3. Multipolar neuron
 4. Polyneuron
 5. Oligoneuron
3. Bipolar neuron พบในที่ใด ?
 1. เส้นประสาทสมอง
 2. วิธีประสาทการรับกลืน
 3. เซลล์ประสาททั่วไปในระบบประสาทส่วนกลาง
 4. เส้นประสาทไขสันหลัง
 5. เส้นประสาทอัตโนมัติ
4. เซลล์ชนิดใดต่อไปนี้ทำหน้าที่สร้างเส้นประสาทชนิดมีปลอกหุ้มในระบบประสาทส่วนกลาง ?
 1. Astrocyte
 2. Schwann cell
 3. Oligodendrocyte
 4. Ependymal cell
 5. Microglia
5. ข้อใดเป็น non-encapsulated sensory nerve ending ?
 1. Free nerve ending
 2. Meissner's corpuscle
 3. Sensory end bulb
 4. Pacinian corpuscle
 5. Neuromuscular spindle

บรรณานุกรม

1. มีชัย ศรีไธ. ประสาทกายวิภาคศาสตร์.กรุงเทพฯ : สันปรีษฐ์การพิมพ์, 2530: 199-211.
2. Barr ML, Kiernan JA. The human nervous system. 6th ed. Philadelphia: JB. Lippincott, 1993: 1-52.
3. Bhatnagar SC, Andy OJ. Neuroscience for the study of communicative disorders. Baltimore: Williams & Wilkins, 1995: 4-10.
4. Burt AM. Textbook of neuroanatomy. Philadelphia: W.B. Saunders, 1993:31-60.
5. Carpenter MB. Core text of neuroanatomy. 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1991:1-9.
6. DeMyer W. Neuroanatomy: The national medical series for independent study. USA: Harwel publishing, 1988:1-10.
7. Fix JD. Neuroanatomy. Philadelphia: Harwel publishing, 1992:59-72.
8. Fix JD. High-Yield Neuroanatomy. Philadelphia: Williams & Wilkins, 1995:22-5.
9. Gilman S, Newman SW. Essentials of clinical neuroanatomy and neurophysiology. 9th ed. Bangkok: Book promotion & service, 1997:3-6.
10. Halstead LS. Postpolio syndrome and exercise. In: Basmajian JV, Wolf SL, editors. Therapeutic exercise. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1990: 231-240.
11. Heimer L. The human brain and spinal cord. 2nd ed. New York: Springer-Verlag, 1995:1-50.
12. Jacob R. Elder Care. New York: Grum & Stratton,1981.
13. Jessell TM. Reactions of neuron to injury. In: Kandel ER et al ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton & Lange, 1991: 258-269.
14. Kandel ER, Siegelbaum SA. Directly gated transmission at the nerve-muscle synapse. In: Kandel ER et al ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton & Lange, 1991: 135-152.
15. Kandel ER. Nerve cells and behavior. In: Kandel ER et al. ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton & Lange, 1991: 18-32.
16. Kellogg R. Peripheral neuropathies and entrapment syndromes. In: Payton OD et al ed. Manual of physical therapy. NewYork: Churchill Livingstone, 1989:15-47.
17. Kelly JP, Dodd J. Anatomical organization of the nervous system. In: Kandel ER et al ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton & Lange, 1991: 273-282.
18. Martin JH. Neuroanatomy: text and atlas. 2nd ed. Connecticut: Appleton & Lange, 1996:1-4.
19. Martinez M. Neuroanatomy: development and structure of the central nervous system. Philadelphia: W.B. Saunders, 1982:117-140.

20. Noback CR, Demarest RJ. The human nervous system: basic principles of neurobiology. 3rd ed. Taiwan: McGraw-Hill, 1983: 90-123.
21. Nolte J. The human brain. 3rd ed. Chicago: Mosby year book, 1993: 1-10.
22. Pansky B, Allen DJ, Budd GC. Review of neuroscience. 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill, 1992: 56-61.
23. Patten J. Neurological differential diagnosis. 2nd ed. London: Springer-Verlag, 1996: 315-332.
24. Rowland LP. Disease of chemical transmission at the nerve-muscle synapse: Myasthenia gravis. In: Kandel ER et al ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton&Lange, 1991: 235-243.
25. Schwartz JH. The cytology of neurons. In: Kandel ER et al ed. Principles of neural science. 3rd ed. USA: Appleton & Lange, 1991: 37-48.
26. Snell RS. Clinical neuroanatomy for medical students. 4th ed. Boston: Little, Brown, 1997: 3-47.
27. Tan CK, Wong WC. Handbook of neuroanatomy. Singapore: PG Publishing, 1990: 11-8.
28. Waxman SG, deGroot J. Correlative neuroanatomy. 22th ed. Connecticut: Appleton & Lange, 1995: 1-6.
29. Young PA, Young PH. Basic clinical neuroanatomy. Maryland: Williams & Wilkins, 1997: 1-11.

บทที่ 2

Spinal Cord

วัตถุประสงค์

เมื่อจบบทเรียนนี้แล้วนักศึกษาสามารถ

1. บอกส่วนประกอบและความสำคัญของโครงสร้างภายนอกของไขสันหลัง
2. ชี้แสดงร่องของไขสันหลัง
3. อธิบายการเจริญเติบโตของไขสันหลัง
4. อธิบายโครงสร้างของ spinal nerve
5. อธิบายลักษณะและชี้แสดง spinal meninges ชั้นต่าง ๆ
6. บอกความสำคัญของ subarachnoid space ในทางคลินิก
7. อธิบายวิธีการและความสำคัญของ lumbar puncture
8. บอกส่วนประกอบและความสำคัญของโครงสร้างภายในไขสันหลัง
10. อธิบายลักษณะของ cell column และ laminae ภายในไขสันหลัง
11. บอกความแตกต่างของภาพตัดขวางไขสันหลังระดับต่าง ๆ
12. สามารถนำความรู้บทนี้ไปประยุกต์ใช้ทางคลินิก

Spinal Cord

นักศึกษาหนุ่มวัย 17 ปี ประสบอุบัติเหตุทางรถยนต์และพบว่ามีการกดขี่หลังส่วนคอที่ 5-6 (C5-6) เคลื่อน ทำให้เกิดการกดขี่หลังอย่างเฉียบพลัน ทำให้เป็นอัมพาตแขนและขา (Quadriplegia) และสูญเสียความรู้สึกทั้งหมด (loss of all sensation) ที่ระดับต่ำกว่าระดับพยาธิสภาพของไขสันหลังลงไปประกอบกับไม่สามารถควบคุมการขับถ่ายอุจจาระและปัสสาวะได้ (paralysis of bowel and bladder)

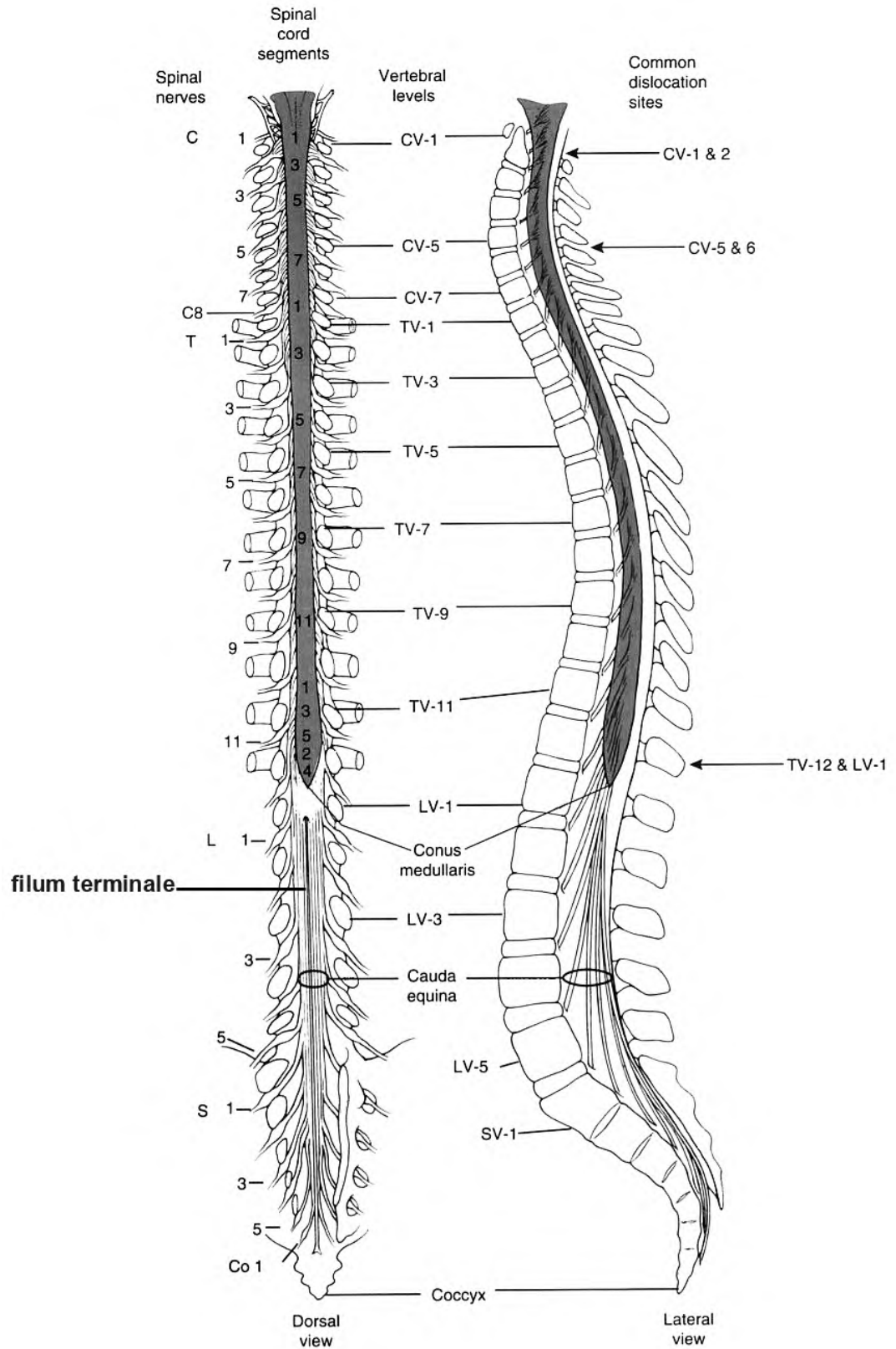
spinal cord หรือไขสันหลัง จัดอยู่ในระบบประสาทส่วนกลาง เป็นโครงสร้างที่ต่อเนื่องลงมาจากสมองทำหน้าที่เป็นทางผ่านให้สมองสั่งการส่วนต่างๆ ของร่างกายที่อยู่ต่ำกว่าศีรษะลงมาในรูปของกระแสประสาทรับความรู้สึกและกระแสประสาทสั่งการโดยผ่านทาง spinal nerve ดังนั้นถ้าไขสันหลังถูกทำลายย่อมส่งผลให้ผู้ป่วยสูญเสียความรู้สึกและเป็นอัมพาตในส่วนของร่างกายที่ไขสันหลังส่วนนั้นควบคุม

ลักษณะภายนอกของไขสันหลัง

ไขสันหลังเป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทส่วนกลาง อยู่ภายใน $\frac{2}{3}$ ด้านบนของ vertebral canal ซึ่งเป็นช่องไขสันหลังที่เกิดจากกระดูกสันหลังระดับคอ 7 ชั้น ออก 12 ชั้น เอว 5 ชั้น กระเบนเหน็บ 5 ชั้น และกระดูกก้นกบ 4 ชั้นเรียงต่อกันเป็นลำกระดูกสันหลัง เรียกว่า **vertebral column**

ไขสันหลังมีรูปร่างคล้ายทรงกระบอกค่อนข้างแบนทางด้านหน้าหลัง ปกป้องโดยกระดูกสันหลัง, ligament, กล้ามเนื้อ และ meninges ไขสันหลังเริ่มต้นจาก foramen magnum ลงไปสิ้นสุดที่ขอบล่างของกระดูกสันหลังเอวที่หนึ่ง (L1) หรือขอบบนของกระดูกสันหลังเอวที่สอง (L2) มีความยาวประมาณ 42-45 เซนติเมตร (รูปที่ 2.1) ไขสันหลังเหมือน vertebral column ตรงที่แบ่งเป็นปล้องๆ เหมือนกัน เรียกว่า **spinal segment** แต่ไม่สามารถมองเห็นได้จากภายนอกและติดต่อกับอวัยวะต่างๆ ด้วย spinal nerve ฉะนั้นไขสันหลังจึงเป็นโครงสร้างที่สมองใช้ติดต่อกับทุกส่วนของร่างกายที่อยู่ต่ำกว่าศีรษะลงไป

ส่วนปลายของไขสันหลังเรียวยาวเล็กลง เรียกว่า **conus medullaris** (รูปที่ 2.1) กลุ่มเส้นประสาทที่อยู่รอบ conus medullaris มีลักษณะเป็นพวงเหมือนหางม้า เรียกว่า **cauda equina** (รูปที่ 2.1) ปลายของ conus medullaris มี **filum terminale** ยื่นยาวไปยึดไว้กับกระดูก coccyx สำหรับ filum terminale ไม่มีหน้าที่ที่สำคัญอะไรเชื่อว่าเป็นเพียงซากที่เหลืออยู่ของไขสันหลังส่วนหางของตัวอ่อน (embryo) เท่านั้น



รูปที่ 2.1 ลักษณะภายนอกของไขสันหลัง (วาดใหม่จาก Young et al., 1997) C=cervical, T=thoracic, L=lumbar, S=sacrum, Co=coccyx, CV=cervical vertebrae, TV=thoracic vertebrae, LV=lumbar vertebrae, SV=sacral vertebrae

ส่วนขยายใหญ่ของไขสันหลัง

แม้ว่าไขสันหลังมีลักษณะคล้ายทรงกระบอกแต่ขนาดไม่เท่ากันตลอดแนว มีส่วนขยายขนาดใหญ่ขึ้นสองแห่ง (รูปที่ 2.1) คือ

1. Cervical enlargement (เส้นผ่าศูนย์กลาง 13-14 มิลลิเมตร) เป็นส่วนขยายใหญ่ของไขสันหลังระดับคอ ตรงกับช่วง spinal segment ระดับ C4-T1 บริเวณนี้ขยายใหญ่กว่าที่อื่น เนื่องจากเป็นที่อยู่ของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ควบคุมกล้ามเนื้อของแขนและมือโดยผ่านทาง brachial plexus

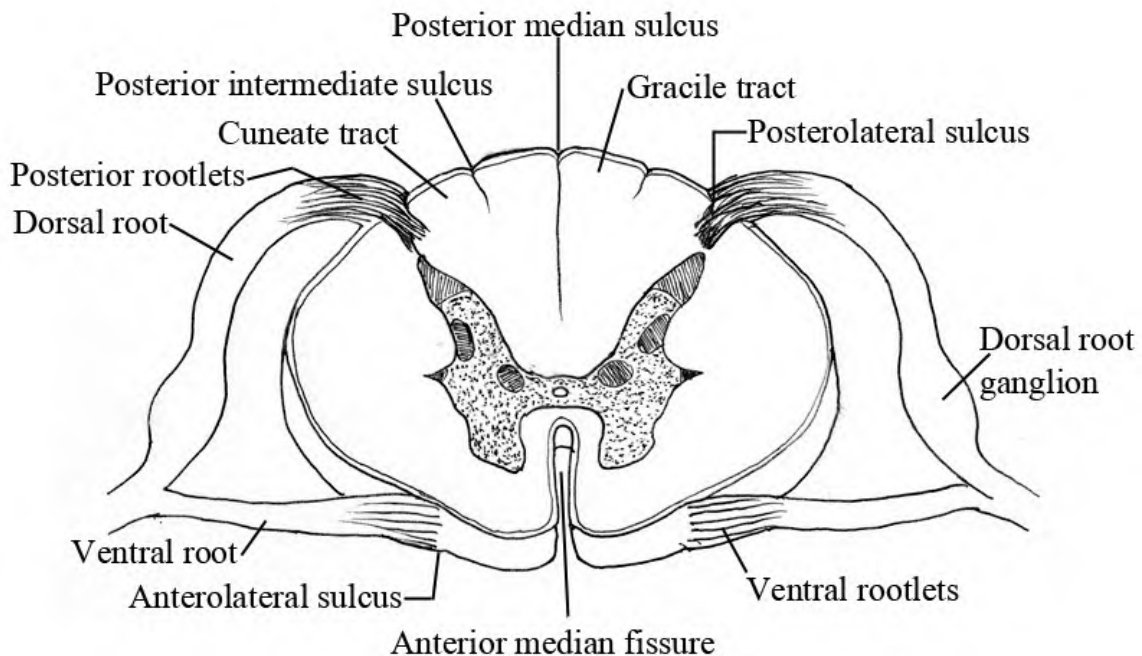
2. Lumbosacral enlargement (เส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร) เป็นส่วนขยายใหญ่ของไขสันหลังระดับ lumbosacral junction อยู่ในช่วง spinal segment L2-S3 บริเวณนี้ขยายใหญ่กว่าที่อื่น เนื่องจากเป็นที่อยู่ของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ควบคุมกล้ามเนื้อขาและเท้าโดยผ่านทาง lumbosacral plexus

Thoracic spinal segment เป็นส่วนยาวและแคบที่สุด (เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร) และ sacral spinal segment เป็นส่วนที่สั้นที่สุด

ร่องของไขสันหลัง

ไขสันหลังมีร่องที่ตื้น (sulci) และลึก (fissure) ที่สำคัญ (รูปที่ 2.2) ดังนี้

1. Anterior (ventral) median fissure เป็นร่องลึกในแนวกลางตัวทางด้านหน้า ภายในร่องนี้มี pia mater และ anterior spinal vessel



รูปที่ 2.2 ร่องของไขสันหลัง (วาดใหม่จาก Young et al., 1997)

2. **Anterolateral (ventrolateral) sulcus** เป็นร่องตื้นอยู่ทางด้านหน้าเยื้องไปทางด้านข้างของไขสันหลัง เป็นทางผ่านออกของ ventral root

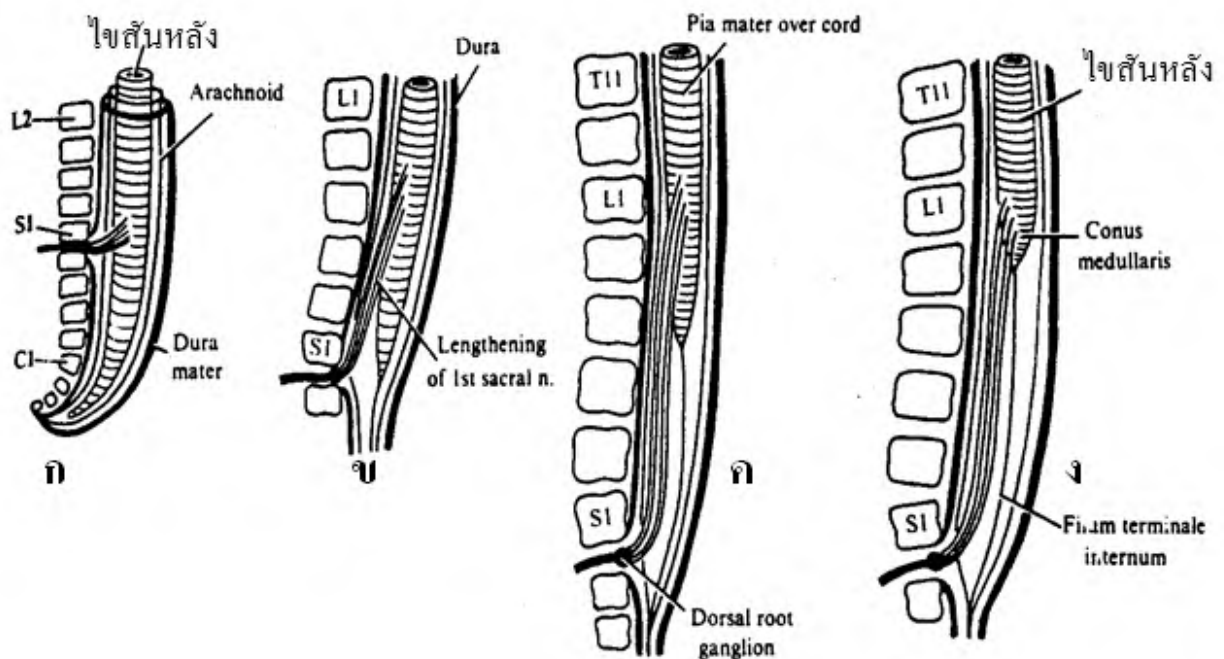
3. **Posterolateral (dorsolateral) sulcus** เป็นร่องตื้นอยู่ทางด้านหลังเยื้องไปทางด้านข้างของไขสันหลัง เป็นทางเข้าของ dorsal root และเป็นที่อยู่ของ posterior spinal vessel

4. **Posterior median sulcus** เป็นร่องตื้นที่อยู่ตรงข้ามกับ anterior median fissure เห็นไม่ค่อยชัด

การเจริญเติบโตของไขสันหลัง

การเจริญเติบโตที่ต่างกันระหว่างไขสันหลังและกระดูกสันหลังมีผลกระทบต่อระดับไขสันหลัง ดังนี้ ในช่วงระยะตัวอ่อน (embryonic period) ปลายล่างของไขสันหลังอยู่ตรงกับระดับของกระดูกสันหลัง (รูปที่ 2.3 ก) เมื่อตัวอ่อนอายุได้ 6 เดือน ปลายล่างของไขสันหลังอยู่ตรงกับระดับของกระดูกสันหลังระดับกระเบนเหน็บที่ 1 (S1) (รูปที่ 2.3 ข) แต่เนื่องจากกระดูกสันหลังเจริญเร็วกว่าจึงดูเหมือนว่าไขสันหลังหดสั้นขึ้นไป ดังนั้นในเด็กแรกเกิด (newborn) ปลายล่างของไขสันหลังจึงสิ้นสุดที่กระดูกเอวที่สองและสาม (L2-3) (รูปที่ 2.3 ค) ต่อมาหลังคลอดกระดูกสันหลังยังคงเจริญเร็วกว่าจนกระทั่งเป็นผู้ใหญ่ ปลายล่างของไขสันหลังจึงอยู่ตรงกับกระดูกสันหลังระดับเอวที่หนึ่ง (L1) (รูปที่ 2.3 ง) แต่ปลายล่างของไขสันหลังอาจจะสิ้นสุดได้ตั้งแต่กระดูกสันหลังระดับ T12 ถึง L3

จากลักษณะการเจริญของไขสันหลังดังกล่าว จึงทำให้ระดับ spinal segment จะไม่ตรงกับระดับของกระดูกสันหลัง เช่น ตำแหน่งของ conus medullaris ตรงกับ spinal segment S2-3-4 ซึ่งตรงกับ body ของกระดูกสันหลัง L1 เป็นต้น



รูปที่ 2.3 การเจริญเติบโตของไขสันหลังตั้งแต่ระยะตัวอ่อนจนถึงผู้ใหญ่ (ก : ตัวอ่อนอายุ 3 เดือน ข: ตัวอ่อนอายุ 6 เดือน, ค : แรกเกิด, ง : ผู้ใหญ่) (ดัดแปลงจาก Pansky et al., 1992)

มีวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการจำว่าปล้องไขสันหลังในผู้ใหญ่ระดับใดตรงกับกระดูกสันหลังอันไหน ดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับไขสันหลังและกระดูกสันหลัง

ระดับกระดูกสันหลัง	ระดับของ spinal segment
Cervical	C-spine + 1
Thoracic 1-6	T-spine + 2
Thoracic T7-9	T-spine + 3
Thoracic T10	L1-2 cord segment
Thoracic T11	L 3-4 cord segment
Thoracic T12	L 5 segment
Lumbar L1	Conus medullaris

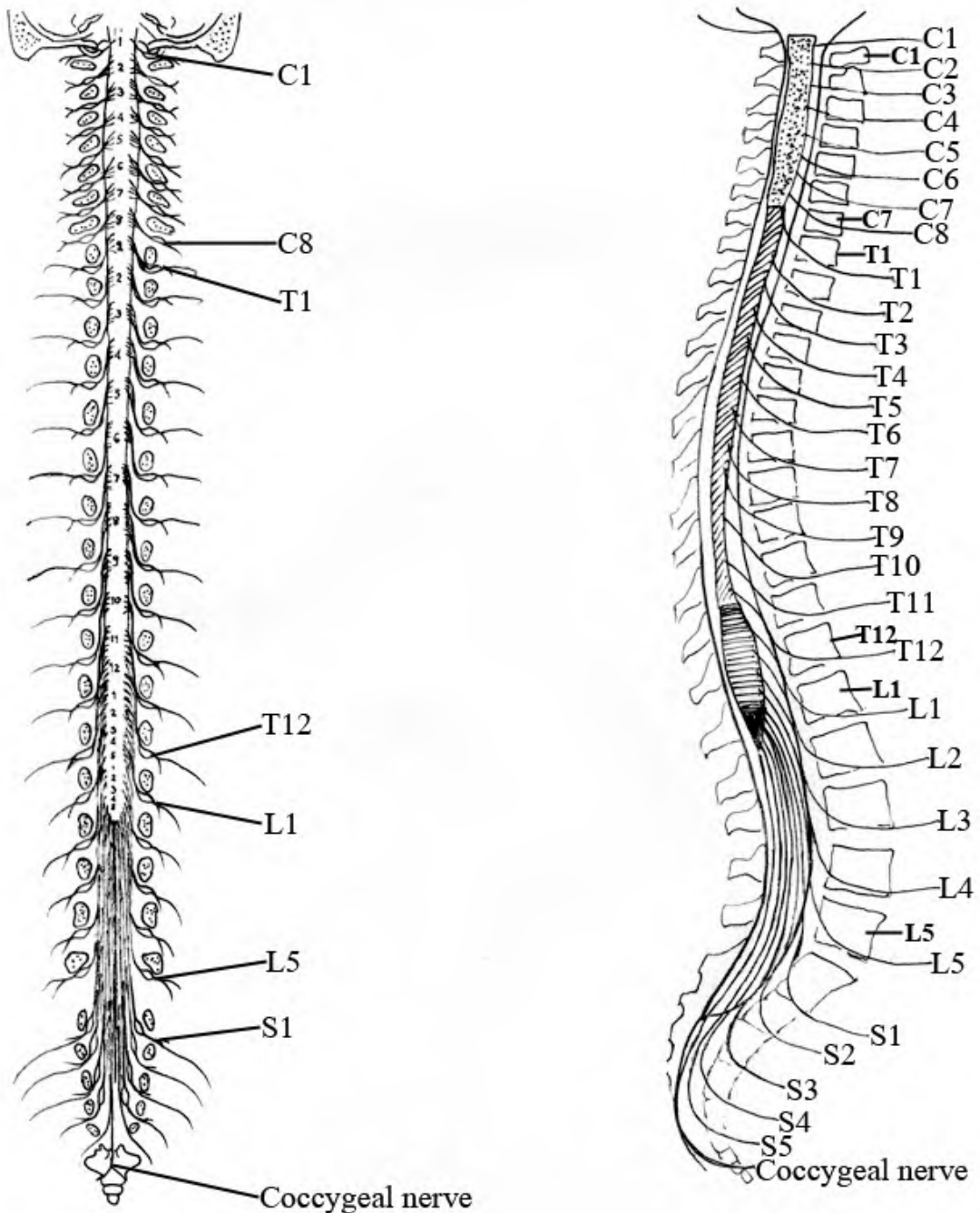
วิธีการนำสูตรข้างต้นไปใช้ ดังนี้ ถ้าหากผู้ป่วยมีกระดูกสันหลัง T4 หัก ทำให้เกิดพยาธิสภาพของ spinal segment ระดับที่ T4+2 คือ T6 ดังนั้นผู้ป่วยรายนี้จะเสียความรู้สึกและกล้ามเนื้อที่ควบคุมโดย spinal segment T6 นั้นเอง

ในสหรัฐอเมริกาสถิติว่ามีผู้ป่วยบาดเจ็บไขสันหลัง (spinal cord injuries) ใหม่ประมาณ 10,000 รายต่อปี และประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ ของผู้ป่วยเหล่านี้เกิดความพิการแบบถาวร (permanent disabilities) ปัจจุบันนี้มีชาวอเมริกันประมาณสองแสนคนที่ต้องใช้รถเข็น (wheelchairs) เนื่องจากได้รับบาดเจ็บไขสันหลัง การบาดเจ็บไขสันหลังพบมากในกลุ่มคนอายุน้อย ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ เกิดการบาดเจ็บเมื่ออายุ 15-20 ปี และ 80 เปอร์เซ็นต์ เกิดการบาดเจ็บอายุน้อยกว่า 40 ปี อุบัติการณ์ (incidence) ของการบาดเจ็บแตกต่างกัน (Young, 1997) สำหรับความชุก (prevalence) ของโรคพบตั้งแต่ 500-900 คนต่อประชากรหนึ่งล้านคน ถ้าคิดที่ 900 ต่อล้าน ประเทศไทยมีประชากร 60 ล้านคน จะมีผู้พิการจากการบาดเจ็บไขสันหลัง 54,000 คน สำหรับการบาดเจ็บไขสันหลังในประเทศไทยส่วนใหญ่เกิดจากอุบัติเหตุรถยนต์และจักรยานยนต์ สองในสามของผู้ป่วยอายุประมาณ 30 ปี และส่วนใหญ่เป็นชาย (Kovindha, 1985)

ความสัมพันธ์ระหว่างไขสันหลังและกระดูกสันหลังนั้นมีความสำคัญทางคลินิกมาก แพทย์นิยมบอกระดับของพยาธิสภาพของไขสันหลังตาม spinal segment แต่เนื่องจากระดับ spinal segment ดังกล่าวจะอยู่ไม่ตรงกับกระดูกสันหลัง ดังนั้นก่อนที่จะทำการผ่าตัดแพทย์จะต้องรู้ว่าระดับของพยาธิสภาพของกระดูกสันหลังนั้นตรงกับ spinal segment ระดับใด

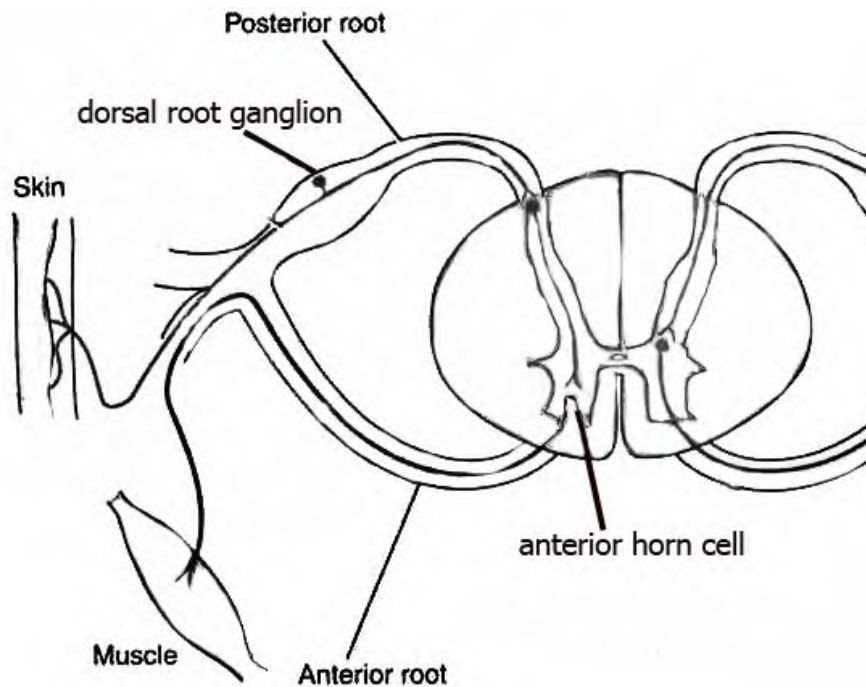
โครงสร้างของ spinal nerve

spinal segment แบ่งออกเป็นปล้องได้ 31 ปล้อง (รูปที่ 2.1, 2.4) คือ spinal segment ระดับ cervical 8 ปล้อง, ระดับ thoracic 12 ปล้อง, ระดับ lumbar 5 ปล้อง, ระดับ sacral 5 และระดับ coccyx 1 ปล้อง spinal segment ได้ชื่อและหมายเลขตาม spinal nerve ที่ยื่นออกจากปล้องนั้นๆ



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง spinal segment, spinal nerve และกระดูกสันหลัง
(ดัดแปลงจาก Pansky et al.,1992)

ส่วน spinal nerve ได้ชื่อและหมายเลขตามระดับที่โผล่ออกมาจาก intervertebral foramen spinal nerve มีทั้งหมด 31 คู่ เกิดจากการรวมตัวของ anterior (ventral) root ที่เป็นรากประสาทหน้า และ posterior (dorsal) root ที่เป็นรากประสาทหลัง (รูปที่ 2.5) ยกเว้น spinal nerve ระดับคอ (C1) และเส้นสุดท้าย (coccygeal spinal nerve) มีเฉพาะ anterior root โดย anterior root ออกจากไขสันหลังประกอบด้วย motor fiber ทำหน้าที่ควบคุมกล้ามเนื้อและต่อมต่างๆ posterior root เข้าไปในไขสันหลังประกอบด้วยใยประสาทขาเข้า (afferent) หรือ sensory fiber ทำหน้าที่รับความรู้สึกจากปลายประสาท เช่น จากบริเวณผิวหนังเข้าสู่ไขสันหลัง เซลล์ประสาทตั้งต้นของ anterior root คือ anterior horn cell สำหรับเซลล์ประสาทตั้งต้นของ dorsal root อยู่ที่ dorsal root ganglion ที่เป็นปมประสาทรับความรู้สึก ตรงตำแหน่ง posterolateral sulcus มี posterior (dorsal) root ติดอยู่ ซึ่งถักออกไปเป็น dorsal root ganglion ส่วน anterolateral sulcus มี anterior root ออกมา (รูปที่ 2.2) ทั้ง anterior root และ dorsal root มาบรรจบกันเป็น spinal nerve ณ จุดที่พ้นจาก dorsal root ganglion (รูปที่ 2.5) แล้วออกจาก intervertebral foramen ซึ่งอยู่ในตำแหน่งเดียวกับ pedicle ของ vertebrae

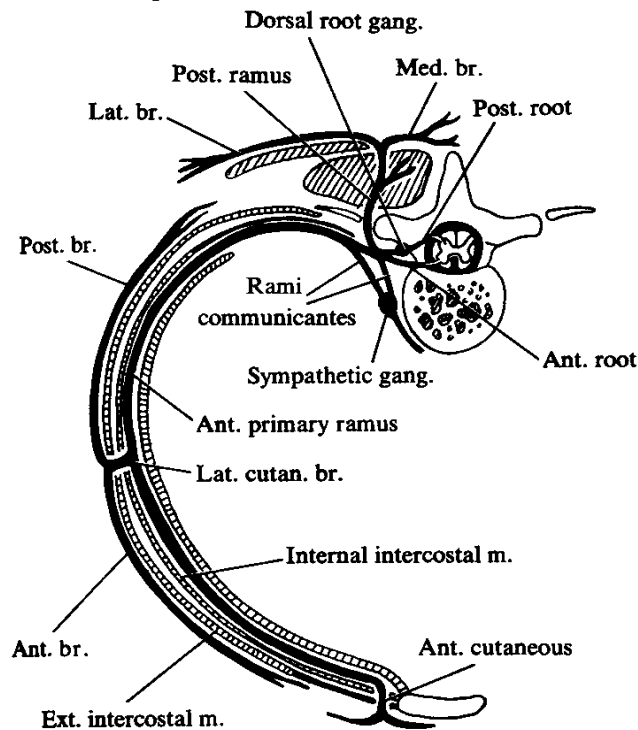


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของ spinal nerve

ควรจำไว้ว่า spinal nerve เป็น เส้นประสาทชนิดผสม (mixed nerve) หมายถึง ภายใน spinal nerve หนึ่งเส้นประกอบด้วย motor fiber, sensory fiber และ autonomic fiber บริเวณของผิวหนังที่รับความรู้สึกจาก spinal nerve หนึ่งเส้นเรียกว่า **Dermatome** จะกล่าวรายละเอียดในบทเรื่องระบบความรู้สึกรู้สึก ส่วนกล้ามเนื้อที่ได้รับการควบคุมจาก spinal nerve หนึ่งเส้น เรียกว่า **Myotome** จะกล่าวรายละเอียดในบทเรื่อง lower motor neuron

สิ่งที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือ ภายใน anterior root ของไขสันหลังระดับ thoracolumbar (T1-L2) และกระเบนเหน็บ (S2-3-4) ประกอบด้วย autonomic fiber ซึ่งเป็นใยประสาทอัตโนมัติ

ทันทีที่ spinal nerve โผล่พ้นช่อง intervertebral foramen แล้วเป็นเส้นประสาทผสม จากนั้นแยกออกเป็น anterior (primary) ramus และ posterior (primary) ramus (รูปที่ 2.6) ซึ่งแต่ละ ramus จะประกอบด้วย motor fiber และ sensory fiber โดย posterior ramus ผ่านออกด้านหลังและแตกแขนงควบคุมกล้ามเนื้อ รับความรู้สึกจากผิวหนังส่วนหลัง ส่วน anterior ramus ผ่านออกทางด้านหน้าและแตกแขนงควบคุมกล้ามเนื้อ รับความรู้สึกจากผิวหนังบริเวณด้านหน้า



รูปที่ 2.6 แขนงทางเดินแยกของ anterior rami และ posterior rami

(ดัดแปลงมาจาก Pansky et al., 1992)

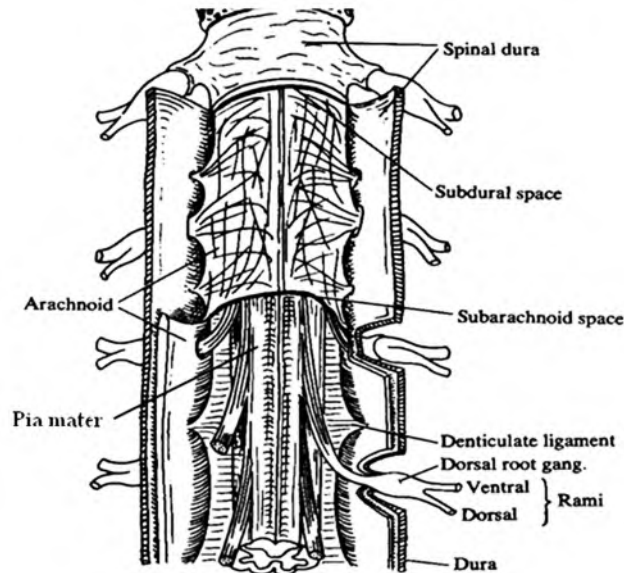
Spinal nerve จัดอยู่ในระบบประสาทส่วนปลายมีทั้งหมด 31 คู่ ดังนี้

cervical spinal nerves	เป็นเส้นประสาทไขสันหลังส่วนคอ	8 คู่
thoracic spinal nerve	เป็นเส้นประสาทไขสันหลังส่วนอก	12 คู่
lumbar spinal nerve	เป็นเส้นประสาทไขสันหลังส่วนเอว	5 คู่
sacral spinal nerve	เป็นเส้นประสาทไขสันหลังส่วนกระเบนเหน็บ	5 คู่
coccygeal spinal nerve	เป็นเส้นประสาทไขสันหลังส่วนหาง	1 คู่

สำหรับตำแหน่งที่ spinal nerve ออกจาก intervertebral foramen ไม่ตรงกับช่องกระดูกสันหลังเดียวกัน spinal nerve C1- C7 จะออกจาก intervertebral foramen ที่อยู่เหนือกว่ากระดูกสันหลังระดับเดียวกัน (รูปที่ 2.4) ตัวอย่างเช่น spinal nerve C4 จะออกจาก intervertebral foramen ที่อยู่เหนือกว่ากระดูกสันหลัง C4 เป็นต้น แต่ spinal nerve ตั้งแต่ T1 ลงไปจะออกจาก intervertebral foramen ที่อยู่ต่ำกว่ากระดูกสันหลังระดับเดียวกันกับ spinal nerve นั้นๆ ตัวอย่าง เช่น spinal nerve T6 จะออกจาก intervertebral foramen ที่อยู่ต่ำกว่ากระดูกสันหลัง T6 เป็นต้น สำหรับ spinal nerve C8 จะออกจาก intervertebral foramen ที่อยู่ต่ำกว่า C7 และเหนือกว่า T1 เนื่องจากโดยทั่วไปของคนเรามีกระดูกสันหลังส่วนคอ 7 อัน ขณะที่ spinal nerve ระดับคอมี 8 คู่ (รูปที่ 2.4)

Spinal meninges

เนื่องจากไขสันหลังเป็นระบบประสาทที่บอบบางล่อแหลมต่อการได้รับอันตรายจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมียหุ้มห่อหุ้มที่ เรียกว่า **spinal meninges** หรือ เยื่อหุ้มไขสันหลัง มี 3 ชั้น คือ dura mater, arachnoid mater และ pia mater (รูปที่ 2.7) มีรายละเอียดแต่ละชั้น ดังนี้



รูปที่ 2.7 spinal meninges สามชั้น : dura mater, arachnoid mater, pia mater
(ดัดแปลงจาก Pansky et al., 1992)

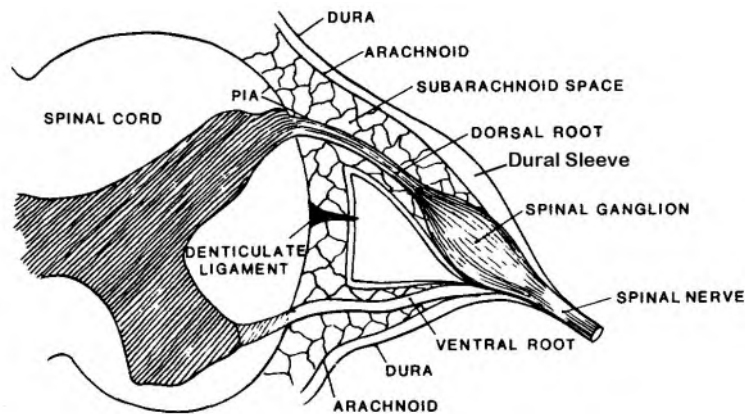
1. **Dura mater** (mater = mother, dura = hard) เป็นแผ่นหนาและเหนียวอยู่ชั้นนอกสุดเริ่มตั้งแต่กระดูกสันหลังระดับ S2 ขึ้นไปจนถึงขอบบนของ foramen magnum ระหว่าง dura mater กับกระดูกสันหลังมีช่องเรียกว่า **epidural space** ซึ่งมี vertebral venous plexus ที่มีไขมันและกลุ่มเส้นเลือดดำที่ประสานกันบรรจุอยู่ภายใน

Vertebral venous plexus เป็นเส้นเลือดดำที่ไม่มีลิ้นและติดต่อกับ dural venous sinus ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมเลือดจากหลอดเลือดดำในสมอง, หลอดเลือดดำในช่องท้องและช่องเชิงกราน ดังนั้นเซลล์มะเร็งของผู้ป่วยโรคมะเร็งในช่องท้องหรือช่องเชิงกรานจึงอาจแพร่กระจายไปสู่สมองได้โดยผ่านทาง vertebral venous plexus ได้

ในระดับต่ำกว่าไขสันหลังนั้น dura mater ย่อลงไปเป็นถุงตันเรียก **dural sac** ซึ่งมีก้นถุงอยู่ที่ระดับขอบล่างของกระดูกสันหลัง S2 (รูปที่ 2.1) dural sac จึงมีขอบเขตจากขอบบนของกระดูกสันหลัง L1 ซึ่งเป็นจุดที่ไขสันหลังสิ้นสุดเป็น conus medullaris จนถึงระดับขอบล่างของกระดูกสันหลัง S2 ซึ่งเป็นก้นถุงของ dural sac เนื่องจาก arachnoid บุด้านในของ dural sac ดังนั้น สิ่งที่บรรจุอยู่ใน dural sac จึงอยู่ใน subarachnoid space ภายใน dural sac มีสิ่งต่อไปนี้ : (1) filum terminale (2) cauda equina

ซึ่งประกอบด้วย lumbosacral nerve roots และ (3) cerebrospinal fluid (CSF) ในระดับพ้นจาก dural sac ลงไปนั้น dura mater จะยึดตามไปหุ้ม filum terminale ซึ่งเป็นส่วนยื่นของ pia mater มีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นด้ายเมื่อทะลุผ่านกัน dural sac ลงไปเพื่อยึดอยู่กับ periosteum ที่คลุมด้านหลังของ coccyx เราเรียก filum terminale ส่วนที่พ้นจาก dural sac นี้ว่า **coccygeal ligament** (รูปที่ 2.4) ส่วน dura mater ที่ตามไปหุ้มส่วน spinal nerve และ dorsal root ganglion เรียกว่า **dural cuff** หรือ **dural sleeve** (รูปที่ 2.8)

2. Arachnoid mater (arachnoid = spider) เป็นแผ่นเยื่อบางๆ มีลักษณะคล้ายใยแมงมุม (arachnoid trabeculae) อยู่ใต้ชั้น dura mater ทำหน้าที่หุ้มไขสันหลังอยู่อย่างหลวมๆ ระหว่างชั้น arachnoid mater และ pia mater มีช่องเรียกว่า **subarachnoid space** (รูปที่ 2.7) ซึ่งมี CSF บรรจุอยู่เพื่อทำหน้าที่เป็นหมอนกันกระแทกสำหรับป้องกันอันตรายต่อไขสันหลัง arachnoid จะหุ้ม spinal nerve และ dorsal root ganglion และตาม dural sac ไปจนถึงปลายสุดของระดับกระดูกสันหลัง S2 ด้วย



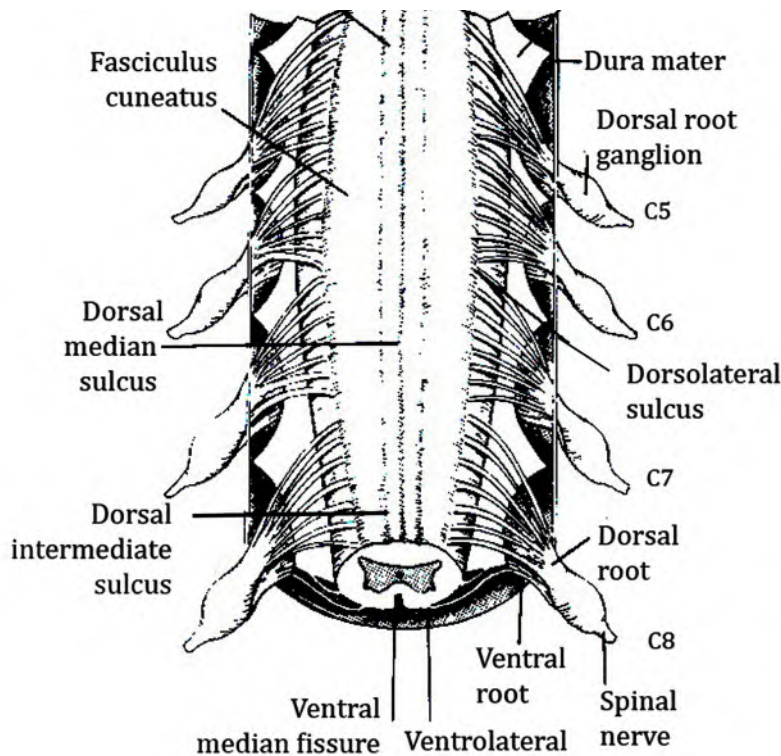
รูปที่ 2.8 แสดง dural cuff (ดัดแปลงจาก Pansky et al., 1992)

3. Pia mater (pia = tender) เป็นเนื้อเยื่อบางๆ อยู่ชั้นในสุดแนบเนื้อไขสันหลัง และแทรกอยู่ตามร่องสันและลึก (sulci, fissure) ของไขสันหลังด้วย ส่วนของ pia mater ที่ยึดกับไขสันหลังมีดังนี้

3.1 Dentate (denticulate) ligaments เป็นแผ่นพังผืดที่เป็นส่วนของ pia mater มี 21 คู่ อยู่สองข้างของไขสันหลังที่จุดกึ่งกลางระหว่าง anterior root และ posterior root คู่บนและล่างที่ติดกันปลายด้านในของ dentate ligaments เชื่อมต่อกับ pia mater ตามแนวด้านข้างของไขสันหลังเป็นแนวยาวติดต่อกัน ส่วนปลายด้านนอกของ dentate ligaments เชื่อมต่อกันมีลักษณะคล้ายซี่ของฟันที่ตรึงติด arachnoid กับ dura mater เป็นจุดเดียวกัน (รูปที่ 2.7, 2.8, 2.9) ไขสันหลังยังถูกโยงยึดไว้โดย spinal nerve root ซึ่งถูกหุ้มด้วย dura mater

3.2 Filum terminale เป็นส่วนของ pia mater มีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายเส้นด้ายที่ยึดจากปลาย conus medullaris ไปยังกระดูกก้นกบ (coccyx) (รูปที่ 2.4) แบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ ส่วน filum terminale ที่ยึดจากปลาย conus medullaris มาถึงปลาย dural sac เรียกว่า **internal filum terminale** หรือ **filum terminale** และส่วนที่สอง คือ ส่วน filum terminale ตั้งแต่ dural sac ถึงกระดูกก้นกบ (coccyx) เรียกว่า **coccygeal ligament** หรือ **external filum terminale**

ไขสันหลังถูกตรึงด้านล่างโดย filum terminale และ ถูกตรึงด้านข้างโดย dentate ligaments ด้วยเหตุนี้ทำให้ไขสันหลังมั่นคงและไม่เกิดอันตรายได้ง่าย



รูปที่ 2.9 แสดงตำแหน่งและลักษณะของ dentate ligament (Barr et al., 1993)

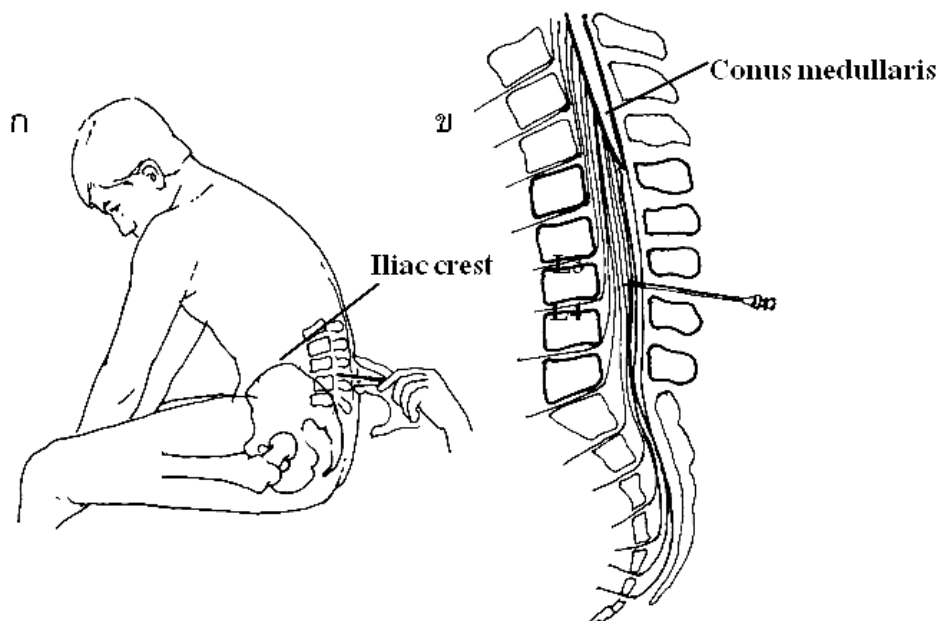
Spinal meningeal spaces

1. Epidural space เป็นช่องระหว่างกระดูกสันหลังและ dura mater มีความสำคัญทางคลินิกเช่นกัน คือ การใช้ยาชา (anesthetic agent) ฉีดเข้าไปใน epidural space ยาจะซึมผ่าน arachnoid เข้าสู่ subarachnoid space ยาจะมีผลต่อ spinal nerve root และไขสันหลัง ทำให้ผู้ป่วยสูญเสียความรู้สึก (loss sensation) ต่ำกว่าระดับที่ฉีดยา (block) เรียกขบวนการนี้ว่า epidural block นอกจากนี้ epidural block ยังเป็นวิธีการที่นิยมใช้ป้องกันการปวดระหว่างคลอดได้ด้วย

2. Subdural space (รูปที่ 2.7) เป็นช่องระหว่างชั้น dura mater และ arachnoid mater มีความสำคัญทางคลินิกน้อย อาจเกิดเลือดคั่งในชั้นนี้กรณีเกิดอุบัติเหตุ

3. Subarachnoid space (รูปที่ 2.7) เป็นช่องระหว่างชั้น arachnoid mater และ pia mater โดยมี CSF ซึ่งสร้างที่ choroid plexus ใน lateral, third และ fourth ventricle ของสมองบรรจุอยู่ภายใน มีความสำคัญทางคลินิกมาก คือ เป็นช่องที่แพทย์นิยมเจาะเข้าไปเพื่อเอา CSF ออกมาตรวจหรือเพื่อฉีดยาเข้าไปในการทำ spinal block การสอดเข็มเข้าไปในช่องนี้เรียกว่า **lumbar puncture**

Lumbar puncture (LP) คือ การสอดเข็มผ่านระหว่างกระดูกสันหลังเข้าไปใน subarachnoid space ที่อยู่ภายใน dura sac (รูปที่ 2.10) การทำ lumbar puncture ทำให้สามารถดูดเอา CSF ออกมาวิเคราะห์ สามารถวัดความดันของ CSF และสามารถใส่สารที่ใช้เพื่อการรักษาหรือเพื่อให้หมดความรู้สึกชั่วคราวเข้าไป การทำ lumbar puncture ไม่ควรแทงเข็มเข้าไปในระดับสูงกว่าช่องของกระดูกสันหลังระหว่าง L2-L3 ในผู้ใหญ่และไม่ควรแทงเข็มเข้าไปในระดับสูงกว่าช่องของกระดูกสันหลังระหว่าง L4-L5 ในทารกหรือเด็กเล็ก เนื่องจากไขสันหลังในผู้ใหญ่สิ้นสุดเป็น conus medullaris ที่กระดูกสันหลังระดับเอวที่หนึ่ง (L1) ขณะที่ subarachnoid space แผ่เลยลงมาต่ำกว่าไขสันหลังและสิ้นสุดที่กระดูกสันหลัง S2 ฉะนั้นการสอดเข็มเจาะช่องไขสันหลังเข้าไปใน subarachnoid space ที่อยู่ภายใน dural sac ในระดับต่ำกว่ากระดูกสันหลังส่วนเอวชั้นที่สอง L2 ลงไปจึงไม่ทำอันตรายต่อไขสันหลัง ปกติตำแหน่งที่ใช้ทำ LP คือช่องระหว่างกระดูกสันหลังระดับเอว L3-L4 (รูปที่ 2.10) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไม่มีไขสันหลังและมีเพียงรากประสาท cauda equina กระจัดกระจายอยู่เท่านั้นและนอกจากนี้ยังสามารถมีจุดสังเกตได้ชัดเจนเนื่องจากอยู่ในระดับเดียวกับแนวที่ผ่านสันกระดูก iliac crest สองข้าง

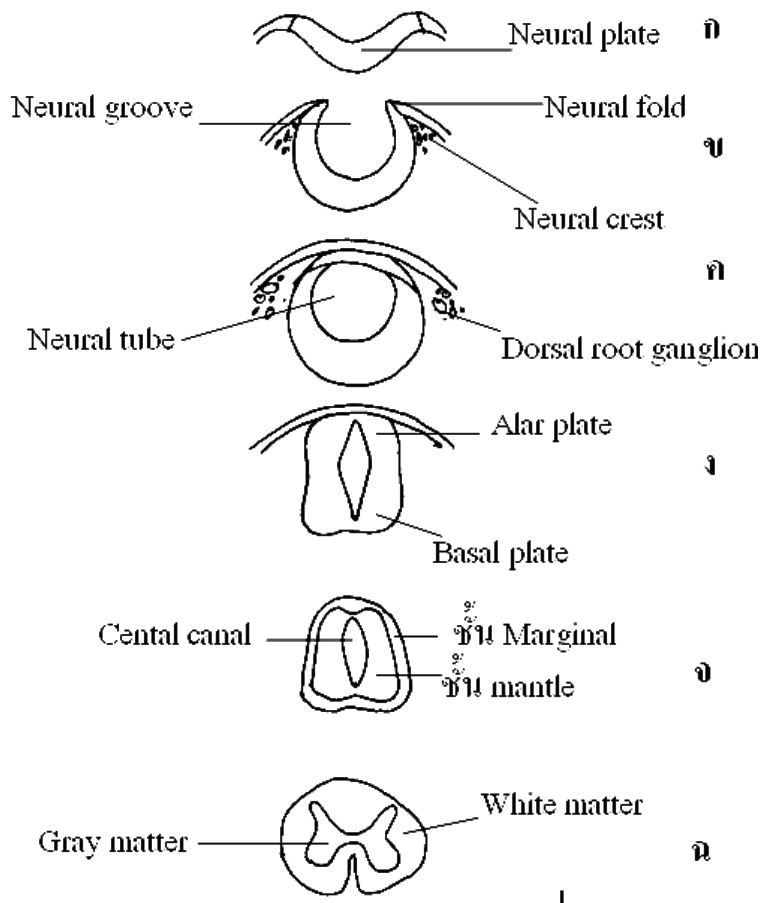


รูปที่ 2.10 ขบวนการ lumbar puncture ทำของผู้ป่วย (ก) ตำแหน่งของเข็ม (ข)
(วาดใหม่จาก Snell, 1997)

ลักษณะภายในของไขสันหลัง

1. พัฒนาการของโครงสร้างภายในไขสันหลัง

เมื่อตัวอ่อนอายุได้สามสัปดาห์พบว่า ectodermal cell แบ่งตัวเจริญเป็น **neural plate** (รูปที่ 2.11 ก) บางบริเวณของ neural plate ถูกชักนำโดย notocord ทำให้เซลล์บริเวณนั้นเจริญมากกว่าที่อื่นเกิดเป็นรอยนูนขึ้นสองข้างเรียกว่า **neural fold** (รูปที่ 2.11 ข) เมื่อ neural fold เจริญมากขึ้นจะมาบรรจบกันเกิดเป็นท่อขึ้นเรียกว่า **neural tube** (รูปที่ 2.11 ค) ส่วนบนของ neural tube จะเจริญเติบโตต่อไปเป็นสมอง ส่วนล่างของ neural tube จะเจริญเป็นไขสันหลังในที่สุด การศึกษาบริเวณนี้มีเซลล์อยู่สามชั้น (รูปที่ 2.11 จ) ดังนี้

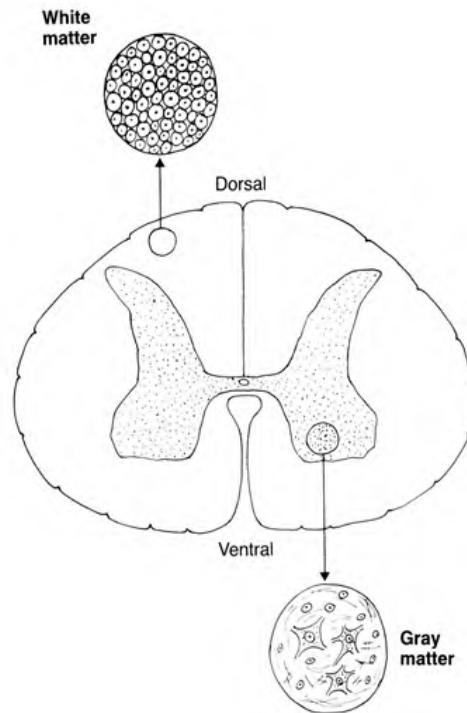


รูปที่ 2.11 การเจริญเป็นไขสันหลัง ก, ข, ค, ง, จ, ฉ ตามลำดับ

1.1 ชั้นที่หนึ่ง เรียกว่า neuroepithelial layer เป็นชั้นในสุด ที่ประกอบด้วย neuroblast และ spongioblast โดย neuroblast จะเจริญเป็นเซลล์ประสาท ส่วน spongioblast จะเจริญเป็น glia cell (รูปที่ 21.7)

1.2 ชั้นที่สอง เรียกว่า mantle layer (รูปที่ 2.11จ, 2.12) เป็นชั้นกลางที่ประกอบด้วย neuroblast และ spongioblast ที่เคลื่อนมาจากชั้นที่หนึ่ง โดยชั้นนี้จะเจริญเป็น gray matter ของไขสันหลัง ฉะนั้นภายใน gray matter จึงประกอบด้วยเซลล์ประสาทและ glia cell

1.3 ชั้นที่สาม เรียกว่า marginal layer (รูปที่ 2.11จ, 2.12, 21.7) เป็นชั้นนอกสุดประกอบด้วย แขนงของ neuroblast ที่ยื่นมาจากชั้นที่สอง และ spongioblast ที่เคลื่อนมาจากชั้นที่สอง ชั้นนี้จะเจริญเป็น white matter ของไขสันหลัง ฉะนั้นภายใน white matter จึงประกอบด้วย myelinated nerve fiber และ glia cell

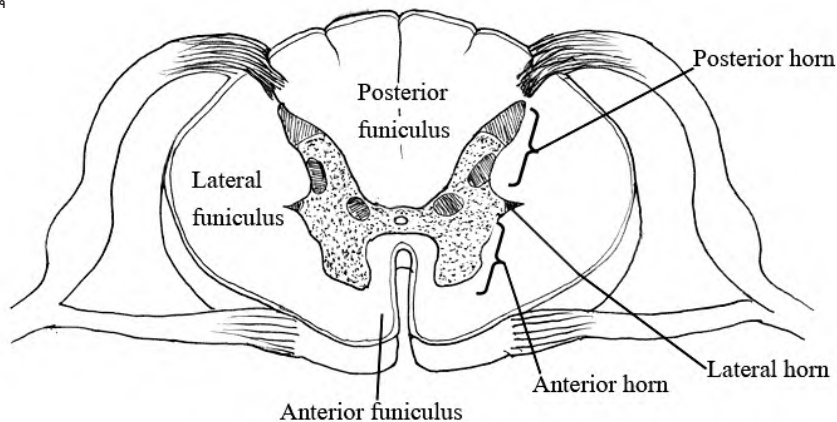


รูปที่ 2.12 ลักษณะของเซลล์กับใยประสาทภายใน white matter และ gray matter

โครงสร้างภายในไขสันหลัง

ไขสันหลังมีเนื้อเยื่อแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนภายนอก (external part) และ ส่วนภายใน (internal part) เหมือนกันตลอด

1. ส่วนภายนอก คือ **white matter** ประกอบด้วยเส้นประสาทชนิด myelinated nerve fibers จำนวนเป็นล้านที่รวมกันเป็น tract หรือ pathway ซึ่งเป็นทางเดินประสาททำหน้าที่นำกระแสประสาทขึ้นและลง (รูปที่ 2.14) จึงทำให้เห็น white matter ของไขสันหลังสดเป็นสีขาว โดยทั่วไป ascending pathway เป็น sensory system ส่วน descending pathway เป็น motor system ด้วยเหตุดังกล่าวการบาดเจ็บต่อไขสันหลังจึงส่งผลให้ผู้ป่วยสูญเสียความรู้สึกและ/หรืออัมพาตของส่วนร่างกายที่ไขสันหลังที่บาดเจ็บไปควบคุม



รูปที่ 2.13 การแบ่งส่วนต่างๆ ใน white และ gray matter (ดัดแปลงมาจาก Young et al., 1997)