รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา

Learning Activity of E-learning By Using Direct Instruction on Learning Outcome of Second Year Physical Therapy Students Burapha University

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
นางนงนุช ล่วงพ้น
สาขาวิชา กายภาพบำบัด
คณะที่สังกัด คณะสหเวชศาสตร์

รหัสโครงการ AHS10/2564

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2564
คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
กันยายน 2565

เล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์

ชื่อโครงการวิจัยภาษาไทย การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา

ชื่อโครงการวิจัยภาษาอังกฤษ Learning Activity of E-learning By Using Direct Instruction on Learning Outcome of Second Year Physical Therapy Students Burapha University

คณะผู้วิจัย

นางนงนุช ล่วงพ้น

นางศิริรัตน์ เกียรติกุลานุสรณ์

นางสาวกุลธิดา กล้ารอด

นางสาวสานิตา สิงห์สนั่น

นางพรพรหม สุระกุล

หัวหน้าโครงการ

นางนงนุช ล่วงพ้น

สาขาวิชา กายภาพบำบัด

คณะที่สังกัด คณะสหเวชศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อผู้ร่วมวิจัยคนที่ 1 นางศิริรัตน์ เกียรติกูลานุสรณ์
2. ชื่อผู้ร่วมวิจัยคนที่ 2 นางสาวกุลธิดา กล้ารอด
3. ชื่อผู้ร่วมวิจัยคนที่ 3 นางสาวสานิตา สิงห์สนั่น
4. ชื่อผู้ร่วมวิจัยคนที่ 4 นางพรพรหม สุระกุล

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2564

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กันยายน 2565

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.5 นิยามศัพท์ 4

บทที่ 2 วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

การเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิง..5

การจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ..5

การเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิง..5

1.2 ลักษณะสำคัญของอีเลิร์นนิง..6

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 19

1. ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง 19

2. ตัวแปรที่ศึกษา 19

3. ระเบียบวิธีการวิจัย..20

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่..20

5. การสร้าง และตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .... สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างบทเรียนอีเลิร์นนิง รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด โดยมีวิธีดำเนินการดังนี้.......20

6. วิธีดำเนินการ 28

7. วิธีการประเมินผล/ สังเคราะห์ข้อมูล..30

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 33

ผลการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนิสิตก่อนเข้าเรียน และหลักงเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ 33

2. ผลการวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิตด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) 34

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ 34

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ....35

ตารางที่ แสดงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจนิสิตที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ....35

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ....36

สรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้....36

อภิปรายผลการวิจัย....36

เอกสารอ้างอิง....40

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แผนการทดลองแบบ One-Group Pretest-Posttest Design 20
ตาราง 2 กำหนดแผนการจัดการเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด .. 21
ตาราง 3 การวิเคราะห์เนื้อหา และพฤติกรรม 24
ตาราง 4 เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิต 26
ตาราง 5 เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพการจัดทำเว็บบล็อกของนักเรียน 27
ตาราง 6 ผลการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนักเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และกลุ่มที่เรียนในที่ตั้ง (onsite) 33
ตาราง 7 ผลการวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิตด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) 34
ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมในการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons) ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 โดยนักเรียนจำนวน 47 คน โดยใช้เกณฑ์การประเมินรูบริค (Rubric Score) 34
ตาราง 9 แสดงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจนิสิตที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ 35

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา ได้รับทุนอุดหนุนวิจัย ประเภทเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2564 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ทำให้การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ได้รับความร่วมมือจากหลายภาคส่วนรวมนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 สาขาวิชากายภาพบำบัด ทีมผู้วิจัยและผู้ที่เข้าร่วมโครงการทุก ๆ ท่าน ในนามของคณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่านและทุก ๆ ภาคส่วนที่มีส่วนร่วมทั้งที่เอ่ยนามหรือไม่เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้วิจัย

หัวข้อวิจัย การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา

Learning Activity of E-learning By Using Direct Instruction on Learning Outcome of Second Year Physical Therapy Students Burapha University

ชื่อผู้วิจัย นางนงนุช ล่วงพ้น
นางศิริรัตน์ เกียรติกุลานุสรณ์
นางสาวกุลธิดา กล้ารอด
นางสาวสานิตา สิงห์สนั่น
นางพรพรหม สุระกุล

หน่วยงาน คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
คณะแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ปีงบประมาณ 2564

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยในห้องเรียนมีวัตถุประสงค์เพื่อ1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตกายภาพบำบัดที่เรียนรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์ที่เรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ 2. เพื่อศึกษาผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ 3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิง แบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ 4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ โดยศึกษาในกลุ่มนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 สาขาวิชากายภาพบำบัดรหัส 64 จำนวน 47 คน หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชากายภาพบำบัด หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560 ที่ลงทะเบียนเรียนในรายวิชา 68321260 ประสาทกายวิภาคศาสตร์ สำหรับกายภาพบำบัด จำนวนหน่วยกิต 2(2-0-4) ในภาคการศึกษาต้นปีการศึกษา 2565 โดยแบ่งนิสิตออกเป็น 2 กลุ่ม คือเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ จำนวน 23 คน และกลุ่มที่เรียนปกติ จำนวน 24 คน เครื่องมือที่ใช้ในการเรียนด้วยวิธีการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ทั้ง 3 เรื่อง บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ทั้ง 3 เรื่อง แบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ของนิสิต แลลประเมินผลการปฏิบัติงานของนิสิต แบบประพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิต แบบสอบถามความพึงพอใจของนิสิตต่อการจัดการเรียนการสอนซึ่งข้อมูลที่ได้ถูกวิเคราะห์ข้อมูลดยใช้ค่าเฉลี่ยน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และสถิติทดสอบที (t-test) ผลการศึกษาพบว่า ด้านการปฏิบัติงาน พฤติกรรมการเรียน และความพึงพอใจของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน แต่ผลผลสัมฤทธิ์ของการจัดการเรียนการสอนทั้งสองกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่เรียนผ่านอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะมีผลสัมฤทธิ์การเรียนดีกว่าเนื่องมาจากนิสิตสามรถเข้าไปทบทวนเนื้อหาบทเรียนได้ตลอดเวลา และทุกที่เท่าที่ต้องการ จึงเป็นวิธีการจัดการเรียนการสอนทางเลือกที่ดีในช่วงการแพร่ระบาดของโคโรนา 2019

คำสำคัญ: อีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ, การเรียนรู้, พฤติกรรมการเรียนรู้

Title Learning Activity of E-learning By Using Direct Instruction on Learning Outcome of Second Year Physical Therapy Students Burapha University

Reacher Mrs. Nongnuch Luangpon
Mrs. Sirirat Kiatkulanuson
Mrs. Kultida klarod
Miss Sanita Singsanan
Mrs. Ponrprom Surakul

Institute Faculty of Allied Health Sciences, Burapha University
Faculty of Medicine, Burapha University

Budget year 2021

ABSTRACT

The purpose of this study were 1. Compare leaning outcomes of the students before and after e-learning by using direct instruction and studying in classroom 2. Study the performance of student that leaning on e-learning by using direct instruction and studying in classroom 3. Study learning behaviors of the of student that leaning on e-learning by using direct instruction and studying in classroom and study student's satisfaction towards e-learning by using direct instruction and studying in classroom. This research was focus on 2^{nd} year student of physical therapy program. The 47 students were including to this study and simple random sampling were allocate the student into 2 groups: e-learning by using direct instruction (23 students) and studying in classroom (24 students). The instruments of this study were 1. Lesson plan of e-learning by using direct instruction 2. Learning Management Stem by using direct instruction and google classroom 3. Leaning outcomes test 4. Assessment form of performance 5. questionnaires on satisfaction toward e-learning by using direct instruction and studying in classroom. The data were analysis by using computer program and statistical analysis is t-test. The results of this study shown that all parameter no-significant different, but the learning outcome in e-learning by using direct instruction group was increased when compared to the classroom group with significant level 0.001. From the result may be the e-learning by using direct instruction group able to repetitive study in VDO as much as they want, everywhere and anytime. This study suggests that the e-learning by using direct instruction is the alternative method to applied in epidermic situation.

Key words: E-learning By Using Direct Instruction, Learning, learning outcome

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีเข้ามามีบทบาท ทำให้มีนโยบายเรื่องไทยแลนด์ 4.0 โดยนำเทคโนโลยีมาใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ทำให้บทบาทของเทคโนโลยียิ่งเด่นชัดขึ้น ทั้งในการบริหารจัดการองค์กรต่าง ๆ หรือแม้กระทั่งการจัดเรียนการสอน ทำให้ต้องมีนำเทคโนโลยีมากำหนดไว้ในหลักสูตรอย่างชัดเจน อีกทั้งเทคโนโลยีอินเตอร์เน็ตเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตในยุคที่ข้อมูลข่าวสารมีความความสำคัญ เนื่องจากการบริโภคข้อมูลข่าวสารกันมากขึ้น ซึ่งถือได้ว่าอินเตอร์เน็ตเปรียบเสมือนถนนที่ใช้สำหรับการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการ เรายังต้องการเครื่องมือที่จะสามารถสร้างเนื้อหา และข้อมูลต่าง ๆ ไว้รองรับการเข้าถึงซึ่งนั่นก็คือเทคโนโลยีเว็บไซต์ที่เป็นตัวกลางคอยให้ข้อมูลต่าง ๆ แก่ผู้ใช้โดยการพัฒนาของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต และเว็บไซต์ได้ถูกเปลี่ยนแปลง จากเดิมไปมาก Wikipedia (www:2007) สืบเนื่องจากการที่เทคโนโลยีเว็บไซต์และอินเตอร์เน็ตได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างก้าวกระโดด จึงมีการนำข้อดีของเทคโนโลยีเว็บไซต์มาประยุกต์ใช้กับการศึกษาในหลายๆ ด้าน คือ 1) ใช้เป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน เช่น การใช้งานอีเมล์เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสาร เป็นต้น 2) ใช้เป็นเครื่องมือในการจัดทำบทเรียน และสื่อการเรียนการสอน เช่น การใช้งานระบบจัดการเรียนการสอนออนไลน์ เพื่อใช้จัดการเรียนการสอนเป็นต้น 3)ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินและวัดผลการเรียนการสอน เช่น การใช้เว็บไซต์สำรวจพฤติกรรม และความพึงพอใจต่อการเรียนการสอน (Poll)

พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542 กำหนดให้ผู้เรียนมีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ในด้านความรอบรู้ มีความรู้ความสามรถ และมีทักษะในเรื่องต่าง ๆ ได้แก่ทักษะแก้ปัญหาเฉพาะหน้า ทักษะด้านภาษาต่างประเทศ ทักษะด้านมนุษย์สัมพันธ์ ทักษะการจัดการด้านการเงิน ทักษะในเรื่องของการบริหารจัดการ และทักษะทางด้านคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้เพื่อนำไปใช้ดำเนินชีวิตประจำวันของตนเองรวมทั้งเป็นการเตรียมเข้าสู่โลกของอาชีพในอนาคตจากทักษะต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น ทักษะคอมพิวเตอร์ในการแสดงหาความรู้และบริหารจัดการความรู้ต่าง ๆ อย่างเป็นระบบซึ่งสอดคล้องกับแผนแม่บทเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อการศึกษากระทรวงศึกษาธิการ (พ.ศ. 2551) ที่ได้ให้ความสำคัญกับการนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการพัฒนาคุณภาพการเรียนรู้ของผู้เรียน (สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี 2542: 2) เพื่อใช้ผู้เรียนใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีสารสนเทศอย่างเหมาะสมและมุ่งให้ผู้สอบนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการสอน ผ่านระบบอิเล็กทรอนิกส์อีกด้วย (สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาการ 2548 : 198)

จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ส่งกระทบต่อการจัดการเรียนการสอนในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา กายภาพบำบัด หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560 เป็นหลักสูตรที่จัดการเรียนการสอนตลอดหลักสูตร 4 ปี ทำให้ต้องจัดการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ซึ่งในชั้นปีที 2 เป็นชั้นปีที่เริ่มเรียนในรายวิชาพื้นฐานวิชาชีพ ทำให้มีความสำคัญเป็นอย่างมากที่จะนำการเรียนการ

สอนผ่านระบบ e-learning แบบชี้แนะไปใช้ในการเตรียมความรู้พื้นฐานให้กับนิสิต ดังนั้นจึงได้จัดการเรียนการสอนในรูปแบบออนไลน์ด้วยบทเรียน ด้วยบทเรียนอีเลิร์นนิงโดยใช้วิธีสอนแบบชี้แนะ

การจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ (Direct Instruction) ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถ และทักษะพื้นฐานตามที่กำหนด ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนจนบรรลุตามที่ตั้งไว้ ซึ่งมีรูปแบบการสอนที่มีเป้าหมาย เพื่อฝึกทักษะหรือให้ความรู้เบื้องต้นแก่ผู้เรียนเพื่อให้มีพฤติกรรมตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดการเรียนการสอนแบบชี้แนะนี้มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีทางจิตวิทยากลุ่มพฤติกรรมนิยม และจิตวิทยา การฝึกการเรียนการสอน เน้นการฝึก และเสริมแรงทางในขณะเรียนหรือฝึกปฏิบัติงาน และจะค่อยลดการเสริมแรงเมื่อผู้เรียนเกิดพฤติกรรมที่ต้องการ การเรียนการสอนจะเน้นให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้อย่างมีลำดับขั้นตอน รวมทั้งสามารถทำงานร่วมกับคนอื่นได้ การฝึกจะแบ่งออกเป็นทักษะย่อยเรียนตามลำดับความซับซ้อนของทักษะ ลักษณะของการเรียนการสอนแบบชี้แนะ จึงมีลักษณะของการแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆ หรือทักษะย่อยแล้วจัดเรียงตามความซับซ้อนแล้ว หลังจากนั้นจึงฝึกผู้เรียนตามลำดับทักษะที่ได้จัดเรียนไว้แล้วให้การเสริมแรง ในระหว่างที่มีการฝึก สำหรับเกณฑ์การผ่านแต่ละทักษะได้นั้น ผู้เรียนควรจะสามารถทำได้ถูกต้องตามงานที่ได้รับมอบหมายร้อยละ 85-90 จึงจะสามารถผ่านเกณฑ์ที่กำหนดสามารถเรียนทักษะในขั้นต่อไปได้ โดยมีขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนไว้ว่ามีลำดับเหตุการณ์ 6 ขั้นตอนคือ 1) ขั้นทบทวนความรู้เดิม 2) ขั้นบอกวัตถุประสงค์ 3) ขั้นนำเสนอเนื้อหาใหม่ 4) ขั้นฝึกโดยการชี้แนะ 5) ขั้นการฝึกโดยอิสระ 6) ขั้นทบทวน

ดังนั้นการศึกษาผลการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่มีผลต่อการเรียนรู้ และผลการปฏิบัติงานของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จึงเหมาะสมกับการจัดการศึกษาในปัจจุบัน เพื่อเป็นการส่งเสริม และพัฒนาการเรียนการสอนที่สนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเพิ่มพูนความรู้ และเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาทั้งระหว่างคณาจารย์กับนิสิต และระหว่างผู้เรียนกับผู้เรียน และยังเป็นการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนที่ประยุกต์ใช้คุณลักษณะของอินเทอร์เน็ต มาเป็นสื่อกลางเพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง เอกสารประกอบการเรียน บทเรียนสำเร็จรูป หรือแม้กระทั่งหลักสูตรวิชา เนื่องจากเวิลด์ไวด์เว็บเป็นบริการบนอินเทอร์เน็ตที่มีแหล่งข้อมูลอยู่มากมาย และหลายรูปแบบ ทั้งตัวอักษร ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว หรือเสียง โดยอาศัยคุณลักษณะของการเชื่อมโยงหลายมิติ (Hyperlink) ทั้งในรูปของข้อมูลหลายมิติ (Hypertext) หรือสื่อหลายมิติ (Hypermedia) เพื่อเชื่อมโยงแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยกัน เป็นการเรียนรู้ของผู้เรียนด้วยวิธีการที่หลากหลาย โดยใช้เทคโนโลยี และสื่อสาร สารสนเทศต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ ซึ่งสื่อต่าง ๆ เหล่านี้สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และแก้ปัญหาได้อย่างอิสระ ดังนั้นทีมผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของการนำบทเรียนอีเลิร์นนิงโดยวิธีสอนแบบชี้แนะมาใช้การการจัดการเรียนการสอนในรายวิชาพื้นฐานวิชาชีพให้กับนิสิตกายภาพบำบัด หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชา กายภาพบำบัด หลักสูตรปรับปรุง พ.ศ. 2560 ชั้นปีที่ 2 ในครั้งนี้ เพื่อศึกษาผลการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนผ่านระบบอนนไลน์

ดังนั้นการจัดกิจกรรมการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ส่งผลต่อการเรียรู้ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 เหมาะสมกับการจัดการศึกษาในปัจจุบัน เพื่อเป็นการส่งเสริมและพัฒนาการเรียนการสอนที่สนับสนุนให้ผู้เรียนสามารถใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเพิ่มพูนความรู้ และเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ระหว่างอาจารย์กับนิสิต และระหว่างนิสิตด้วยกันเอง และยังเป็นการจัดสภาพแวดล้อมการเรียนการสอนที่ประยุกต์ใช้คุณลักษณะของอินเตอร์เน็ตมาเป็นสื่อกลาง เพื่อส่งเสริม และสนับสนุนให้เกิดการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งข้อมูลอ้างอิง เอกสารประกอบการเรียน บทเรียนสำเร็จรูป เนื่องจากบทเรียนนอีเลิร์นนิ่งเป็นบริการบนอินเตอร์เน็ต ที่มีแหล่งข้อมูลมากมาย หลายรูปแบบ ทั้งตัวอักษร ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว หรือเสียง โดยอาศัยคุณลักษณธของการเชื่องโยงหลายมิติ (hyperlink) ทั้งในรูปแบบของข้อมูลหลายมิติ (hypertext) หรือสื่อหลายมิติ (hypermedia) เพื่อเชื่อมโยงแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องไว้ด้วยกันเป็นสการเรียนรู้สของผู้เรียนด้วยวิธีการที่หลากหลาย โดยใช้เทคโนโลยีและสื่อสาร สารสนเทศต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ ซึ่งสื่อต่าง ๆ เหล่านี้สามารถกระตุ้นให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และแก้ปัญหาได้อย่างอิสระ และเพื่อให้สอดคล้องกับทักษะเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ที่ประกอบด้วย ทักษะการเรียนรู้และนวัตกรรม ทักษะด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และทักษะด้านชีวิตและอาชีพ กอปรกับทักษะของคนในศตวรรษที่ 21 ที่ประกอบด้วย 3R 8C ทำให้การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้นำเอาเทคโนโลยีมาใช้การการจัดการเรียนการสอน เพื่อให้ได้ทักษะในศตวรรษที่ 21 ตามที่ต้องการ และในสถานการณ์การะแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) จึงจะจัดทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการจัดการสอนโดยใช้ บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะมาใช้ในรายวิชา ประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด ในครั้งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตกายภาพบำบัดที่เรียนรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์ที่เรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ
2. เพื่อศึกษาผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิง แบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัดและแบบปกติ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้เรียนได้รับความรู้ ตามวัตถุประสงค์รายวิชา พัฒนาความคิดในการแบ่งปันความรู้ เพื่อก่อให้เกิดสังคมแห่งการพัฒนา ในด้านการศึกษาที่มีประสิทธิภาพ
2. ผู้เรียนตระหนัก และเห็นคุณค่าถึงความสำคัญในการนำข้อมูลจากผู้อื่นมาเผยแพร่ อย่างมีคุณธรรมจริยธรรม เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดปัญหาลิขสิทธิ์ต่อการแบ่งปันสารสนเทศ

3. ผู้สอนได้แนวทางในการจัดการเรียนการสอนอย่างมีขั้นตอน และได้นำประโยชน์ ของเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเรียนการสอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเรียนรู้ของนิสิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับรายวิชาอื่น ๆ ได้อย่างมีคุณภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตกายภาพบำบัด

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตกายภาพบำบัดที่เรียนรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

3. ตัวแปรที่ศึกษา

- ตัวแปรต้น

การจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

- ตัวแปรตาม

คะแนนผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนที่เรียด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

คะแนนการปฏิบัติงานของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

ความพึงพอใจของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

1.5 นิยามศัพท์

e-Learning เป็นการศึกษาทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (internet computer network) ทั้งหลายรวมถึงบรรดาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโลกมาเป็นตัวช่วย ในการเพิ่มความสะดวกสบายในการเรียน การวัดผล และการจัดการศึกษาทั้งหมด แทนที่จะเป็นการใช้วิธีการแบบเดิม ๆ

การจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ Direct Instruction ในการจัดทำแผนการสอนหรือแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอนในปัจจุบันจะต้องมีการศึกษาหลักสูตรสถานศึกษา และกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี มีขั้นตอนในการจัดทำคือ วิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้ วิเคราะห์สาระการเรียนรู้ วิเคราะห์กระบวนการจัดการเรียนรู้ วิเคราะห์กระบวนการวัดและประเมินผล วิเคราะห์แหล่งเรียนรู้ และบันทึกผลการจัดการเรียนรู้ตามที่ครูสอนได้รับปฏิบัติการสอน จึงถือว่าได้ว่ามีการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ที่สมบูรณ์ เพื่อการจัดการทำงานศึกษาค้นคว้าและพัฒนาผลงานทางวิชาการ

บทที่ 2 วรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง ผลการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่มีผลต่อการเรียนรู้ และการปฏิบัติงานของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎีหลักการงานวิจัย และสรุปแนวคิดที่ได้ ดังนี้

การเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิง

1.1 ความหมายอีเลิร์นนิง

1.2 ลักษณะสำคัญของอีเลิร์นนิง

1.3 ลักษณะของการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิง

1.4 ระบบการเรียนรู้อีเลิร์นนิง

1.5 พัฒนาการอีเลิร์นนิง

1.6 องค์ประกอบของอีเลิร์นนิง

1.7 การนำเสนอเนื้อหาของอีเลิร์นนิง

1.8 ขั้นตอนการพัฒนา

1.9 มาตราฐานอีเลิร์นนิง

1.10 องค์กรที่บริหารจัดการอีเลิร์นนิง

การจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ

2.1 ความหมายของการเรียนแบบชี้แนะ

2.2 องค์ประกอบของการเรียนรู้แบบชี้แนะ

2.3 วัตถุประสงค์ของการเรียนการสอนแบบชี้แนะ

2.4 ขั้นตอนของการจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ

2.5 ข้อดี และข้อจำกัดของการเรียนการสอนแบบชี้แนะ

การเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิง

1.1 ความหมายอีเลิร์นนิง

มีการนิยามความหมายของ e-Learning ที่หลากหลายแต่ใกล้เคียงกัน พอจะประมวลได้ว่าการเรียนรู้ในระบบอีเลิร์นนิงหมายถึง การเรียนรู้ที่มีการถ่ายทอดเนื้อหาหลัก (content delivery) ด้วยสื่ออิเล็กทรอนิกส์ อาจจะเรียนจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยตรง(computer-based) หรือเรียนผ่านระบบเครือข่าย (internet-based) ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายท้องถิ่น (LAN) หรือเครือข่ายระยะไกล (WAN) โดยจะมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) ในลักษณะต่าง ๆ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ เช่น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ (human-computer interaction) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน หรือผู้เรียนกับผู้เรียนผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ (human-human interaction)อาจจะเป็นการเรียนในระบบชั้นเรียน (face to face classroom) การเรียนในระบบการศึกษาทางไกล (distance learning) หรือการศึกษาด้วยตนเอง (self-pace) สื่ออิเล็กทรอนิกส์ในที่นี้ หากมองในความหมายที่กว้าง จะครอบคลุมสื่ออิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นสื่อโทรทัศน์ วิทยุ แต่หากมองในความหมายเฉพาะจะหมายถึงสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ที่ทำงานผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นหลัก (computer-based) ในเนื้อหาของหลักสูตรนี้ สื่ออิเล็กทรอนิกส์จะหมายถึงในความหมายเฉพาะ คือเป็นสื่ออิเล็กทรอนิกส์ผ่านคอมพิวเตอร์

วิธีการหนึ่งที่ใช้ในอีเลิร์นนิง คือการสอนบนเว็บ โดยผู้สอนจะใส่เนื้อหาบทเรียนไว้ในเว็บไซต์เพื่อให้ผู้เรียนเข้าไปเรียนได้ในเวลาที่ต้องการ เนื้อหาบทเรียนเหล่านี้จะเป็นลักษณะสื่อหลายมิติ โดยมีการเชื่อมโยงเนื้อหาเว็บไซต์เดียวกัน และเว็บไซต์ภายนอกที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้เรียนได้รับประสบการณ์การเรียนรู้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น อีเลิร์นนิงสามารถใช้ได้ทั้งการเรียนในห้องเรียนในลักษณะใช้เว็บเสริม และวิชาเอกเทศในการศึกษาทางไกลที่ผู้เรียนเรียนจากบทเรียนด้วยตนเอง

ศุภชัย สุขะนินทร์ (2545:15 ; อ้างถึงใน วัลยา พุ่มต้นวงศ์ 2552 : 10) ได้กล่าวว่าการเรียนอีเลิร์นนิง เป็นการเรียนรู้ทางอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีการเรียนรู้ทางคอมพิวเตอร์หรือเป็นการเรียนรู้ทางใหม่โดยใช้คอมพิวเตอร์มีลักษณะเป็นการเรียนแบบออนไลน์

กระทรวงศึกษาธิการ (2548:7 ; อ้างถึงใน วัลยา พุ่มต้นวงศ์ 2552 : 10) ได้กล่าวว่าเป็นการศึกษาทางคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (internet computer network) ทั้งหลายรวมถึงบรรดาเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโลกมาเป็นตัวช่วย ในการเพิ่มความสะดวกสบายในการเรียน การวัดผล และการจัดการศึกษาทั้งหมด แทนที่จะเป็นการใช้วิธีการแบบเดิม ๆ

1.2 ลักษณะสำคัญของอีเลิร์นนิง

โครงการมหาวิทยาลัยไซเบอร์ไทยฯ ได้กล่าวถึง ลักษณะที่สำคัญที่เป็นประโยชน์ ของอีเลิร์นนิง (ข้อดี) 6 ประการ คือ

1. มัลติมีเดีย (Multimedia) ด้วยศักยภาพของสื่ออิเล็กทรอนิกส์ อาจารย์สามารถจะออกแบบการนำเสนอสาระความรู้ โดยใช้สื่อมัลติมีเดีย ทั้ง ตัวอักษร ภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว (Animation) และภาพยนต์ ทำให้การนำเสนอมีความน่าสนใจ และสื่อความหมายได้ดีกว่าการใช้สื่อเพียงสื่อใดสื่อหนึ่ง

2. ความเป็นระบบเปิด (Open System) อีเลิร์นนิงที่นำเสนอเนื้อหาผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต จะเชื่อมโยงกับแหล่งความรู้ แหล่งข้อมูลที่หลากหลายในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต อาจารย์ผู้สอนสามารถค้นหาและเชื่อมโยงแหล่งความรู้จากระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเข้ามาที่บทเรียน เพื่อชี้นำแหล่งความรู้เพิ่มเติม (และทันสมัย) ให้กับผู้เรียนได้ เกิดประโยชน์ทั้งในด้านคุณภาพการเรียนรู้ (มีแหล่งความรู้ให้ผู้เรียนหลากหลาย) และประสิทธิภาพ (ผู้สอนประหยัดเวลาในการเตรียม และข้อมูลทันสมัยเสมอ)

3. รองรับและเอื้อต่อปฏิสัมพันธ์ (Interaction) หลากหลายรูปแบบ ปฏิสัมพันธ์ในการเรียนจะช่วยส่งเสริมให้เกิดความเข้าใจในขั้นที่สูงขึ้น (จำแนกระดับความรู้ ความเข้าใจ (Cognitive Domain) 6 ขั้นตาม Benjamin S. Bloom2) โดยอีเลิร์นนิงจะรองรับและเอื้อต่อปฏิสัมพันธ์ที่หลากหลาย เช่น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับสื่อการเรียน (human-computer interaction) ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน หรือ ระหว่างผู้เรียนกันเอง (human-human interaction)

4. รองรับการสื่อสารทั้งแบบ ประสานเวลา (Synchronous Communication) คือการสื่อสารที่มีการโต้ตอบกันได้ในเวลาเดียวกัน และแบบไม่ประสานเวลา (Asynchronous Communication) คือ การสื่อสารที่ผู้ที่สื่อสารไม่ต้องนัดหมายกันเพื่อสื่อสาร ใช้วิธีการฝากสารไว้ในระบบและเมื่อคู่สื่อสารพร้อมก็จะมาตอบสารนั้น เช่น ระบบกระดานสนทนา (web board) ที่ใช้กันโดยทั่วไป

5. รองรับการจัดการเรียนการสอนทั้งแบบอาจารย์เป็นผู้นำการสอน (Human driven) เช่น การใช้บทเรียนเป็นสื่อเสริมการสอนของอาจารย์ในชั้นเรียน หรือแบบคอมพิวเตอร์เป็นผู้นำการสอน (Computer driven) เช่น รายวิชาที่พัฒนาเป็นบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนทั้งรายวิชา เป็นต้น

6. บันทึกปูมไว้ในระบบ (Keep Log) การเรียนการสอนที่เกิดขึ้น คำถาม-คำตอบ ปฏิสัมพันธ์ รวมทั้งเหตุการณ์ทุกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจะถูกจัดเก็บและบันทึกไว้ในระบบคอมพิวเตอร์ ผู้สอนสามารถนำมาใช้เพื่อเป็นประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง เช่น เพื่อติดตามการเรียนของผู้เรียน เพื่อประเมินผลการเรียนรู้ระหว่างการเรียน (formative evaluation) (เช่น ความเข้าใจที่คลาดเคลื่อน หัวข้อ/สาระความรู้ที่ผู้เรียนไม่เข้าใจ) เพื่อประเมินรวบยอด (summative evaluation) (เช่น พัฒนาการความรู้ของผู้เรียน)

ขณะเดียวกันอีเลิร์นนิงมีลักษณะที่สำคัญที่เป็นข้อเสีย 5 ประการ คือ

1. อีเลิร์นนิงเป็นระบบการเรียนการสอน ที่ต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย เป็นสภาพแวดล้อม/สื่อในกระบวนการ หากผู้เรียน/ผู้สอนไม่คุ้นเคยกับคอมพิวเตอร์ และระบบเครือข่าย จะเป็นอุปสรรคที่สำคัญที่ทำให้การเรียนการสอนไม่สามารถดำเนินไปได้ หรือดำเนินไปได้อย่างลำบาก

2. ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับเครื่องคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย เช่น ความล้มเหลวของฮาร์ดแวร์อย่างกระทันหัน เป็นต้น จะทำให้การจัดการเรียนการสอนต้องชะงัก ทำให้เกิดปัญหาในกระบวนการเรียนการสอนได้

3. หากผู้เรียน/ผู้สอน ไม่สามารถพิมพ์ดีดได้ (โดยเฉพาะภาษาที่ใช้ในการสื่อสาร) จะเป็นอุปสรรคในการสื่อสาร

4. หากผู้เรียน/ผู้สอนไม่สามารถเข้าถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือระบบเครือข่าย หรือหากเข้าถึงได้แต่มีความแตกต่างกันของคุณลักษณะของเครื่องคอมพิวเตอร์และความเร็วของระบบเครือข่ายที่ใช้ ก็จะเป็นอุปสรรคและความไม่เท่าเทียมระหว่างผู้เรียน

5. ผู้เรียนจะต้องพัฒนาทักษะในการเรียนรู้แบบนำตนเอง (Self-directed learning) ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการเรียนอีเลิร์นนิง

1.3 ลักษณะของการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิง

กระทรวงศึกษาธิการ (2548:8) กล่าวถึงลักษณะของอีเลิร์นนิง ไว้ว่าเป็นลักษณะการเรียนแบบออนไลน์ (Online) คำว่าออนไลน์ หมายถึงลักษณะของข้อมูลที่เป็นข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ หรืออิเล็กทรอนิกส์อยู่ในสภาพที่พร้อมจะใช้งานตลอดเวลา จึงทำให้การเรียนการสอน แบบอีเลิร์นนิงเป็นการเรียนที่สามารถโต้ตอบได้เหมือนการเรียนห้องเรียนปกติ (Interactive Technology) ดังนั้นอีเลิร์นนิงจึงเป็นหนทางหนึ่งของการพัฒนากำลังคน ด้านการสร้างการเรียนการสอนแบบออนไลน์ ผู้เรียนสามารถเลือกเรียนอะไรก็ได้ เรียนเวลาใดก็ได้ตามความเหมาะสม ผลลัพธ์ที่ได้จากอีเลิร์นนิง คือความอิสระคล่องตัว ระบบอีเลิร์นนิงจะทำให้ลดเวลาการเรียนรู้ได้มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบการสอนและฝึกอบรมแบบเดิมถึง 30-60 เปอร์เซนต์

กิดานันท์ มลิทอง (2548:160) กล่าวว่า การเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงเป็นลักษณะของการศึกษาทางไกล โดยที่ผู้สอนและผู้เรียนอยู่ห่างไกลกัน แต่สามารถทำการเรียนการสอนกันได้ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ตัวอย่างเช่น การเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงในห้องเรียนเสมือน โดยผู้เรียนจะเปิดเว็บไซต์อีเลิร์นนิงของสถานศึกษาที่ได้ลงทะเบียนเรียนไว้ เพื่อล็อกอินเข้าไปเรียนบนเว็บเพจ และทำกิจกรรมที่ผู้สอนกำหนดไว้ ซึ่งผู้สอนและผู้เรียนหรือผู้เรียนและผู้เรียนสามารถติดต่อระหว่างกันได้ผ่านทางการสนทนาสดหรือเว็บบอร์ด อีเมล์ การประชุมทางไกล อย่างไรก็ตาม การเรียนการสอนสามารถทำได้ทั้งแบบประสานเวลา และไม่ประสานเวลา ส่วนมากจะเป็นแบบ ไม่ประสานเวลาจึงทำให้ผู้เรียนสามารถเรียนได้ในทุกเวลา และทุกสถานที่ตามความสะดวกของผู้เรียน

ใจทิพย์ ณ สงขลา (2547:18) กล่าวถึงลักษณะของการเรียนด้วยอีเลิร์นนิงว่ามีรูปแบบและวิธีการที่หลายหลาย เช่น

- การเรียนบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (ออนไลน์) ทั้งหมด
- การเรียนที่ผสมผสานระหว่างกิจกรรมที่ต้องออนไลน์ (ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์) และออฟไลน์
- การเรียนที่ผู้เรียนศึกษาด้วยตนเองจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์ในรูปแบบที่หลากหลาย
- การเรียนที่ใช้เว็บเป็นหลักและใช้สื่ออิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ประกอบ
- การเรียนที่ใช้คอมพิวเตอร์และสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เช่น ซีดีรอม เป็นหลัก
- การเรียนทางไกลที่ส่งผ่านกล้องวีดิทัศน์

อย่างไรก็ตาม การเรียนการสอนบนเว็บเป็นองค์ประกอบหลักในระบบการเรียนด้วย อีเลิร์นนิง ซึ่งการเรียนการสอนบนเว็บเป็นการประยุกต์ใช้ไฮเปอร์มีเดีย และเครื่องมือสื่อสารบนอินเทอร์เน็ต ในการจัดกิจกรรมทางการเรียนรู้ให้กับผู้เรียน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ทางการเรียนในรายวิชา หรือหลักสูตร ต่อมาเมื่อได้ประยุกต์ระบบการบริหารการจัดการเรียนรู้ (Learning Management System : LMS) ที่ใช้ระบบฐานข้อมูลเชื่อมโยงผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ซึ่งบริการอำนวยความสะดวกในการจัดส่งสาระบทเรียนและกิจกรรมเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ทางการเรียน บริการจำเป็นอื่น ๆ ต่อผู้เรียน เช่น การติดตามผลการเรียนของผู้เรียน การประเมินผลการเรียน สารสนเทศเกี่ยวกับสถาบัน การลงทะเบียน และการรับรองการประเมินผลเป็นหลักสูตรอย่างเป็นระบบ ดังนั้น การเรียนการสอนบนเว็บ จึงเป็นองค์ประกอบหลักและอยู่ในขอบข่ายของระบบการเรียนด้วยอีเลิร์นนิง (ใจทิพย์ ณ สงขลา : 2547 : 19)

1.4 ระบบการเรียนรู้อีเลิร์นนิง

การใช้อีเลิร์นนิงร่วมกับการเรียนการสอนในชั้นเรียน หรือการใช้อีเลิร์นนิงเป็นหลักเป็นส่วนใหญ่ตลอดรายวิชา ในปี 2005 สมาคมสโลน (Sloan Consortium) ได้จัดแบ่งประเภทและรูปแบบของอีเลิร์นนิงไว้ 4 ประเภท ตามปริมาณเนื้อหาที่นำเสนอผ่านอินเทอร์เน็ต (สื่ออิเล็กทรอนิกส์) โดยตีพิมพ์ไว้ในหนังสือ “Growing by Degrees: Online Education in the United States, 2005” และ ศ.ดร. ศรีศักดิ์ จามรมาน ได้แปลไว้ในหนังสือ “อีเลิร์นนิงระดับปริญญาผุดขึ้นมากมาย” 3 ดังนี้ ประเภท สัดส่วนเนื้อหาที่นำเสนอผ่านอินเทอร์เน็ต (สื่ออิเล็กทรอนิกส์)

1. การเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional) 0%
2. การเรียนการสอนแบบใช้เว็บช่วย (Web-facilitated) 1-29%
3. การเรียนการสอนแบบลูกผสม (Blended/Hybrid) 30-79%

4. การเรียนการสอนแบบออนไลน์หรืออีเลิร์นนิง (Online/eLearning) 80-100%

การแบ่งประเภทและรูปแบบอีเลิร์นนิงของ สมาคมสโลน สอดคล้องกับการจำแนกประเภทอีเลิร์นนิงตามลักษณะการใช้ประโยชน์ทางการเรียนการสอน คือ

1. อิเลิร์นนิงเสริมการเรียน (Supplement) เทียบเคียงได้กับการเรียนการสอนแบบใช้เว็บช่วย (Webfacilitated) การใช้อีเลิร์นนิงเสริมการเรียน หมายถึง การที่ยังคงใช้วิธีการสอนแบบเดิม (บรรยายในชั้นเรียน) เป็นหลักและใช้อีเลิร์นนิงเป็นเครื่องมือเสริม เช่น เป็นบทเรียนทบทวนเป็นเว็บความรู้เพิ่มเติมหรือเป็นแบบทดสอบความรู้ที่มีเฉลยและข้อมูลป้อนกลับละเอียด (feedback) เป็นต้น

2. อีเลิร์นนิงเติมเต็มการเรียน (Complement) เทียบเคียงได้กับ การเรียนการสอนแบบลูกผสม (Blended/Hybrid) การใช้อีเลิร์นนิงเติมเต็มการเรียน หมายถึงการใช้อีเลิร์นนิงเป็นขั้นตอนหนึ่งในกระบวนการเรียนการสอน ต่างจากเสริม คือ ในการใช้อีเลิร์นนิงเสริมนั้นผู้เรียนจะใช้หรือไม่ใช้อีเลิร์นนิงก็ได้ (หากเข้าใจแล้วก็ไม่ต้องเรียนบทเรียนทบทวน) แต่หากอีเลิร์นนิงเป็นการเติมเต็ม ผู้เรียนทุกคนต้องใช้อีเลิร์นนิง ตัวอย่างได้แก่ บทเรียนที่ผู้เรียนต้องเรียนมาก่อนเข้าชั้นเรียน (เพื่อให้มีความเข้าใจ และพร้อมในการทำกิจกรรมการเรียนรู้ต่าง ๆ)

3. อีเลิร์นนิงที่เป็นทั้งระบบการเรียนการสอน (Comprehensive replacement) เทียบเคียงได้กับการเรียนการสอนแบบออนไลน์ (Online Learning) ในระดับนี้เป็นการจัดการเรียนการสอนในระบบทางไกล (การศึกษาทางไกล) ซึ่งใช้หลักการศึกษาทางไกล

การจัดการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงหรือการเรียนรู้ระบบออนไลน์ สามารถแบ่งกระบวนการในการบริหารจัดการการเรียนรู้ออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. E-Learning แบบ LMS: Learning Management System เป็นการจัดระบบกระบวนการเรียนการสอนต่างๆ การออนไลน์ตั้งแต่เนื้อหา การลงทะเบียน การเก็บข้อมูล การมีปฏิสัมพันธ์ ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียนเช่น อีเมล์ กระดานข่าว ห้องสนทนา เป็นต้น ซึ่งจะมีส่วนของระบบฐานข้อมูล ที่สนับสนุนการจัดการเนื้อหาวิชา (Content) โดยจะเอื้ออำนวยความสะดวกให้กับผู้เรียน ผู้สอน ผู้ผลิต และผู้ดูแลระบบ

2. E-Learning แบบ CMS: Content Management System เป็นส่วนของเนื้อหาวิชาที่เรียนผู้สอนจะเป็นผู้จัดทำขึ้น และนำมาใส่ไว้ในระบบฐานข้อมูลของ LMS หรือผู้สอนจัดทำขึ้นเองเป็นอิสระโดยมีระบบเหมือนกับ LMS แต่ผู้สอนสามารถจัดการบริหาร เพิ่มเติมเนื้อหาติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือบางส่วนได้ด้วยตนเอง อาจกล่าวได้ว่าเป็นระบบการจัดการเนื้อหา โดยผู้สอนเพื่อที่ผู้เรียนจะได้นำไปศึกษาโดยไม่ต้องมีระบบการจัดการเต็มรูปแบบเข้ามาช่วย

1.5 พัฒนาการของอีเลิร์นนิง

น้ำทิพย์ วิภาวิน (2544) ได้กล่าวถึงพัฒนาการของ E-Learning ว่ามีความเป็นมาตามลำดับดังต่อไปนี้

1. Distance learning (1840) ในสมัยเริ่มแรกใช้ส่งบทเรียนผ่านระบบไปรษณีย์เพื่อเข้าถึงผู้เรียนจำนวนมากที่อยู่ห่างไกลและมีการเปิด home-study program ทางไปรษณีย์สำหรับผู้ที่ต้องการเรียนจากบ้าน

2. Computer-Aided Instruction (CAI)/Computer-Based Trainin (CBT) (1960) เริ่มใช้ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยการสอน CAI/CBT ใช้ในการฝึกอบรมในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรม เนื่องจากในยุคนี้ยังไม่มีระบบเครือข่ายที่แพร่หลาย

3. Web technologies (1990) เมื่ออินเทอร์เน็ตเริ่มแพร่หลายจึงได้มีการนำบทเรียนต่างๆ สอนและฝึกอบรมผ่านอินเทอร์เน็ตและอินทราเน็ต เมื่อนำมาใช้ในการฝึกอบรมขององค์กรต่างๆ จะเรียกว่า WEB-Based Training (WBT)และเมื่อนำมาใช้ในสถาบันการศึกษา เช่น มหาวิทยาลัยหรือโรงเรียนจะเรียกว่า Web-Based Education/Web-Based Instruction (WBE/WBI)

4. E-Learning technology (2000) เป็นระยะเวลาที่การเรียนการสอน และการฝึกอบรมออนไลน์ (online training) เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น มีการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายคอมพิวเตอร์ในการเผยแพร่บทเรียน เว็บเทคโนโลยีได้รับการพัฒนามากขึ้น มีการนำเทคโนโลยีมัลติมีเดียและเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการรายวิชา (LMS/CMS) เข้ามาช่วยในการจัดเตรียมเนื้อหาและบริหารจัดการหลักสูตรออนไลน์

1.6 องค์ประกอบของอีเลิร์นนิง

ประกอบไปด้วย 4 องค์ประกอบหลัก คือ

1. เนื้อหา (Content) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดสำหรับ E-Learning เพราะเป็นส่วนที่ผู้สอนจะต้องเป็นผู้เสนอและเพิ่มพูนความรู้ให้แก่ผู้เรียน เนื้อหาที่ดีสามารถทำให้ผู้เรียน เรียนได้อย่างเพลิดเพลินเข้าใจและบรรลุวัตถุประสงค์ของหลักสูตรได้ เนื้อหาดังกล่าวนี้จะประกอบไปด้วยหน้าเว็บเพจต่าง ๆ ดังนี้

1.1 โฮมเพจ เป็นหน้าแรกของเว็บบทเรียน ส่วนใหญ่หน้าแรกจะมีการออกแบบสวยงามทำให้น่าสนใจและติดตาม

1.2 เว็บเพจหน้าประกาศต่าง ๆ เป็นประกาศกำหนดการเรียน ข้อตกลงต่าง ๆ ระหว่างผู้สอนกับผู้เรียน รวมทั้งข่าวสารต่าง ๆ

1.3 เว็บเพจ หน้าแสดงชื่อรายวิชา จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับรายละเอียดของเนื้อหาวิชาบอกวัตถุประสงค์ของที่เรียน ผู้สอนจะทำการเชื่อมโยง (link) ไปยังเว็บเพจนอื่นให้ผู้เรียนถามปัญหาแลกเปลี่ยนความคิดเห็น หรือมีการเชื่อมโยงไปค้นคว้าแหล่งข้อมูล เช่น ห้องสมุดและแหล่งความรู้อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาวิชาที่เรียน และมีการตั้งคำถามให้ผู้เรียนตอบ และการทดสอบความรู้ย่อย โดยอาจจะให้ผู้เรียนส่งคำตอบ ให้ผู้สอนทางจดหมายอิเล็กทรอนิกส์

1.4 เว็บเพจตอบปัญหา ในเว็บเพจกิจกรรม ผู้สอนจะกระตุ้นให้ผู้เรียนตั้งปัญหาส่งมาให้ผู้สอนทางอีเมล์ ผู้สอนจะตอบปัญหาทางคอลัมน์ FAQ เพื่อให้ผู้เรียนคนอื่น ๆ ได้อ่านด้วย (มนตรี ดวงจิโน 2544, 39-44) และผู้เรียนคนอื่นยังสามารถแสดงความคิดเห็นอื่น ๆ ได้ ถ้าหน้าเพจนั้นถูกออกแบบให้เป็นกระดานข่าว (web board)

1.5 เว็บเพจห้องเรียน เป็นหน้าเพจนำเสนอบทเรียน ที่ผู้สอนจัดทำไว้สำหรับผู้เรียนในที่นี้จะรวมทั้งเนื้อหาที่เป็นตัวอักษร ภาพ วีดิทัศน์ รวมทั้งสื่อประสมอื่น ๆ มัลติมีเดียที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับบทเรียน

2. ระบบบริหารจัดการรายวิชา (Course/Contents Management System-CMS และ Learning Management System-LMS) เป็นระบบบริหารจัดการรายวิชา ซึ่งเป็นเสมือนระบบที่รวบรวมเครื่องมือออกแบบไว้เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ ในการจัดการกับการเรียนการสอนออนไลน์ ผู้ใช้ดังกล่าวแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ผู้สอน ผู้เรียนและผู้บริหารระบบเครือข่าย ซึ่งระบบนี้จะทำหน้าที่ช่วยผู้สอนที่ไม่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีสามารถใช้ได้ โดยไม่จำเป็นที่จะต้องรู้จักภาษา HTML หรือ Java และยังสมารถช่วยผู้สอน ในการนำเนื้อหา จัดเก็บเนื้อหา ทำการป้อนข้อมูลผ่านเว็บเพื่อเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลได้ง่ายขึ้น และสามารถเรียกข้อมูลออกมาแก้ไขได้อย่างสะดวก (ถนอมพร เลาหจรัสแสง, 2545)

มีการสำรวจของ ASTD ในเรื่องการตอบสนองต่อการใช้ซอฟต์แวร์ในการออกแบบการสอนผลการสำรวจพบว่า ผู้ใช้ตอบเป็นเอกฉันท์ว่าใช้ง่ายและสามารถสรุปได้ว่า ใครก็ตามที่สามารถใช้โปรแกรมWord processor ได้ ก็สามารถใช้โปรแกรมสำหรับรูปดังกล่าวได้อย่างไม่ยากนัก

น้ำทิพย์ วิภาวิน (2545) ได้กล่าวถึงระบบการทำงานของ E-Learning โดยการใช้ LMS ว่า ระบบจะเริ่มทำงานโดย ส่งบทเรียนตามคำขอของผู้เรียนผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้แก่ อินเทอร์เน็ต และอินทราเน็ต ไปแสดงที่เว็บเบราว์เซอร์ของผู้เรียน จากนั้นระบบติดตาม และบันทึกความก้าวหน้า รวมทั้งสร้างรายงานกิจกรรมและผลการเรียนของผู้เรียนในทุกหน่วยของการเรียนอย่างละเอียด จนกระทั่งจบหลักสูตร

สรุปได้ว่า LMS จะจัดการตั้งแต่ผู้เรียนเริ่มลงทะเบียนผ่านเว็บเข้ามาเรียนจัดเก็บความก้าวหน้าในการเรียน และยังสามารถตรวจสอบจำนวนผู้เข้าเรียน สถิติการเข้าใช้ เวลาเข้าและเวลาที่ผู้เรียนเลิกเรียน (tracking) ส่วน CMS นั้น สามารถอำนวยความคล่องตัว ให้กับผู้สอนในการสร้างบทเรียน รวมทั้งการสร้างข้อสอบให้เป็นไปอย่างสะดวกสบาย และมีความคล่องตัว

3. การทดสอบและการประเมินผลในการทดสอบออนไลน์ ระบบของ CMS มีเครื่องมือ ในการสร้างแบบทดสอบ สามารถกำหนดคะแนนได้ว่าจะสร้างกี่ข้อการคิดคะแนนผู้สอนสามารถกำหนดได้ลักษณะของแบบทดสอบเลือกได้ลักษณะถูกผิด และแบบ ปรนัย จับคู่ (ลากแล้ววาง) การส่งข้อความให้เพื่อช่วยตรวจ CMS จะช่วยให้ผู้สอน สามารถที่จะจัดทำข้อสอบในลักษณะคลังข้อสอบไว้เพื่อการเลือกกลับมาใช้ใหม่ หรือนำมาปรับปรุงแก้ไขได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ระบบยังสามารถช่วยผู้สอนคำนวณตัดเกรดคิดคะแนน รวมทั้งสามารถจะเลือกได้ว่าจะประเมินผลผู้เรียนในลักษณะต่าง ๆ เช่น อิงกลุ่ม อิงเกณฑ์ หรือใช้สถิติในการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่า T-Score รวมทั้งการแสดงผลในรูปกราฟ (ถนอมพร เลาหจรัสแสง, 2545)

4. โหมดการติดต่อสื่อสาร (mode of communications) เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่จัดการให้ผู้เรียนกับผู้เรียน ผู้เรียนกับผู้สอน สามารถติดต่อกันได้ น้ำทิพย์ วิภาวิน (2545) กล่าวว่า E-Learning นั้นแตกต่างจากการเรียนทางไกลโดยทั่ว ๆ ไป คือ เป็นการนำรูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบ 2 ทางมาใช้

ประกอบการเรียนเพื่อเพิ่มความสนใจในการตื่นตัวของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนให้มากยิ่งขึ้น และสามารถแบ่งประเภทการสื่อสารออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่สื่อสารกัน ณ เวลาจริง (real time) ได้แก่ White Board/ text slide, chat, interactive poll, conferencing เป็นต้น และประเภทที่ไม่มีการสื่อสารกัน ณ เวลาจริง (non-real time) ได้แก่ กระดานข่าว (web board) และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ในระหว่างเรียน ถ้ามีคำถาม ซึ่งเป็นการทดสอบย่อยในบทเรียนที่ผู้เรียนต้องเลือกคำตอบ คำตอบนั้นจะถูกส่งกลับมายังระบบทันที ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนรักษาระดับความสนใจในการเรียนได้มากขึ้น

ซาน และโอจี และ เอ็ม (วุฒิ วัฒนสิน, 2544: อ้างจาก ซาน และ โอจี และเอ็ม) ได้กล่าวว่าปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การสอนออนไลน์ประสบความสำเร็จคือ การมีปฏิสัมพันธ์หรือการติดต่อระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน ต้องเป็นไปด้วยความสะดวก ซึ่งสอดคล้องกับ ถนอมพร เลาหจรัสแสง (2545) ที่ได้เสนอว่าควรมีการจัดหาเครื่องมือติดต่อสื่อสารไว้ให้กับผู้เรียนใช้มากกว่า 1 รูปแบบ เพื่อความสะดวกของผู้เรียน กรณีเป็น synchronous online อาจจะมีการถ่ายทอดสัญญาณเสียงสด กรณีเป็น จะเป็นการใช้จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้เรียนด้วยกัน ส่งงาน ปรึกษาเป็นรายบุคคล กิจกรรมดังกล่าวจะช่วยให้ผู้เรียนเกิด ความกระตือรือร้นในการเข้าร่วมกิจกรรมอย่างต่อเนื่อง และจะเป็นการสร้างความคุ้นเคยในการเรียนออนไลน์ได้เป็นอย่างดี

1.7 การนำเสนอเนื้อหาของอีเลิร์นนิง

การถ่ายทอดเนื้อหาสามารถแบ่งได้ 3 ระดับ

1. ระดับเน้นข้อความออนไลน์ (text only) เนื้อหาในระดับนี้จะอยู่ในรูปข้อความเป็นหลักในลักษณะนี้จะเหมือนกับการสอนบนเว็บ (WBT/WBI) ซึ่งข้อดีคือประหยัดรายจ่ายและครูฝึกสอนสามารถผลิตเนื้อหาได้ด้วยตนเอง

2. ระดับรายวิชาที่ออนไลน์เชิงโต้ตอบและประหยัด เนื้อหาจะอยู่ในรูปของตัวอักษร ภาพ เสียง วีดีทัศน์ ที่ผลิตขึ้นมาอย่างง่ายๆ ซึ่งถนอมพรได้เสนอว่า ในระดับหนึ่งและระดับสองนี้ควรจะมี CMS ที่ดีมาช่วยครูฝึกในการสร้างเนื้อหาและปรับเปลี่ยนเนื้อหาได้อย่างสะดวกด้วยตนเอง

3. ระดับรายวิชาออนไลน์คุณภาพสูงเนื้อหาในระดับนี้จะอยู่ในรูปของมัลติมีเดียที่มีลักษณะมืออาชีพ และต้องมีทีมงานการผลิตที่ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญเนื้อหา (content expert) ผู้เชี่ยวชาญการออกแบบ (instructional

designers) ผู้เชี่ยวชาญการผลิตมัลติมีเดีย (multimedia experts) ซึ่งหมายรวมถึง โปรแกรมเมอร์ (programmers) นักออกแบบกราฟิก (graphic designers) หรือผู้เชี่ยวชาญในการผลิตภาพเคลื่อนไหว (animation experts) (ถนอมพร เลาหจรัสแสง, 2545)

1.8 ขั้นตอนการพัฒนาอีเลิร์นนิง

น้ำทิพย์ วิภาวิน (2545, 139-140) ได้กล่าวถึงขั้นตอนการพัฒนา ดังนี้ คือ

1. ขั้นตอนการออกแบบระบบ ประกอบด้วย

1.1 การออกแบบโครงสร้าง

1.2 การจัดกลุ่มเนื้อหาของแต่ละหลักสูตรเป็นโมดูล

1.3 การกำหนดมาตรฐานและรูปแบบ

1.4 การออกแบบ และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูล (repositories)

1.5 การกำหนดเป้าหมายผลลัพธ์ที่ต้องการ

1.6 การออกแบบรูปแบบการสอนเชื่อมโยงกับเนื้อหา

1.7 การตัดสินใจว่าจะสร้างหรือซื้อโปรแกรมในการจัดการ

1.8 ตัวอย่างเครื่องมือหรือโปรแกรมที่ใช้สร้าง ได้แก่

1) Blackboard

2) Web CT

3) Cisco

4) Smart Force

5) Education Sphere

2. ขั้นตอนการพัฒนาระบบอีเลิร์นนิง

2.1 การใช้เครื่องมือในการสร้างเนื้อหาบทเรียนเช่น (authoring tools, HTML และ media authoring tools ในการสร้างภาพ เสียง ภาพเคลื่อนไหว)

2.2 การสร้างกิจกรรมการเรียน

2.3 การค้นหาข้อมูลดิจิทัล และพิจารณาลิขสิทธิ์ของข้อมูลดิจิทัล

2.4 การนำเสนอเนื้อหาบทเรียนเดิมที่มีอยู่แล้วมาใช้

2.5 พัฒนากลุ่มผู้เรียนและทรัพยากรที่ใช้ประกอบการเรียนเช่น

2.6 เอกสาร ตำรา เชื่อมโยงไปยังแหล่งข้อมูลอื่น ๆ

3. การนำระบบไปใช้

3.1 มีการพิจารณาเลือกฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบ

3.2 กำหนดนโยบายในการเรียนของผู้เรียนเป็นรายบุคคลหรือกลุ่ม

3.3 ฝึกอบรมผู้เรียนถึงการใช้โปรแกรม E-Learning ตามหลักสูตรที่กำหนด

3.4 ประเมินผลประสิทธิภาพการทำงานของบุคลากรก่อนและหลังการเรียนจากบทเรียน E-Learning

3.5 ปรับปรุงเนื้อหาบทเรียนให้เหมาะสมยิ่งขึ้น

1.9 มาตรฐานของอีเลิร์นนิง

น้ำทิพย์ วิภาวิน (2545) กล่าวว่า มาตรฐานเป็นสิ่งสำคัญ หากต้องการจะนำเนื้อหาบทเรียน E-Learning มาใช้ร่วมกัน มีหลายองค์กรที่พยายามกำหนดมาตรฐาน HTML (HyperText Markup Language) และ XML (Extensible Markup Language) ที่พัฒนาโดยองค์กร W3C (World Wide Web Consortium) ซึ่งมีผลต่อความก้าวหน้าของมาตรฐาน E-Learning

1. Aviation Industry CBT Committee (AICC) เป็นกลุ่มแรกที่เริ่มกำหนดมาตรฐาน E-Learning โดยเน้นไปที่การฝึกอบรมออนไลน์

2. EDUCAUSE Instruction Management Systems Project (IMS) เป็นกลุ่มผู้ขายที่รวมตัวกันกำหนดมาตรฐานของ E-Learning โดยพิจารณาจากผลการประชุมของกลุ่ม AICC ที่เน้นการกำหนดกลุ่มของ tag ที่ใช้อธิบาย ส่วนประกอบของ E-Learning

3. Advanced Distributed Learning (ADL) เป็นกลุ่มหน่วยงานของรัฐที่กำหนดมาตรฐานต่างๆ ได้พัฒนามาตรฐานของ SCORM (Shareable Content Content Reference Model) หรือ ADL SCORM

4. Alliance of Remote instructional Authoring and Distribute Networks for Europe (ARIADNE) เป็นกลุ่มที่เน้นมาตรฐานของยุโรป

5. IEEE Learning Technology Standards Committee (IEEE L TSC) เป็นองค์กรที่ให้การรับรองมาตรฐานของกลุ่มต่าง ๆ ในสหรัฐอเมริกา

1.10 องค์กรที่บริหารจัดการอิเลิร์นนิง

หน่วยงานของรัฐบาลและเอกชนหลายแห่งมองเห็นว่าระบบการเรียนการสอนออนไลน์ จะเป็นสื่อที่เข้ามามีบทบาทอย่างสูงในอนาคต ไม่ใช่เพียงเข้ามาใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้นแต่ยังนำเข้ามาใช้ในการฝึกอบรมและการติดต่อสื่อสารภายในองค์กรในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งช่วยทำให้เกิดความสะดวกรวดเร็ว เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการบริหารจัดการองค์กร ทำให้ประหยัดรายจ่ายและได้ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศภายในองค์กรได้อย่างคุ้มค่า หน่วยงานที่รับจัดทำและดูแลระบบการจัดการ E-Learning ทั้งระบบอาทิ เช่น ศูนย์การศึกษาต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่จัดทำโปรแกรมระบบการเรียนการสอนออนไลน์เต็มรูปแบบ โดยให้บริการหน่วยงานประเภทสถาบันการศึกษาที่ต้องการนำเอาระบบการจัดการเรียนรู้แบบ E-Learning ที่มีผู้ดูแลให้ทั้งระบบก็สามารถติดต่อให้ดำเนินการได้ แต่มีค่าใช้จ่ายที่ต้องดำเนินการ และสนับสนุนระบบอยู่ด้วย

2. การเรียนแบบชี้แนะ

2.1 ความหมายของการเรียนแบบชี้แนะ

การจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ Direct Instruction ในการจัดทำแผนการสอนหรือแผนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้ของครูผู้สอนในปัจจุบันจะต้องมีการศึกษาหลักสูตรสถานศึกษา และกลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพและเทคโนโลยี มีขั้นตอนในการจัดทำคือ วิเคราะห์จุดประสงค์การเรียนรู้ วิเคราะห์สาระการเรียนรู้ วิเคราะห์กระบวนการจัดการเรียนรู้ วิเคราะห์กระบวนการวัดและประเมินผล วิเคราะห์แหล่งเรียนรู้ และบันทึกผลการจัดการเรียนรู้ตามที่ครูสอนได้รับปฏิบัติการสอน จึงถือว่าได้ว่ามีการพัฒนากระบวนการเรียนรู้ที่สมบูรณ์ เพื่อการจัดการทำงานศึกษาค้นคว้าและพัฒนาผลงานทางวิชาการ

จะเห็นได้ชัดว่า หลักสูตรมีเจตนารมณ์ต้องการให้ผู้เรียนได้ลงมือปฏิบัติจริง มิใช่ในกระบวนการทางความคิดเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในการนำทักษะกระบวนการเข้าสู่ชั้นเรียนไม่ว่าจะเป็นการสอนหรือการสอบ ควรจะผ่านกิจกรรมหรือภาระงานทางความคิดได้นั้น ถือเป็นเรื่องที่อาจจะเพิ่มเติมได้ภายหลังเมื่อประสบการณ์ในการใช้มากขึ้นแล้ว เมื่อเป็นเช่นนั้น การดำเนินการวัดประเมินผลหรือการสอบวัดเน้นกระบวนการที่กล่าวมา ในที่นั้นก็เป็นการวัดประเมิน หรือการสอบที่อิงการใช้ทักษะกระบวนการในกิจกรรมหรือภาระงานลงมือปฏิบัติจริงเช่นกัน

2.2 องค์ประกอบของการเรียนรู้แบบชี้แนะ

องค์ประกอบสำคัญของการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้ ผู้สอนจะต้องวิเคราะห์พฤติกรรมผู้เรียนว่า การเกิดการเรียนรู้จะต้องมีพฤติกรรมย่อยอะไรบ้างแล้วเขียนลงในกระดาษเป็นข้อๆ เกณฑ์วัดสภาพความสำเร็จ ผู้สอนจะต้องกำหนดเกณฑ์วัดสภาพความสำเร็จซึ่งทุกคนต้องผ่านเกณฑ์อย่างน้อย ร้อยละ 80 ขึ้นไปถึงจะฝึกทักษะขั้นต่อไปได้

2.3 วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้แบบชี้แนะ

- เพื่อให้ผู้เรียนมีความรู้ ความสามารถและทักษะพื้นฐานตามที่กำหนด
- เพื่อให้ผู้เรียนสามารถปฏิบัติงานได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอน จนบรรลุผลตามที่ได้ตั้งไว้โดยเกิดข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

การนำกิจกรรมการเรียนรู้แบบชี้แนะ (Direct Instruction)ไปใช้สอนเด็กนั้น สุวิทย์ มูลคำ และอรทัยมูลคำ (2547) กล่าวถึงขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนไว้ว่า มีลำดับเหตุการณ์ 6 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นทบทวนความรู้เดิม 2) ขั้นบอกวัตถุประสงค์ 3) ขั้นนำเสนอเนื้อหาใหม่ 4) ขั้นฝึกโดยการชี้แนะ 5) ขั้นการฝึกโดยอิสระ 6) ขั้นทบทวน

การจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ (Direct Instruction) เป็นรูปแบบการสอนที่มีเป้าหมายเพื่อฝึกทักษะหรือให้ความรู้เบื้องต้นแก่ผู้เรียนเพื่อให้มีพฤติกรรมตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนด การเรียนการสอนแบบชี้แนะนี้มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีทางจิตวิทยากลุ่มพฤติกรรมนิยม และจิตวิทยากร ฝึกการเรียนการสอนเน้นการฝึก และเสริมแรงทางในขณะเรียนหรือฝึกปฏิบัติงาน และจะค่อยลดการเสริมแรงเมื่อผู้เรียนมีพฤติกรรมที่ต้องการ การเรียนการสอนจะเน้นให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้อย่างมีลำดับขั้นตอน รวมทั้งสามารถทำงานร่วมกับคนอื่นได้ ลักษณะการสอนแบบชี้แนะจะเริ่มจากการฝึกทำอย่างง่ายก่อนแล้วค่อยเพิ่มลำดับความยากขึ้นอย่างมีลำดับขั้นตอน ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญของการจัดการเรียนรู้ ดังนี้ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้ ผู้สอนต้องวิเคราะห์พฤติกรรมของผู้เรียนว่า การเกิดการเรียนรู้จะต้องมีพฤติกรรมย่อยอะไรบ้างแล้วเขียนลงในกระดาษเป็นข้อๆ เกณฑ์วัดสภาพความสำเร็จ ผู้สอนจะต้องกำหนดเกณฑ์วัดสภาพความสำเร็จ ซึ่งทุกคนต้องผ่านเกณฑ์อย่างน้อยร้อยละ 80 ขึ้นไป ถึงจะฝึกทักษะขั้นต่อไปได้

เดวีส์ (Davies, 1971 อ้างถึงใน ทิศนา แขมมณี. 2550) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาทักษะปฏิบัติไว้ว่า ทักษะส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยทักษะย่อย ๆ จำนวนมาก การฝึกให้ผู้เรียนสามารถทำ

ทักษะย่อย ๆ เหล่านั้นได้ก่อนแล้วค่อยเชื่อมโยงต่อกันเป็นทักษะใหญ่ จะช่วยให้ผู้เรียนประสบผลสำเร็จได้ดีและเร็วขึ้น

2.4 ขั้นตอนการจัดกิจกรรมการเรียนรู้แบบชี้แนะ

สำหรับขั้นตอนการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. ขั้นทบทวนความรู้เดิม เป็นการทบทวนความรู้เดิมที่ผู้เรียนได้เรียนผ่านไปแล้ว ผู้สอนอาจใช้การซักถาม ทบทวน ตรวจสอบการบ้านในบทเรียนที่ผ่านมา พร้อมทั้งอธิบายความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาที่ผู้เรียนได้เรียนมาแล้วกับเนื้อหาที่จะเรียนต่อไป ในขั้นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นการใช้คำถามพร้อมทั้งให้ผู้เรียนร่วมอภิปรายร่วมกัน

2. ขั้นบอกวัตถุประสงค์ เป็นการบอกวัตถุประสงค์การเรียนให้ผู้เรียนทราบวัตถุประสงค์ที่ผู้สอนบอกผู้เรียนควรชัดเจน และใช้ภาษาง่ายๆ ในขั้นนี้ผู้เรียนควรจะรู้ด้วยว่าจะได้รับความรู้หรือสิทธิประโยชน์อะไรบ้างหลังจากที่เรียนจบบทเรียน ผลงานผู้เรียนควรจะเป็นอย่างไร พร้อมทั้งเนื้อหาโดยสังเขป และที่สำคัญผู้สอนจะต้องระบุบทบาทความรับผิดชอบของผู้เรียนแต่ละคนแต่ละกลุ่มด้วยว่าใครมีหน้าที่อะไรในระหว่างการปฏิบัติ วัตถุประสงค์ของการเรียนจะต้องสัมพันธ์กับเนื้อหาที่ผ่านมา

3. ขั้นนำเสนอเนื้อหาใหม่เป็นการนำเสนอเนื้อหาสารสนเทศหรือทักษะ ซึ่งผู้สอนจะต้องจัดเตรียมและวิเคราะห์เนื้อหาให้เป็นไปอย่างมีลำดับขั้นตอนชัดเจน ควรมีตัวอย่างและคำถามที่หลากหลาย และคำถามระหว่างการสอน และในการสอนแต่ละขั้นตอนหรือแต่ละเนื้อหา ควรจะมีการใช้สื่อทัศนูปกรณ์ประกอบการสอน และให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ ในขั้นตอนนี้ถือได้ว่ามีความสำคัญมากโดยเฉพาะในส่วนของการจัดเรียงลำดับเนื้อหา ซึ่งจะเป็นการนำความรู้จากผู้สอนไปสู่เด็กโดยตรง การสอนควรเป็นไปตามลำดับขั้นตอน การสอนจำเป็นต้องมีการสาธิต ผู้สอนจะต้องแบ่งขั้นตอนของการสาธิตนั้นออกเป็นขั้นตอนย่อย เช่น การเขียนภาพ Oblique ผู้สอนจะต้องแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยของการสาธิตคือ วิธีการเขียนเส้นเบา วิธีการเขียนเส้นหนัก ขั้นตอนและหลักการเขียนภาพ Oblique ในเบื้องต้นโดยเริ่มจากรูปกล่องสี่เหลี่ยม การวัดและกำหนดขนาด เป็นต้น สิ่งที่ควรพิจารณาของผู้สอนในขั้นตอนนี้คือ ผู้เรียนอาจจะมีความถนัดที่แตกต่างกันมีประสบการณ์ที่แตกต่างกัน ทำให้การสอนบางครั้งล่าช้าไม่ทันความต้องการของผู้สอนซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ดังนี้ 1) วิเคราะห์เนื้อหาที่จะสอนให้เหมาะสมกับวัยและความต้องการของผู้เรียน ไม่ควรใช้วิธีการปฏิบัติที่สลับซับซ้อนมากนัก 2) เขียนแผนผังเนื้อหาจากกว้างสุดไปหาเนื้อหาที่แคบที่สุด 3)แบ่งทักษะที่จะสอนออกเป็นทักษะย่อย แล้วจัดเรียงลำดับให้พอเหมาะ 4) นำเสนอเนื้อหาโดยสรุปล่วงหน้าให้ผู้เรียนได้รับรู้ก่อนแล้วค่อยเสริมเนื้อหาใหม่อย่างละเอียด 5) เลือกตัวอย่างให้เห็นภาพที่ชัดเจนในแต่ละประเด็นหลัก พร้อมทั้งเชื่อมโยงในแต่ละขั้นตอนให้เห็นภาพรวมของการสอนทั้งหมด 6) ซักถามผู้เรียนเพื่อตรวจสอบความเข้าใจในขั้นตอนนี้ 7)สรุปประเด็นหลักของการเรียนเมื่อจบหน่วยของเนื้อหาพร้อมทั้งเชื่อมโยงให้เห็นเนื้อหาที่จะเรียนในครั้งต่อไป

4. ขั้นฝึกโดยการชี้แนะ เป็นการให้ผู้เรียนได้ฝึกโดยผู้สอนจะควบคุมกระบวนการและตรวจสอบการทำงานของผู้เรียนอย่างใกล้ชิดทั้งรายบุคคลและกลุ่มอิสระ โดยผู้สอนมอบหมายให้ผู้เรียนฝึกอิสระพร้อมทั้งแก้ไขข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงานของผู้เรียน สำหรับเทคนิคที่ใช้มีหลายวิธีซึ่งการใช้คำถามเพื่อสอบทาน

ความคิดของผู้เรียนในระหว่างปฏิบัติเป็นวิธีที่ใช้มากที่สุด โดยจะซักถามควบคู่ไปกับการปฏิบัติ การใช้คำถามควบคู่กับการปฏิบัติจะเป็นการตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน เมื่อผู้สอนทราบความรู้ความเข้าใจของผู้เรียนแล้วก็แก้ไขข้อผิดพลาดให้กับผู้เรียนที่ยังไม่เข้าใจหรือเข้าใจผิด การเกิดข้อผิดพลาดนั้นจะทำให้การเรียนของผู้เรียนได้ดีขึ้น ซึ่งต้องเป็นการแก้ไขทันทีก่อนที่ผู้เรียนจะเข้าใจผิดจนปฏิบัติกลายเป็นนิสัย ดังนั้นถ้าผู้เรียนยังมีข้อผิดพลาด หรือไม่สามารถทำงานในขั้นตอนใดก็ยังไม่ควรสอนเนื้อหาหรือทักษะต่อไป เกณฑ์การประเมินในการผ่านขั้นตอนในการปฏิบัติผู้เรียนต้องทำถูกต้อง 85 – 100% ในแต่ละขั้นตอน ถ้ายังไม่ถึงเกณฑ์ผู้สอนต้องแก้ไขจนได้ตามเกณฑ์

5. ขั้นการฝึกโดยอิสระเป็นการให้ผู้เรียนฝึกโดยอิสระโดยผู้สอนมอบหมายงานให้ผู้เรียนได้ทำโดยอิสระ การฝึกอิสระผู้สอนต้องตรวจสอบการทำงานของผู้เรียนอย่างระมัดระวังทั้งการทำงานรายบุคคลหรือกลุ่ม โดยเฉพาะใน

การสอนก่อนการปฏิบัติ ต้องจัดเตรียมเอกสารคู่มือการทำงาน และเวลาที่ฝึกต้องเพียงพอต่อการฝึกในแต่ละครั้ง เพื่อให้ผู้เรียนได้ทำงานตามที่ผู้สอนได้กำหนด ในระหว่างที่ฝึกผู้สอนควรดูอยู่ห่าง ๆ เพื่อตรวจดูว่าผู้เรียนได้ปฏิบัติได้ถูกต้องไม่มีข้อผิดพลาด หรือเกิดความผิดพลาดระหว่างการฝึกอย่างไรก็ตามการฝึกปฏิบัติของผู้เรียนจะเป็นไปตามกำหนดได้นั้นผู้สอนจำเป็นต้องมีใบงานซึ่งจะเป็นเอกสารแนะนำในการทำงาน การให้การบ้านก็เป็นการฝึกเพื่อให้ผู้เรียนมีลักษณะแบบค่อยเป็นค่อยไป แต่ปัญหาของการให้การบ้านที่ผ่านมาคือ ผู้สอนให้การบ้านโดยที่เด็กยังไม่เข้าใจในเรื่องนั้นอย่าสงชัดเจนมาก่อนแทนที่จะเป็นการฝึกเพื่อให้เกิดทักษะที่ชำนาญกลายเป็นการสร้างความคับข้องใจให้เด็ก หรือบางทีก็เกิดทัศนคติที่ไม่ดีต่อการเรียนวิชานั้น

6. ขั้นทบทวนเป็นการทบทวนเนื้อหาที่ผู้เรียนได้เรียนมาแล้วทั้งหมดพร้อมทั้งให้งานเพิ่มเติมจากการเรียน ซึ่งขั้นทบทวนความรู้เดิมควรจะมีอยู่ในแผนการสอนทุกครั้ง ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนมีทักษะมากขึ้นและพร้อมที่จะเรียนรู้ในขั้นต่อไป ขั้นทบทวนนี้จัดเป็นขั้นตอนที่จำเป็นมากโดยเฉพาะเนื้อหาใหม่ที่ผู้เรียนไม่เคยเรียนรู้มาก่อน รวมทั้งทักษะที่จำเป็นที่ผู้เรียนจะต้องมีความรู้มาก่อนรวมทั้งทักษะที่จำเป็นที่ผู้เรียนจะต้องมีความรู้เพื่อนำไปใช้ในการเรียนเนื้อหาต่อไป การทบทวนสามารถทำได้หลายวิธีการให้การบ้านเป็นวิธีการหนึ่งของการทบทวน แต่การบ้านนั้นจะต้องมีคุณค่าเป็นการฝึกปฏิบัติเพิ่มได้

2.5 ข้อดี และข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ

ข้อดีของการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ

1. นักเรียนทุกคนได้รับความรู้ และทักษะพื้นฐานตามที่กำหนดไว้ในเป้าหมายแต่อาจใช้เวลาที่แตกต่างกัน

2. ผู้เรียนได้รับการเรียนรู้อย่างเป็นขั้นเป็นตอน พร้อมได้รับการเสริมแรงจากผู้สอน

3. ฝึกให้นักเรียนสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาดหรือมีข้อผิดพลาดน้อยที่สุด

4. การวัดและประเมินผลง่ายไม่ซับซ้อน เพราะประเมินจากพฤติกรรมหรือทักษะขั้นพื้นฐาน

2.6 ข้อจำกัดของการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ

ไม่เหมาะสมกับการจัดการเรียนรู้เนื้อหาที่เกี่ยวกับ ความซาบซึ้งวรรณคดี ความคิดสร้างสรรค์ และการแก้ปัญหาการเรียนบางเนื้อหาอาจจะต้องใช้เวลามาก

3. หลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิตสาขาวิชากายภาพบำบัด หลักสูตรปรับปรัง พ.ศ. 2563

หลักสูตรวิทยาศาตรบัณฑิตสาขาวิชากายภาพบำบัด หลักสูตรปรับปรัง พ.ศ. 2563 ได้รับรองปริญญาในวิชาชีพกายภาพบำบัด ตั้งแต่ปีการศึกษา 2660 โดยสภากายภาพบำบัด เป็นหลักสูตรจัดการเรียนการสอน 4 ปี ชั้นปีละ 50 คน มีวัตถุประสงค์เพื่อ

1. มีงานทำและศึกษาต่อทางด้านกายภาพบำบัดหรือวิทยาศาสตร์สุขภาพ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80
2. บัณฑิตกายภาพบำบัดจะมีคุณธรรม จริยธรรม ความรู้ และความสามารถดังต่อไปนี้

   2.1 มีคุณธรรม จริยธรรม มีจรรยาบรรณในการประกอบวิชาชีพกายภาพบำบัด และจิตอาสา ทั้งการปฏิบัติงานและการดำรงชีวิต มีทัศนคติที่ดีต่อวิชาชีพกายภาพบำบัด

   2.2 มีความรู้ ความสามารถ และทักษะในการประกอบวิชาชีพโดยใช้หลักการคิดและตัดสินใจทางคลินิกตามมาตรฐานวิชาชีพกายภาพบำบัดที่สอดคล้องกับความต้องการของสังคมและชุมชน โดยเฉพาะในผู้สูงอายุและผู้ใช้แรงงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการท่องเที่ยว

   2.3 สามารถคิดวิเคราะห์ และแก้ปัญหาทางด้านกายภาพบำบัดและบริบทที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบและสร้างสรรค์

   2.4 มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี มีความเป็นผู้นำ ผู้ตาม และสามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะสมตามสถานการณ์

   2.5 สามารถใช้ภาษาในการสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพและใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อแสวงหาความรู้ทางกายภาพบำบัดและวิทยาศาสตร์สุขภาพที่เกี่ยวข้อง และใช้ข้อมูลทางวิชาการที่น่าเชื่อถือ สามารถนำมาประยุกต์ในวิชาชีพและชีวิตประจำวันได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม

   2.6 พัฒนาตนเอง และวิชาชีพอย่างต่อเนื่อง โดยการศึกษา ค้นคว้า ใช้กระบวนการวิจัยและเรียนรู้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพและทันสมัย

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาผลการจัดกิจกรรมการเรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่มีผลต่อการเรียนรู้ และการปฏิบัติงานของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 เนื่องจากชั้นปีที่ 2 เป็นชั้นปีที่เรียนพื้นฐานวิชาชีพด้านกายภาพบำบัดจะครบทุกรายวิชา และเป็นการเตรียมความพร้อมของนิสิตที่จะเข้าสู่วิชาชีพอีกทางหนึ่ง กรอปกับการเกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัสโคโรนาไวรัส 2019 ทำให้นิสิตต้องมีการปรับตัวอย่างเร่งด่วนก่อนที่จะเข้าสู่วิชาชีพ และอาจารย์ประจำวิชาร่วมกับผู้วิจัยจะชี้แจงรายละเอียดของวิชา แลของลักษณะการเข้าเรียนแบบปกติ และแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ เพื่อให้นิสิตได้มีโอกาสเลือกที่จะเข้าร่วมโครงการอย่างอิสระ โดยการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ใช้รูปแบบการวิจัยแบบ One-Group Pretest-Posttest Design มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง
2. แบบแผนการวิจัย
3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
4. การสร้างเครื่องมือ
5. วิธีดำเนินการ
6. สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ประชากร และกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 รหัส 64

2. กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนิสิตกายภาพบำบัดที่เรียนรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด รหัส 64

2. ตัวแปรที่ศึกษา

- **ตัวแปรต้น**

  การจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

- **ตัวแปรตาม**

  คะแนนผลสัมฤทธิ์ของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

  คะแนนการปฏิบัติงานของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

  ความพึงพอใจของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

  ผลสัมฤทธิ์ทั้งคะแนน การปฏิบัติงานของนิสิต และความพึงพอใจระหว่างการเรียนแบบปกติ และ และแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบ One-Group Pretest-Posttest Design ดังนี้

ตาราง 1 แผนการทดลองแบบ One-Group Pretest-Posttest Design

กลุ่ม	ทดสอบก่อนเรียน	ทดลอง	ทดสอบหลังเรียน
E1	T1	X1	T2
E2	T2	X2	T3

E1 คือ กลุ่มทดลองเรียนแบบอีเลินร์นนิ่งแบบชี้แนะ

E2 คือ กลุ่มทดลองเรียบแบบปกติ

X1 คือ การเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

T1 คือ การทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) กลุ่มทดลอง

T2 คือ การทดสอบหลังเรียน (Post-test) กลุ่มทดลอง

X2 คือ การเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบปกติ

T2 คือ การทดสอบก่อนเรียน (Pre-test) กลุ่มเรียนแบบปกติ

T3 คือ การทดสอบหลังเรียน (Post-test) กลุ่มเรียนแบบปกติ

4. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่

1. แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ในรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
2. บทเรียนอีเลิร์นนิง รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
3. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
4. แบบประเมินผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
5. แบบประเมินผลตามสภาพจริงโดยวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนในการเรียน แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
6. แบบสอบถามความพึงพอใจของนักเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

5. การสร้าง และตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างบทเรียนอีเลิร์นนิง รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด โดยมีวิธีดำเนินการดังนี้

5.1 แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

แผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ใช้ในการวิจัย มีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

5.1.1 ศึกษาโครงสร้าง และรายละเอียดการจัดการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิง และการจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะ

5.1.2 ศึกษาโครงสร้างหลักสูตร และรายละเอียดเนื้อหา รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

5.1.3 ศึกษาเอกสารการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะเพื่อนำมาเขียนแผนการเรียนรู้ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

5.1.4 ศึกษาจุดประสงค์ และเนื้อหาย่อยเพื่อกำหนดแผนการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะ และกำหนดกิจกรรมการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้

ตาราง 2 กำหนดแผนการจัดการเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

แผนการจัดการเรียนรู้หน่วยที่	หน่วยการสอน / หน่วยการสอนย่อย	จำนวนชั่วโมง
1	1. Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues	2
	2. Cerebral hemispheres 1	2
	3. Diencephalon	2

5.1.5 ดำเนินการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ จำนวน 1 แผน ประกอบด้วยสาระการเรียนรู้ ผลการเรียนรู้ที่คาดหวัง จุดประสงค์การเรียนรู้ เนื้อหาสาระการเรียนรู้ ทักษะที่ได้รับเมื่อเรียนรู้แบบชี้แนะ กิจกรรมการเรียนการสอน สื่อ แหล่งการเรียนรู้ การวัดและประเมินผล และเอกสารอ้างอิง

5.1.6 นำแผนการจัดการเรียนรู้ให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) แล้วนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยให้ผู้เชี่ยวชาญ 2 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน และด้านวัดผลประเมินผล จำนวน 3 ท่าน ด้านออกแบบบทเรียนอีเลิร์นนิง จำนวน 3 ท่าน โดยพิจารณาดังนี้

+1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหา

0 ไม่แน่ใจว่ารายการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้สอดคล้องกับเนื้อหา

-1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาแผนการจัดการเรียนรู้ไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

ผลการตรวจสอบค่า IOC มีค่าเท่ากับ 1.00

5.1.7 ปรับปรุงแก้ไขแผนการจัดการเรียนรู้ตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยปรับปรุงแก้ไขการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับผู้สอน โดยผู้สอนสามารถให้คำแนะนำผู้เรียนด้วยการสนทนาแบบออนไลน์ เพื่อให้การเรียนรู้ของผู้เรียนมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

5.1.8 ได้แผนการจัดการเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะไปใช้จริง

5.2 บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

5.2.1 ศึกษาเนื้อหา และวิเคราะห์รายละเอียดวิธีการสร้างบทเรียนอีเลิร์นนิง และการจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะจากเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

5.2.2 กำหนดจุดประสงค์การเรียน เรื่อง1. Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues 2. Signaling in the nervous system and Somatosensory system 3. Brainstem โดยกำหนดเป็นจุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

5.2.3 วิธีการวัด และประเมินผลให้มีความสัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ ดังนี้

1. กำหนดจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน กำหนดรูปแบบ เนื้อหาของบทเรียนรวมถึงเกณฑ์การวัดและประเมินผล

2. สร้างเป็นแผนภูมิสายงาน (Flow Chart) และบทภาพ (Storyboard)

3. นำบทภาพ (Storyboard) ที่สร้างขึ้น และรายละเอียดเกี่ยวกับการวัด และประเมินผลไปปรึกษาผู้เชี่ยวชาญเพื่อขอคำแนะนำ และตรวจความถูกต้องเหมาะสม เพื่อนำมาปรับปรุงแก้ไข

5.2.4 บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ได้ที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขเสร็จเรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการสร้างบทเรียนอีเลิร์นนิงตามบทภาพดังกล่าว โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. บทเรียนอีเลิร์นนิง ซึ่งผู้วิจัยใช้โปรแกรม Moodle โดยประกอบด้วย ชื่อบทเรียน เนื้อหาบทเรียน แบบทดสอบก่อนเรียน แบบทดสอบหลังเรียน และแหล่งความรู้เพิ่มเติม

2. ส่วนของเนื้อหาบทเรียน มีการเสนอเนื้อหาที่แบ่งออกเป็น 3 เรื่อง ดังนี้ เรื่องที่ 1. Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues เรื่องที่ 2. Signaling in the nervous system and Somatosensory system และเรื่องที่ 3. Brainstem โดยทุกหัวข้อจะจัดให้มีเนื้อหาด้านคุณธรรม จริยธรรมในการใช้อินเทอร์เน็ต

3. ส่วนของกิจกรรมการเรียนเป็นกิจกรรมการเรียนรู้แบบชี้แนะ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อาจารย์ผู้สอนทบทวนความรู้เดิมเกี่ยวกับเนื้อหาในแต่ละหัวข้อ ให้นิสิต

ทบทวนพื้นฐานความรู้เดิมตามที่ได้เคยเรียนมาแล้วโดยการซักถาม ทบทวนบทเรียนที่ผ่านมา อธิบายความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาที่ผู้เรียนได้เรียนมาแล้วกับเนื้อหาที่จะเรียนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 อาจารย์ผู้สอนบอกวัตถุประสงค์ของการเรียนในแต่ละหัวข้อ โดยชี้แจงถึงการได้รับสิทธิประโยชน์อะไรบ้างหลังจากที่ได้เรียนจบบทเรียน ผลการปฏิบัติงานของผู้เรียนควรจะเป็นอย่างไร

ขั้นตอนที่ 3 อาจารย์ผู้สอนนำเสนอเนื้อหาสาระหรือทักษะ ซึ่งอาจารย์ผู้สอนจัดเตรียม และวิเคราะห์เนื้อหาให้เป็นไปอย่างมีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน มีสื่อประกอบการเรียน ในรูปแบบเอกสาร และสื่อมัลติมีเดีย

ขั้นตอนที่ 4 ผู้เรียนฝึกแลกเปลี่ยนเรียนเรียนรู้กับเพื่อน ในประเด็นเนื้อหาของแต่ละหัวข้อ

ซึ่งกำหนดโดยอาจารย์ผู้สอน โดยอาจารย์สอนให้คำแนะนำ และสังเกตุพฤติกรรมการร่วมแสดงความคิดเห็นของนิสิต โดยอาจารย์ผู้สอนมอบหมายให้นิสิตฝึกอิสระพร้อมทั้งให้คำแนะนำแก่นิสิต ผ่านห้องสนทนาออนไลน์ในบทเรียนอีเลิร์นนิง

ขั้นตอนที่ 5 นิสิตได้ฝึกอิสระโดยอาจารย์ผู้สอนมอบหมายงานหรือตั้งประเด็นการสนทนาให้นิสิตได้ทำโดยอิสระ โดยอาจารย์ผู้สอนคอยให้คำแนะนำ หรือข้อเสนอแนะการทำงานหรือองค์ความรู้ที่ถูกต้องแก่นิสิต และคอยดูแลอยู่ห่างๆ เพื่อมิให้เกิดการเข้าใจในเนื้อหาหรือประเด็นข้อมูลที่ผิดพลาดระหว่างการเรียนการสอน ขั้นตอนที่ 6 อาจารย์ผู้สอนทบทวนเนื้อหาที่นิสิตได้เรียนมาแล้วทั้งหมด ทำให้ผู้เรียนความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหา การเรียนรู้ มากยิ่งขึ้น

5.2.5 นำบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่สร้างไปให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหาตรวจสอบความถูกต้อง และเหมาะสมของเนื้อหา และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบทเรียนอีเลิร์นนิงตรวจสอบความถูกต้อง โดยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ซึ่งกำหนดค่าระดับดังนี้

5 หมายถึง บทเรียนมีคุณภาพมากที่สุด
4 หมายถึง บทเรียนมีคุณภาพมาก
3 หมายถึง บทเรียนมีคุณภาพปานกลาง
2 หมายถึง บทเรียนมีคุณภาพน้อย
1 หมายถึง บทเรียนมีคุณภาพน้อยที่สุด

โดยผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์แปลความหมายไว้ดังนี้

คะแนนเฉลี่ย	4.50-5.00	หมายถึง	มากที่สุด
คะแนนเฉลี่ย	3.50-4.49	หมายถึง	มาก
คะแนนเฉลี่ย	2.50-3.49	หมายถึง	ปานกลาง
คะแนนเฉลี่ย	1.50-2.49	หมายถึง	น้อย
คะแนนเฉลี่ย	1.00-1.49	หมายถึง	น้อยที่สุด

ทั้งนี้บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์วิทยาศาสตร์ ผ่านเกณฑ์ โดยนำบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา ตรวจสอบความถูกต้อง และเหมาะสมของเนื้อหา และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบบทเรียนอีเลิร์นนิงตรวจสอบความถูกต้อง

5.2.6 ปรับปรุง และแก้ไขบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

5.2.7 นำบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขไปทดลองใช้แบบหนึ่งต่อหนึ่ง (One to one Tryout) กับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 3 คน โดยคัดเลือกนิสิตที่มีคะแนนในระดับสูง ปานกลาง และต่ำ

5.2.8 ปรับปรุง และแก้ไขบทเรียนอีเลิร์นนิ่งแบบชี้แนะ ตามข้อเสนอแนะของนิสิต

5.2.9 นำบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ผ่านการปรับปรุงแก้ไขไปทดลองใช้แบบกลุ่มเล็ก (Small group Tryout) กับนิสิตที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง โดยคัดเลือกนิสิตที่มีคะแนนในระดับสูงจำนวน 3 คน ระดับปานกลางจำนวน 3 คน และระดับต่ำจำนวน 3 คน รวม 9 คน โดยให้ผู้เรียนทำแบบทดสอบย่อยระหว่างเรียนแล้วจึงศึกษาสื่อบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ หลังจากนั้นทำแบบทดสอบหลังเรียน เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ และข้อบกพร่องของสื่อบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ โดยกำหนดเกณฑ์ประสิทธิภาพ 75/75 ปรับปรุง และแก้ไขบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะตามข้อเสนอแนะของนิสิต

5.2.10 ได้บทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะที่ผ่านการประเมินคุณภาพ (Quality Evaluation) จากผู้เชี่ยวชาญและการทดลองการใช้งานจากนิสิต เพื่อนำไปใช้ทดลองกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยต่อไป

5.3 การสร้างแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

5.3.1 ศึกษาแนวทางการสร้างแบบทดสอบ จากตำรา และเอกสารต่าง ๆ

5.3.2 สร้างตารางการวิเคราะห์ข้อสอบ ตามจุดประสงค์การเรียนรู้ และพฤติกรรมที่ต้องการวัด

ตาราง 3 ***การวิเคราะห์เนื้อหา และพฤติกรรม***

เนื้อหา	**พฤติกรรม**			**รวม**
	ความจำ	**ความเข้าใจ**	**การนำไปใช้**	
1. Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues	4	4	4	
2. cerebral hemisphere	4	4	4	
3. diencephalon	4	4	4	
รวม	**12**	**12**	**12**	**36**
อันดับความสำคัญ	**2**	**1**	**3**	

5.3.2 สร้างแบบทดสอบ เป็นแบบปรนัยชนิด 5 ตัวเลือก จำนวน 30 ข้อโดยสร้างให้ครอบคลุมเนื้อหาตามวัตถุประสงค์

5.3.3 นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

5.3.4 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้น ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน วัดผลประเมินผล 3 ท่าน ตรวจสอบความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) แล้วนำมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) โดยใช้เกณฑ์การประเมินดังนี้

+1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาในแบบทดสอบสอดคล้องกับเนื้อหา

0 ไม่แน่ใจว่ารายการพิจารณาในแบบทดสอบสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาในแบบทดสอบไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

5.3.5 นำแบบทดสอบที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 3 รหัส 62 จำนวน 20 คน ซึ่งเคยเรียนเนื้อหานี้มาแล้ว

5.3.6 นำผลการทดสอบมาตรวจให้คะแนน โดยตอบถูกให้ 1 คะแนน ตอบผิดหรือไม่ตอบให้ 0 คะแนน แล้ววิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) และค่าอำนาจจำแนก (r) คัดเลือกข้อสอบ ในแต่ละข้อซึ่งพบว่า ข้อสอบที่สามารถใช้ได้จากการวิเคราะห์หาค่าความยากง่าย (p) ระหว่าง 0.20 ถึง 0.80 และค่าอำนาจจำแนก (r) ระหว่าง 0.20 ขึ้นไป

5.3.7 นำแบบทดสอบไปคำนวณหาค่าความเชื่อมั่น โดยใช้สูตร KR-20 ของ Kuder Richardson

5.3.8 นำแบบทดสอบไปทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่าง

5.4 การสร้างแบบประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้

ในการประเมินพฤติกรรมการเรียนรู้ เพื่อวัดพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนนั้นผู้วิจัยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค (Rubric) ในการประเมินผลตามสภาพจริงของนิสิต โดยมีขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

5.4.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับการประเมินผลตามสภาพจริงโดยใช้การประเมินผลการเรียนรู้

5.4.2 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการสร้างแบบประเมินผลตามสภาพจริง

5.4.3 สร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริคโดยกำหนดองค์ประกอบการประเมินและอธิบายระดับคุณภาพ

5.4.4 นำเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริคผลพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตให้ผู้เชี่ยวชาญ 2 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน และด้านวัดผลประเมินผล จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับประเด็นและรายละเอียดการประเมินผลงาน แล้วนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) โดยเลือกรายการประเมินที่ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป โดยใช้เกณฑ์การประเมิน ดังนี้

+1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินสอดคล้องกับเนื้อหา

0 ไม่แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

5.4.5 ทำการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

5.4.6 นำแบบประเมินผลพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิต โดยใช้เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพในการเรียนรู้ของนิสิตโดยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ซึ่งกำหนดค่าระดับ ดังนี้

คุณภาพระดับดีที่สุด	มีค่าเท่ากับ	5	คะแนน
คุณภาพระดับดี	มีค่าเท่ากับ	4	คะแนน
คุณภาพระดับปานกลาง	มีค่าเท่ากับ	3	คะแนน
คุณภาพระดับพอใช้	มีค่าเท่ากับ	2	คะแนน
คุณภาพระดับปรับปรุง	มีค่าเท่ากับ	1	คะแนน

ส่วนของคะแนน และความหมาย โดยพัฒนามาจากแนวคิดของเบสท์ (Best 1986 : 195) มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 4 ***เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิต***

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	ผลงาน
4.50 – 5.00	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดีมากที่สุด
3.50 - 4.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดีมาก
2.50 - 3.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดี
1.50 - 2.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนนิสิตอยู่ในระดับพอใช้
1.00 - 1.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับปรับปรุง

5.5 แบบประเมินผลงาน

ในการประเมินผลงานนั้นผู้วิจัยใช้เกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค (Rubric) ในการประเมินผลงานของนิสิต โดยมีขั้นตอนการสร้างและตรวจสอบคุณภาพเกณฑ์การให้คะแนนดังนี้

5.5.1 ศึกษาค้นคว้าเอกสารเกี่ยวกับการประเมินผลตามสภาพจริงโดยใช้การประเมินผลงาน

5.5.2 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี หลักการสร้างแบบประเมินผลงานของนิสิต

5.5.3 สร้างเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค (Rubric) โดยกำหนดองค์ประกอบการประเมิน และอธิบายระดับคุณภาพ

5.5.4 นำเกณฑ์การให้คะแนนแบบรูบริค (Rubric) ผลงานของนิสิต ให้ผู้เชี่ยวชาญ 2 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา จำนวน 3 ท่าน และด้านวัดผลประเมินผล จำนวน 3 ท่าน ตรวจสอบความถูกต้องเกี่ยวกับประเด็นและรายละเอียดการประเมินผลงาน แล้วนำความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมดมาหาค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of Item Objective Congruence: IOC) โดยเลือกรายการประเมินที่ค่าดัชนีความสอดคล้องตั้งแต่ 0.50 ขึ้นไป โดยใช้เกณฑ์การประเมิน ดังนี้

+1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินสอดคล้องกับเนื้อหา

0 ไม่แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาเกณฑ์การประเมินไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

5.5.5 ทำการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ

5.5.6 นำแบบประเมินผลงานของนิสิตมาปรับปรุงแก้ไขตามที่ผู้เชี่ยวชาญแนะนำแล้ว นำไปใช้จริง โดยผู้วิจัยทำการตรวจผลงานร่วมกับอาจารย์ผู้สอนรายวิชาอื่น ๆ จำนวน 3 คน ทำให้ได้ผลการตรวจที่แม่นยำ และตรงตามเกณฑ์การประเมิน โดยใช้เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพของผลงานนิสิต โดยใช้แบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประเมินค่า 5 ระดับ ซึ่งกำหนดค่าระดับ ดังนี้

คุณภาพระดับดีที่สุด	มีค่าเท่ากับ	5 คะแนน
คุณภาพระดับดี	มีค่าเท่ากับ	4 คะแนน
คุณภาพระดับปานกลาง	มีค่าเท่ากับ	3 คะแนน
คุณภาพระดับพอใช้	มีค่าเท่ากับ	2 คะแนน
คุณภาพระดับปรับปรุง	มีค่าเท่ากับ	1 คะแนน

ส่วนของคะแนนและความหมาย โดยพัฒนามาจากแนวคิดของเบสท์ (Best 1986 : 195) มีรายละเอียดดังนี้

ตาราง 5 *เกณฑ์การตัดสินระดับคุณภาพการจัดทำเว็บบล็อกของนักเรียน*

คะแนนเฉลี่ยระหว่าง	ผลงาน
4.50 – 5.00	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดีมากที่สุด
3.50 - 4.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดีมาก
2.50 - 3.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับดี
1.50 - 2.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนนิสิตอยู่ในระดับพอใช้
1.00 - 1.49	พฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตอยู่ในระดับปรับปรุง

5.6 แบบสอบถามความพึงพอใจ ที่เรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด ของนิสิตชั้นปีที่ 2 เป็นแบบสอบถามที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้สอบถามความพึงพอใจของนิสิตหลังจากที่ได้เรียนรู้ด้วยการเรียน แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด ซึ่งแบบสอบถามที่จะให้ผู้เรียนประเมินนี้มี

ลักษณะเป็น มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ ซึ่งกำหนดค่าระดับ ตามแนวคิดของ ลิเคอร์ท (Likert) ดังนี้

คุณภาพระดับดีที่สุด	มีค่าเท่ากับ	5	คะแนน
คุณภาพระดับดี	มีค่าเท่ากับ	4	คะแนน
คุณภาพระดับปานกลาง	มีค่าเท่ากับ	3	คะแนน
คุณภาพระดับพอใช้	มีค่าเท่ากับ	2	คะแนน
คุณภาพระดับปรับปรุง	มีค่าเท่ากับ	1	คะแนน

โดยมีขั้นตอนในการสร้าง ดังนี้

5.6.1 ศึกษาทฤษฎี วิธีการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ จากตำรา และเอกสารต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการสร้างแบบสอบถามความพึงพอใจ

5.6.2 สร้างแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด โดยมีเกณฑ์ในการประเมินความพึงพอใจที่มีต่อบทเรียน 5 ระดับ ได้แก่ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด การวิเคราะห์ค่าคะแนนมีดังนี้

5	หมายถึง	มากที่สุด
4	หมายถึง	มาก
3	หมายถึง	ปานกลาง
2	หมายถึง	น้อย
1	หมายถึง	น้อยที่สุด

5.6.3 นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่สร้างขึ้น ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจสอบค่า IOC โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาดังนี้

+1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาแบบสอบถามความพึงพอใจสอดคล้องกับเนื้อหา

0 ไม่แน่ใจว่ารายการพิจารณาแบบสอบถามความพึงพอใจสอดคล้องกับเนื้อหา

-1 แน่ใจว่ารายการพิจารณาแบบสอบถามความพึงพอใจไม่สอดคล้องกับเนื้อหา

5.6.4 นำแบบสอบถามความพึงพอใจมาทำการปรับปรุงให้เหมาะสม ตามคำแนะนำและข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ

5.6.5 นำแบบสอบถามความพึงพอใจที่พร้อมใช้ นำไปใช้กับนิสิตที่เรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด หลังจากที่ได้เรียนบทเรียนเรียบร้อยแล้ว

6. วิธีดำเนินการ

ผู้วิจัยดำเนินการทดลอง และเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีลำดับขั้นตอน ดังนี้

6.1 ขั้นเตรียมการ

6.1.1 ผู้วิจัยจัดเตรียมสถานที่ กำหนดวัน และเวลาที่ใช้ในการทดลอง

6.1.2 เตรียมสถานที่ที่ใช้ในการทดลองห้องปฏิบัติการ 502 อาคารวิทยาศาตร์การแพทย์ คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

6.2 ขั้นดำเนินการทดลอง

6.2.1 ผู้วิจัยดำเนินการทดลองกับกลุ่มทดลอง ปฐมนิเทศนิสิต เพื่อชี้แจงวัตถุประสงค์ และวิธีในการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ และดำเนินการสอนตามแผนการจัดการเรียนรู้ โดยผู้วิจัยทำการอธิบายเกี่ยวกับการเรียนรู้แบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

6.2.1.1 แนะนำผู้เรียนเกี่ยวกับบทบาทผู้สอน และนิสิต

- บทบาทนิสิต

ในการเรียนโดยใช้บทเรียนอีเลิร์นนิง โดยการเรียนรู้แบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด ผู้เรียนจะได้รับบทบาทในกิจกรรม ดังนี้ ผู้เรียนเป็นผู้เรียนรู้และศึกษาค้านคว้าด้วยตนเอง ผู้เรียนมีการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต วิเคราะห์องค์ความรู้ แลกเปลี่ยนความรู้ระหว่างนิสิตกับนิสิต และอาจารย์ผู้สอน นิสติจัดทำผลงานตามงานที่ได้รับมอบหมายด้วยตนเอง

- บทบาทอาจารย์ผู้สอน

ในการเรียนการสอนโดยใช้บทเรียนอีเลิร์นนิง โดยการเรียนรู้แบบชี้แนะ รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด อาจารย์ผู้สอนจะได้รับบทบาทในกิจกรรมคือ เป็นผู้สอน ถ่ายทอดความรู้ และคอยให้คำชี้แนะนิสิต เมื่อนิสิตมีข้อสงสัยตามกระบวนการเรียนรู้แบบชี้แนะ และใช้สื่อบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะในการจัดการเรียนการสอน

6.2.1.2 ระยะเวลาการเรียน

ในการเรียนครั้งนี้ใช้เวลาในการเรียนทั้งหมด 6 ชั่วโมง ดังนี้

ใช้เวลา 30 นาที ในการแนะนำวิธีการเรียน การทำแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้ก่อนเรียน และการเรียนด้วยบทเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ รวมถึงการมอบหมายงาน การประเมินและระเบียบการเรียนต่าง ๆ

ใช้เวลา 30 นาทีในการรายงานผล สรุปเนื้อหา บทเรียน และการทำแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้หลังเรียน

6.2.1.3 จุดประสงค์การเรียนรู้

- อธิบายการเจริญและพัฒนาของระบบประสาทของ Central nervous system และ Peripheral Nervous System ได้ รวมถึงอธิบายโครงสร้าง ลักษณะ และหน้าที่ของเซลล์ประสาทได้
- อธิบายคุณสมบัติทางไฟฟ้าของระบบประสาทได้
- อธิบายโครงสร้าง ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของสมองส่วย brainstem ได้
- สามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ได้

6.2.1.4 กิจกรรมระหว่างเรียน

นิสิตศึกษาเนื้อหาบทเรียนอีเลิร์นนิง รายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด หลังจากนั้นให้นิสิตแลกเปลี่ยนเรียนรู้และสรุปบทเรียนร่วมกัน

6.2.1.5 ตารางเรียน จะกำหนดให้สอดคล้องกับ มคอ. 2

6.2.1.6 การประเมินผลดังนี้

- การทดสอบก่อนเรียนด้วยแบบทดสอบ วัดผลการเรียนรู้ก่อนเรียน
- ผลการปฏิบัติงานของนิสิต
- การทดสอบหลังเรียนด้วยแบบทดสอบวัดผลการเรียนรู้หลังเรียน
- สอบถามความพึงพอใจ
- ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

7. วิธีการประเมินผล/ สังเคราะห์ข้อมูล

1. การหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) (ล้วน สายยศ และอังคณา สายยศ, 2538: 73) โดยใช้สูตรดังนี้

$$\overline{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\overline{X}$ หมายถึง ค่าคะแนนเฉลี่ย

$\sum X$ หมายถึง ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N หมายถึง จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2. การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (ภัทรา นิคมานนท์, 2542: 171 – 180) โดยใช้สูตรดังนี้

$$S = \sqrt{\frac{N\sum x^2 - \left(\sum x\right)^2}{N(N-1)}}$$

เมื่อ S.D. หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

$\sum x$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

$\sum x^2$ หมายถึง ผลรวมของคะแนนยกกำลัง 2

N หมายถึง จำนวนข้อมูลทั้งหมด

3. การหาค่าความยากของแบบทดสอบ (ธีรศักดิ์ อุ่นอารมณ์เลิศ, 2549: 53) โดยใช้สูตร

$$P = \frac{p_H + p_L}{2}$$

เมื่อ P หมายถึง ค่าความยากของคำถามแต่ละข้อ

P_H หมายถึง สัดส่วนของคนที่ตอบถูกของกลุ่มสูงในแต่ละข้อ

P_L หมายถึง สัดส่วนของคนที่ตอบถูกของกลุ่มต่ำในแต่ละข้อ

ขอบเขตของ p และความหมาย

0.81 – 1.00	เป็นข้อสอบที่ง่ายมาก
0.61 – 0.80	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างง่าย
0.41 – 0.60	เป็นข้อสอบที่ง่ายพอเหมาะ
0.20 – 0.40	เป็นข้อสอบที่ค่อนข้างยาก
0.00 – 0.19	เป็นข้อสอบที่ยากมาก

4. การหาค่าอำนาจจำแนกของแบบทดสอบ (ธีรศักดิ์ อุ่นอารมณ์เลิศ 2549: 53) โดยใช้สูตร

$$r = P_H - P_L$$

เมื่อ r หมายถึง ค่าอำนาจจำแนกของข้อสอบรายข้อ

P_H หมายถึง สัดส่วนของคนที่ตอบถูกของกลุ่มสูงในแต่ละข้อ

P_L หมายถึง สัดส่วนของคนที่ตอบถูกของกลุ่มต่ำในแต่ละข้อ

ขอบเขตของ r และความหมาย

0.40 ขึ้นไป	มีอำนาจจำแนกสูง	คุณภาพข้อสอบดีมาก
0.30 – 0.39	มีอำนาจจำแนกปานกลาง	คุณภาพข้อสอบดี
0.20 – 0.29	มีอำนาจจำแนกค่อนข้างต่ำ	คุณภาพข้อสอบพอใช้
r ต่ำกว่า 0.20 ลงมา	มีอำนาจจำแนกต่ำ	คุณภาพข้อสอบใช้ไม่ได้
r ติดลบ	มีอำนาจจำแนกได้ตรงกันข้าม	ต้องตัดทิ้ง

5. การหาค่าความเชื่อมั่นใช้สูตร KR-20 ของคูเดอร์ ริชาร์ดสัน (Kuder Richardson) (ธีรศักดิ์ อุ่นอารมณ์เลิศ 2549: 53) โดยคำนวณจากสูตร

$$r_{tt} = \frac{k}{k-1}\left\{1 - \frac{\sum pq}{S^2}\right\}$$

เมื่อ r_{tt} หมายถึง ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ

S^2 หมายถึง ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

k หมายถึง จำนวนข้อสอบของแบบทดสอบ

P หมายถึง สัดส่วนของผู้ทำถูกในแต่ละข้อ

q หมายถึง สัดส่วนของผู้ทำผิดในแต่ละข้อ

6. การหาค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ใช้สูตรดัชนีความสอดคล้อง IOC (ธีรศักดิ์ อุ่นอารมณ์เลิศ 2549 : 53) โดยใช้สูตร

$$IOC = \frac{\sum R}{N}$$

เมื่อ	IOC	หมายถึง	ดัชนีความสอดคล้องระหว่างจุดประสงค์กับเนื้อหา
	$\sum$ R	หมายถึง	ผลรวมคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ
	N	หมายถึง	จำนวนผู้เชี่ยวชาญ
โดยที่	+1	หมายถึง	แน่ใจว่าสอดคล้อง
	-1	หมายถึง	แน่ใจว่าไม่สอดคล้อง
	0	หมายถึง	ไม่สอดคล้อง

โดยปกติค่า IOC ของข้อคำถามแต่ละข้อที่ยอมรับได้คือ ควรมีค่าเกินครึ่งหนึ่ง หรือ .05 ขึ้นไป

7. การทดสอบความแตกต่างของค่าคะแนน ระหว่างกลุ่ม โดยใช้สถิติ t-test แบบ student t-test

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N\sum D^2 - \left(\sum D\right)^2}{N-1}}}$$

เมื่อ	D	หมายถึง	ความแตกต่างของคะแนนคู่
	N	หมายถึง	จำนวนคู่

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยในห้องเรียนครั้งนี้เป็นการศึกษาการจัดกิจกรรมการเยนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ที่ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 2 โดยรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

1.1 ผลการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนิสิตก่อนเข้าเรียน และหลังเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

2.1 ผลการวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิตด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

3.1 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

4.1 ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักเรียนที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

ผลการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนิสิตก่อนเข้าเรียน และหลักงเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ

การเปรียบเทียบผลการเรียนรู้เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons) ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ ๒ ที่เรียนรู้ด้วยอีเลิร์นนิ่งแบบชี้แนะ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (X) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และทดสอบค่า t (t-test แบบ dependent) ดังรายละเอียดแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 6 *ผลการเปรียบเทียบผลการเรียนรู้ของนักเรียนก่อนเรียน และหลังเรียนที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และกลุ่มที่เรียนในที่ตั้ง (onsite)*

คะแนน	n	คะแนนเต็ม	mean	S.D.	t	P	Mean difference post-Pre	S.D.	t	P
การทดสอบเรียน online										
-ก่อน	23	36	8.57	2.69	-9.62	<0.001*	11.78	5.88		
-หลัง	23	36	20.35	5.59					2.16	0.037*
การทดสอบเรียน onsite										
-ก่อน	24	36	9.42	3.03	-10.24	<0.001*	8.58	4.11		
-หลัง	24	36	18.00	6.27						

จากตารางที่ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าคะแนนเฉลี่ยของผลการเรียนรู้ เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons I, II) ของนิสิต

กายภาพบำบัดชั้นปีที่ ๒ ที่เรียนรู้ด้วยอีเลิร์นิ่งแบบชี้แนะ และเรียนในที่ตั้ง มีความแตกต่างของค่าคะแนนก่อนและหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 แสดงว่าผลการเรียนรู้ทางการเรียนหลังการเรียนสูงกว่าก่อนเรียนทั้งสองกลุ่ม และเมื่อเปรียบเทียบค่าคะแนนความต่างระหว่างกลุ่มพบว่า กลุ่มที่เรียนด้วยอีเลิร์นิ่งแบบชี้แนะ ผ่านกิจกรรมออนไลน์ มีค่าคะแนนเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มที่เรียนแบบในที่ตั้ง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

2. ผลการวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิตด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite)

การวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons) ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ ๒ โดยใช้ค่าเฉลี่ย (X) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และ ดังรายละเอียดแสดงในตารางต่อไปนี้

ตาราง 7 *ผลการวิเคราะห์ผลการปฏิบัติงานของนิสิต**ด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite)***

	n	คะแนนเต็ม	mean	S.D.	t	P
เนื้อหากลุ่ม online	23	5	4.00	0.34	-0.705	0.485
เนื้อหากลุ่ม onsite	24	5	4.06	0.27		
รูปภาพ online	23	5	4.02	0.28	-0.224	0.824
รูปภาพ onsite	24	5	4.04	0.33		

จากตารางที่ 7 พบว่า ผลการปฏิบัติงานตามที่ได้รับมอบหมายของกลุ่มที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่ม

ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

ตาราง 8 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมในการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons) ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ ๒ โดยนักเรียนจำนวน ๔๗ คน โดยใช้เกณฑ์การประเมินรูบริค (Rubric Score)

	n	คะแนนเต็ม	mean	S.D.	t	P
ความขยันหมั่นเพียรและความมุ่งมั่นตั้งใจด้วยความพยายาม online	23	5	4.00	0.34	-0.705	0.485
ความขยันหมั่นเพียรและความมุ่งมั่นตั้งใจด้วยความพยายาม onsite	24	5	4.06	0.27		
การแสดงออกและการแสดงความคิดเห็น online	23	5	4.02	0.28	-0.224	0.824
การแสดงออกและการแสดงความคิดเห็น onsite	24	5	4.04	0.33		
ความสนใจในการหาความรู้เพิ่มเติม online	23	5	3.85	0.24	5.38	<0.001*
ความสนใจในการหาความรู้เพิ่มเติม onsite	24	5	3.54	0.14		

จากตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมในการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ (online) และการเรียนในที่ตั้ง (onsite) ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มในเรื่องของความขยันหมั่นเพียรและความมุ่งมั่นตั้งใจด้วยความพยายาม และการแสดงออกและการแสดงความคิดเห็น แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 0.001 ในเรื่องของความสนใจในการหาความรู้เพิ่มเติม โดยกลุ่มที่เรียนออนไลน์มีความสนใจหาความรู้เพิ่มเติมมากว่ากลุ่มที่เรียนปกติ

ผลการวิเคราะห์ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

ตาราง 9 แสดงค่าเฉลี่ยความพึงพอใจนิสิตที่มีต่อการจัดกิจกรรมการเรียนการด้วยการจัดกิจกรรมอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ

	n	คะแนนเต็ม	mean	S.D.	t	P
ความพึงพอใจ online	23	5	4.30	0.63	-1.257	0.215
ความพึงพอใจ onsite	24	5	4.54	0.66		

จากจากตารางที่ 9 แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจระหว่างกลุ่มไม่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามจากการผลการประเมินได้มีข้อเสนอแนะเพิ่มเติมคือ นิสิตอยากให้จัดการเรียนการสอนเป็นรูปแบบผสมผสาน (Hybridge) ซึ่งเป็นรูปแบบทั้ง onsite และ online ผสมกัน

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิ่งแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา

สรุปผลการวิจัย ได้ดังนี้

1. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนิสิตกายภาพบำบัดที่เรียนรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์ที่เรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะและแบบปกติ ทั้งก่อนและหลังการเรียนของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 โดยคะแนนที่ได้หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน และในกลุ่มที่เรียนผ่านอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะมีค่าคะแนนเฉลี่ยสูงกว่ากลุ่มที่เรียนในห้องเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับน้อยกว่า 0.05
2. ผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ และกลุ่มเด็กที่เรียนแบบปกติ ในรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
3. เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเรียนรู้ของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิง แบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด
4. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนิสิตที่เรียนด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะรายวิชาประสาทวิทยาศาสตร์สำหรับกายภาพบำบัด

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่เพิ่มขึ้นของทั้งสองกลุ่ม โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีการจัดการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิง แบบชี้แนะที่มีขั้นตอนการเรียนรู้ 6 ขั้นตอนช่วยให้นักเรียน ได้มีโอกาสทบทวนเนื้อหา การบอกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ การนำเสนอเนื้อหา ซึ่งมีการอธิบายเนื้อหาอย่างชัดเจน และนิสิตสามารถเข้ามาทบทวนความรู้ผ่านวีดีโอที่บันทึกไว้ได้ตลอดเวลาที่ที่นิสิตต้องการ ทำให้นิสิตมีความเข้าใจ มีการเชื่อมโยงเนื้อหาทั้งในบทเรียนและนอกบทเรียนให้ผู้เรียนได้ประสบการณ์ การเรียนรู้ที่หลากหลาย สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุบิน ยมบ้านกวย (2550) และยุทธนา อาจหาญ (2551) และ อารีลักษณ์ ปุ๊กน้อย (2554) ได้ศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักเรียนด้วยบทเรียนบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต และบทเรียนรอีเลิร์นนิง พบว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนและหลังหนังเรียนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยค่าเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียน นอกจากนี้ในการจัดกิจกรรมการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ เรื่อง ความรู้ทั่วไปเกี่วกับระบบประสาทและระบบประสาท (Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues), สองใหญ่และไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebral hemispheres and Diencephalons) พบว่า

1. ด้านเนื้อหา ประกอบด้วย โครงสร้างเนื้อหาชัดเจนมีความสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง โดยผู้วิจัยได้ทบทวนรายวิชาที่เกี่ยวข้องให้เช่น มหากายวิภาคศาสตร์ ซึ่งถือว่าเป็นการทบทวนความรู้เดิม บอกวัตถุประสงค์การเรียนรู้ เข้าสู่เนื้อหาใหม่ ต่อมาให้นิสิตหาความรู้เพิ่มเติมตามช่องทางต่าง ๆ และให้นิสิตนิสิตค้นคว้าอย่างอิสระ ผ่านเว็บไซต์ อาทิ hyperlink ที่จะมีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับระบบประสาทแบบสามมิติ และเป็นภาพเคลื่อนไหว และมีการทบทวนสรุป ในช่วงท้ายของเอกสารประกอบการสอน ซึ่งเนื้อหาที่นำเสนอ

ครอบคลุมตามวัตถุประสงค์ใช้ภาษาถูกต้องเหมาะสม เนื้อหามีความเหมาะสมกับนิสิต มีการแนะนำบทเรียน การชี้แจงรายละเอียดของวิชาที่เรียน โครงสร้างหลักสูตร แผนการสอนการจัดกิจตตมการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ และเอกสารประกอบการสอน ส่งผลให้การปฏิบัติงานของนิสิตมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับ ชูวิทย์ มูลคำ และอรทัย (2547) กล่าวว่าการจัดการเรียนการสอนแบบชี้แนะเพื่อฝึกทักษะหรือให้ความรู้เบื้องต้นแก่ผู้เรียนเพื่อให้มีพฤติกรรมตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนด การเรียนการอสนแบบชี้แนะมีพื้นฐานมาจากทฤษฎีทางจิตวิทยากลุ่มพฤติกรรมนิยม และจิตวิทยาการฝึกการเรียนการสอน เน้นการฝึกและเสริมแรงในขณะเรียนหรือฝึกปฏิบัติงาน และจะค่อยลดการเสริมแรงเมื่อผู้เรียนมีพฤติกรรมที่ต้องการ การเรียนการสอนจะเน้นให้ผู้เรียนสามารถทำงานได้ยอมีลำดับขั้นตอน รวมทั้งสามารถทำงานร่วมกับคนอื่นได้

2. ด้านการออกแบบระบบการเรียนการสอน นิสิตมีความสนในในการออกแบบกิจกรรมการเรียนการอีกเลิร์นนิงแบบชี้แนะ โดยผู้วิจัยดำเนินการออกแบบตามกระบวนการเรียนรู้แบบชี้แนะ 6 ขั้นตอน ซึ่งในทุก ๆ ขั้นตอนมีความสำคัญนิสิตได้ทบทวนบทเรียน นิสิตได้ทราบวัตถุประสงค์ของการเรียน ศึกษาบทเรียนด้วยตนเองอย่างอิสระ และบ่อยครั้ง นิสิตฝึกทบทวนโดยอาจารย์คอยให้คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางการปฏิบัติงานอย่างถูกต้องเหมาะสม เปิดโอกาสให้นิสิตได้ฝึกปฏิบัติด้วยตนเอง และอาจารย์สรุปบทเรียนทบทวนให้ทำให้นิสิตในใจเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง โดยการออกแบบระบบการเรียนการสอนประกอบด้วยกำหนดวัตถุประสงค์การเรียน การสอนที่ชัดเจน มีการนำเสนอที่ดึงดูดความสนใจผู้เรียน มีความคิดสร้างสรรค์ในการออกแบบบทเรียนที่ใช้สำหรับการเรียนการสอน มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับบทเรียน มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างครูและนักเรียน มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างนักเรียน มีการเชื่อมโยงไปยังแหล่งเรียนรู้อื่น ๆ มีผลการประเมินที่ครอบคลุมวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้พัฒนาบทเรียนอีเลิร์นนิง ซึ่งมีขั้นตอนและกิจกรรมต่าง ๆ โดยผู้เรียนสามารถสอบถามกับผู้สอนได้โดยทันที สอดคล้องกับ น้ำทิพย์ วิภาวิน (2545) กล่าวว่าอีเลิร์นนิงเป็นการนำรูปแบบการติดต่อสื่อสารแบบ 2 ทางมาใช้ประกอบการเรียนเพื่อเพิ่มความสนใจในการตื่นตัวของผู้เรียนที่มีบทเรียนให้มากยิ่งขึ้น และสามารถแบ่งการสื่อสารออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทสื่อสารกัน ณ เวลาจริง (real time) ได้แก่ white broad/text slide, chat interactive poll, conferencing เป็นต้น และประเภทที่ไม่มีการสื่อสารกัน ณ เวลาจริง (non-real time) ได้แก่ กระดานข่าว (web board) และจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ ในระหว่างเรียน ถ้ามีคำถาม ซึ่งเป็นการทดสอบย่อยในบทเรียนที่ผู้เรียนต้องเลือกคำตอบ คำตอบนั้นจะถูกส่งกลับมายังระบบทันทีซึ่งจะทำให้ผู้เรียนรักษาระดับความสนใจในการเรียนได้มากขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu และคณะ ในปี 1998, อ้างถึงใน ยุทธนา อาจหาญ (2551) ได้ทำการวิจัยเรื่อง “การพัฒนาและประเมินบทเรียนบนระบบเครือข่ายในรายวิชาสถิติเชิงพรรณา” โดยมีจุดหมายในการวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้เทคโนโลยีใหม่ ๆ พัฒนาการเรียนระบบเครือข่ายบโดยวัดเจตคติของผู้เรียนที่มีต่อบทเรียนเครือข่าย ผลการวิจัยพบว่าทัศนคติของผู้เรียรนที่มีผลต่อบทเรียนบนระบบเครือข่ายเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงของการออกแบบกระบวนการเรียนกานสอน

3. ด้านเทคนิค ประกอบด้วย ภาพ และเสียงที่ใช้ประกอบแสดงผลได้อย่างถูกต้อง รวดเร็ว การเชื่อมโยง (Link) ไปยังจุดต่าง ๆ ถูกต้องการแสดงผลภาษาไทยถูกต้อง ผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรมสำหรับสร้าง

ระบบบริหารจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป และระบบลริหารจัดการเรียนการสอน LMS (Learning management system) ผ่านระบบ google class room และระบบแอบพลิเคชั่น line ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในการจัดการเรียนรู้ด้านอีเลิร์นนิง สามารถบันทึกพฤติกรรมการเรียนรู้ คะแนน การจดัทำแบบทดสอบ และรายละเอียดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังนำ social media ซึ่งเป็นสื่อสังคมออนไลน์ที่มีการตอบสนองทางสังคมได้หลายทิศทาง ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

2. ผลการปฏิบัติงานของนิสิตที่เรียนด้วยอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ทั้ง 3 หัวข้อมีค่าเฉลี่ยของทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากทั้งสองกลุ่มได้รับการชี้แนะจากอาจารย์ให้เข้าใจตรงกัน ทำให้นิสิตมีความกระตือรือร้น รวมถึงการส่งเสริมโดยการเสริมแรงให้นิสิตมีความกระตือรือร้นที่จะค้นคว้าเพิ่มเติมด้วยตัวเอง โดยมีการประเมิน 2 ด้านคือ ด้านเนื้อหา พบว่านิสิตนำเนื้อหาที่ได้เรียนมา จัดทำเป็น short note ให้ตัวเองมีความเข้าใจเพิ่มมากขึ้น โดยมีการเรียงลำดับเนื้อหา การสรุปแนวคิด ประโยชน์ความรู้ที่ได้จากการเรียนของแต่ละหัวข้อ เนื้อหาสอดคล้องกับหัวข้อที่อาจารย์สอน ลำดับเรื่องได้ชัดเจน มีการสอดแทรกรูปภาพเพ่อประกอบเนื้อหาได้อย่างชัดเจน มีความทันสมัย และมีการค้นคว้าข้อมูลจากแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมที่อาจารย์แนะนำ และนิสิตศึกษาด้วยตนเอง เกิดการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ซึ่งกันและกันเกิดขึ้น

3. พฤติกรรมการเรียนรู้ของทั้งสองกลุ่ม ความขยันหมั่นเพียรและความมุ่งมั่นตั้งใจด้วยความพยายาม การแสดงออกและการแสดงความคิดเห็น ทั้งสองกลุ่มไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งไม่ค่อยตอบคำถามในห้องเรียน เวลาถามจะไม่ค่อยตอบหรือแสดงปฏิกิริยาโต้ตอบเท่าที่ควร แต่ในเรื่องของความสนใจในการหาความรู้เพิ่มเติม กลุ่มที่เรียนผ่านการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะออนไลน์ นิสิตมีความสนใจในการหาความรู้เพิ่มเติมมากกว่า เนื่องจากมีจำนวนครั้งที่เข้าชม คลิปวีดีโอบันทึกย้อนหลังโดยสังเกตพฤติกรรมจากการเข้าชมวีดีโอย้อนหลัง ผ่าน LMS และ google classroom ที่นิสิตเข้าศึกษาเนื้อหาทั้งในเวลา และนอกเวลาเรียนอย่างสม่ำเสมอ การเข้าเรียนอย่างสม่อเสมอ พบว่านิสิตที่เรียนออนไลน์ มีความสนใจในเข้าศึกษาบทเรียนอย่างสม่ำเสมอทุกครั้ง นอกจากนี้ความรับผิดชอบในการส่งงานครบ และความตรงต่อเวลา นิสิตสามารถปฏิบัติได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ในการจัดการเรียนรู้แบบชี้แนะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นิสิตมีความความรู้ความสามารถและทักษะพื้นฐานตามที่กำหนด นิสิตสามารถปฏิบัติงานได้อย่างเป็นลำดับขั้นตอนจนบรรลุตามวัตถุประสงค์ซึ่งมีรูปแบบการสอนที่มีเป้าหมาย (สุวิทย์ มูลคำและอรทัย มูลคำ, 2547) เพื่อฝึกทักษะหรือให้ความรู้เบื้องต้นแก่นิสิตเพื่อให้มีพฤติกรรมตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ การเรียนการสอนจะเน้นให้นิสิตสามารถทำงานหรืออ่านหนังสือได้อย่างมีลำดับขั้นตอน รวมทั้งสามารถทำงานร่วมกับคนอื่นได้ โดยมีการชี้แจงขั้นตอนการจัดการเรียนการสอนให้เป็นลำดับ โดยภาพรวมพบว่านิสิตมีพฤติกรรมการเรียนรู้ มีความกระตือรือร้นในการปฏิบัติงานอยู่ในระดับดี ถึงดีมาก เนื่องจากการเรียนรู้ด้วยการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ เป็นกระบวนการที่มีความน่าสนใจสามารถศึกษาหาความรู้ได้ทุกที่ ทุกเวลา และบ่อยครั้ง นิสิตได้แสดงความคิดเห็น และเปลี่ยนเรียนรู้ระหว่างอาจารย์ และนิสิต โดยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ มีการเรียนรู้เป็นลำดับขั้นตอนทำให้อาจารย์สามารถให้คำแนะนำในการเรียนรู้แก่นิสิตได้อย่างถูกต้อง ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการปฏิบัติงานน้อยที่สุด โดยนิสิตสามารถฝาหตำถามต่าง ๆ ในกระกานสนทนา และถาม ตอบออนไลน์ในขั้นตอนการฝึกโดยชี้แนะของกิจกรรมการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ สอดคล้องกับ (สุวิทย์ มูลคำและอรทัย มูลคำ, 2547) (Direct instruction) เป็นรูปแบบการสอนที่มีเป้าหมายเพื่อให้ความรู้เบื้องต้นแก่ผู้เรียนเพื่อให้มีพฤติกรรมตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดการเรียนการสอนแบบชี้แนะนี้มีพื้นฐานมาจากทฤษฎีทางจิตวิทยากลุ่มพฤติกรรมนิยม และจิตวิทยาการฝึกการเรียนการสอนเน้นการฝึก และเสริมแรงในขณะเรียนหรือปฏิบัติงาน

4. ความพึงพอใจของนิสิตที่มีต่อการจัดการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะเมื่อเทียบกับการเรียนการสอนปกตอ ทั้ง 3 เรื่อง มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างระดับดี ถึงดีมาก และไม่แตกต่างระหว่างกลุ่ม แสดงให้เห็นถึงนิสิตสามารถปรับตัวเข้ากับ

สถานการณ์ได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะช่วงการแพร่ระบาดของโคโรนาไวรัส 2019 ทำให้นิสิตสามาถเรียนได้อย่างต่อเนื่อง และไม่ได้ด้อยประสิทธิภาพไปกว่าการเรียนการสอนปกติ ทั้งนี้นิสิตยังได้มีข้อเสนอแนะให้จัดการเรียนการสอน ให้เป็นแบบ Hybridge คือมีทั้ง online และ onsite

ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. จากผลการวิจัยพบว่าผู้เรียนทั้งสองกลุ่มมีแตกต่างกันในด้านผลสัมฤทธิ์การเรียน นอกจากนี้ยังพบว่านิสิตที่เรียนด้วยการเรียนอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะช่วยส่งเสริมให้นิสิตมีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้น อีกทั้งยังเสริมให้นิสิตได้สามารถเลือกบทเรียนได้อย่างอิสระ ไม่จำกัดจำนวนครั้งในการศึกษาบทเรียน ในทุกที่ทุกเวลา ดังนั้นจึงควรนำวิธีการเรียนรู้ด้วยการเรียนแบบอีเลิร์นนิงชี้แนะไปใช้ในรายวิชาอื่นๆ และทุกหลักสูตร ทุกชั้นปีได้ ทำให้มีความเหมาะสมในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโคโรนาไวรัส 2019 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นทางเลือกในการจัดการเรียนการสอนที่เป็นแบบ global หรือไม่มีขีดจำกัดได้ เป็นประโยชน์ทั้งผู้เรียนและผู้สอน ทั้งแบบ degree และ non-degree ในอนาคตที่กำลังเกิดขึ้นได้

2. การจัดการเรียนการสอนแบบอีเลิร์นนิงแบบชี้แนะ ควรเป็นแบบให้มีระบบอินเตอร์เน็ตที่ดีรองรับการจัดการเรียนการสอนได้อย่างต่อเนื่อง

3. ในการศึกษาครั้งต่อไป และพัฒนาการเรียนอีเลิร์นนิง ด้วยรูปแบบวิธีการสอนแบบต่าง ๆ เช่น แบบโครงงาน แบบกระบวนการคิด และการจัดกระบวนการเรียนรู้แบบใช้คำถามเป็นต้น

ควรศึกษาผลของกิจกรรมที่ส่งผลต่อตัวแปรอื่น ๆ เช่น การมีปฏิสัมพันธ์ ทักษะ การบวนการคิด ทักษะด้านการสื่อสาร เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

กนกพร ฉันทนารุ่งภักดิ์. “การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนบนเว็บแบบผสมผสานด้วยการเรียนการสอนแบบร่วมมือในกลุ่มสาระการเรียนรู้คณิตศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย,” 2548.

กระทรวงศึกษาธิการ. การเรียนรู้ออนไลน์. กรุงเทพฯ : กระทรวงศึกษาธิการ, 2548.

กระทรวงศึกษาธิการ. หลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551. กรุงเทพฯ : ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทยจำกัด, 2551

กาญจนา วัฒนยุ. การวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพการศึกษา. กรุงเทพฯ : ธนพรการพิมพ์, 2545.

กิดานันท์ มลิทอง. ไอซีทีเพื่อการศึกษา. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์, 2548.

จิรัญญา หง้าฝา. “การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนโดยใช้การสอนแบบ CIPPA MODEL ประกอบการฝึกทักษะ เรื่องสมบัติของสาร และการจำแนกเพื่อพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1 โรงเรียนเทศบาล 2 (คลองจิหลาด).” วิทยานิพนธ์ ครูวิทยฐานะชำนาญการ โรงเรียนเทศบาล 2 (คลองจิหลาด), 2553.

ใจทิพย์ ณ สงขลา. E-Instructional Design วิธีวิทยาการออกแบบการเรียนการสอนอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : ศูนย์ตำราและเอกสารทางวิชาการ คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ใจทิพย์ ณ สงขลา. การออกแบบการเรียนการสอนบนเว็บ ในระบบการเรียนอิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ : คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

ชาตรี มูลชาติ. “การสร้างบทเรียนบนเครือข่าย รายวิชาคอมพิวเตอร์เพื่อการเรียนการสอน.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2546.

ณัฏฐ์สิตา ศิริรัตน์. แนวทางการสร้างและพัฒนาบทเรียน e-learning._กรุงทพฯ : สถาบันพัฒนาผู้บริหารการศึกษา, 2548.

ณัฐฌาน สุพล. “รูปแบบการเรียนการสอนแบบโมเดลซิปปาที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ รายวิชาระบบฐานข้อมูล (รส.231).” มหาวิทยาลัยพายัพ, 2556.

ณัฐธินันท์ ดอนนันชัย, ศักดิ์ณรินทร์ อินคำ และยุทธนันธ์ จันทร์คำเรือง. “การพัฒนาบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยใช้กิจกรรมการเรียนรูปแบบซิปปา เรื่อง โบราณสถานเมืองน่านบ้านเรา สำหรับนักเรียนช่วงชั้นที่ 3.” การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง. กศ.ม. มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก, 2552.

ถนอมพร เลาหจรัสแสง. Designing e-Learning: หลักการออกแบบและการสร้างเว็บเพื่อการเรียนการสอน. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

ถาวร วงค์ดม. “การพัฒนาชุดประเมินการเรียนรู้ภูมิปัญญาท้องถิ่นตามรูปแบบเบญจลักษณ์การเรียนรู้.” วิทยานิพนธ์ศิลปะศาสตร์มหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่, 2550.

ทักษิณา วิไลลักษณ์. ออกแบบบทเรียน. ปทุมธานี : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551.

ทิศนา แขมมณี. การจัดการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง CIPPA MODEL. : วารสารครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542

ทิศนา แขมมณี. วิทยาการด้านการคิด. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ พว., 2543.

ทิศนา แขมมณี. ศาสตร์การสอน องค์ความรู้เพื่อการจัดกระบวนการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพ. (พิมพ์ครั้งที่ 1) . กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาภรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ทิศนา แขมมณี. ศาสตร์การสอน. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.

ธีรศักดิ์ อุ่นอารมณ์เลิศ. เครื่องมือวิจัยทางการศึกษา การสร้าง และพัฒนา. นครปฐม : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์, 2549.

น้ำทิพย์ วิภาวิน. **e-Library: ห้องสมุดอิเล็กทรอนิกส์.** กรุงเทพฯ : เอสอาร์ พริ้นติ้ง แมสโปรดักส์, 2545.

บุญฤดี แซ่ล้อ. “ผลการจัดการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์โดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนซิปปาที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 5.” วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาการประถมศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

โปรดปราน พิตรสาธร และคณะ. ที่นี่ e-learning . กรุงเทพมหานคร: TJ Book, 2545

พลมณี สีลิพง. “ผลการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบ CIPPA ในวิชาฟิสิกส์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว.” วิทยานิพนธ์ คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2549.

พวงรัตน์ ทวีรัตน์. วิธีการวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์ และสังคมศาสตร์. (พิมพ์ครั้งที่ 7) กรุงเทพฯ : สำนักทดสอบทางการศึกษา และจิตวิทยา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2543.

พิกุล ตระกูลสม. “การวิจัยปฏิบัติการพัฒนากิจกรรมการเรียนรู้ที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญวิชาวิทยาศาสตร์ เรื่อง โลก และการเปลี่ยนแปลงโดยรูปแบบ CIPPA MODEL นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 โรงเรียนที โอ เอ วิทยา.” วิทยานิพนธ์ สาขาวิชายุทธศาสตร์การพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี, 2552.

ไพโรจน์ ตีรณธนากุล, ไพบูลย์ เกียรติโกมล และเสกสรร แย้มพินิจ. การออกแบบและการผลิตบทเรียนคอมพิวเตอร์การสอนสำหรับ e-Learning. กรุงเทพฯ : ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ, 2546

ภัทรา นิคมานนท์. การประเมินผลและการสร้างแบบทดสอบ**.** กรุงเทพฯ: อักษรบัณฑิต, 2525.

มนตรี ดวงจิโน. “การสร้างเว็บเพจห้องเรียนเสมือนทางอินเทอร์เน็ต.” วิทยบริการ (พฤษภาคม-สิงหาคม 2544) : 39-44.

มณฑิรา พันธุ์อ้น. “การศึกษาผลการเรียนรู้ด้วยบทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบร่วมมือ โดยใช้เว็บบล็อกของนักศึกษาปริญญาตรีมหาวิทยาลัยศิลปากร.” วิทยานิพนธ์ปริญญาศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. “โครงการพัฒนา SUTe-Training.” การออกแบบผลิตและพัฒนา e-Learning. นครราชสีมา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2550.

มาเรียม นิลพันธุ์. วิธีวิจัยทางพฤติกรรมศาสตร์ และสังคมศาสตร์. นครปฐม : โครงการส่งเสริมการผลิตตำรา และเอกสารการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2547.

ยุทธนา อาจหาญ “การพัฒนาบทเรียนอีเลิร์นนิ่ง วิชาฟิสิกส์ เรื่อง แสงและการมองเห็นชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5” วิทยานิพนธ์ ครุศาสตร์มหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฎสกลนคร, 2551.

รชาดา บัวไพร. “การจัดการเรียนการสอนโดยใช้รูปแบบการเรียนการสอนแบบโมเดลซิปปาที่มีต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และเจตคติทางวิทยาศาสตร์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.” สารนิพนธ์ การศึกษามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2552.

วนมาริน เพ็ชรพลาย. “บทเรียนบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต วิชาเทคโนโลยีและนวัตกรรมการศึกษา.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางการอาชีวะและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

วราภรณ์ แตงมีแสง. “การจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ โดยใช้โมเดลซิปปาในวิชามนุษย์กับสิ่งแวดล้อม.” วิทยานิพนธ์ ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์ศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2545.

วัฒนาพร ระงับทุกข์. แผนการสอนที่เน้นผู้เรียนเป็นศูนย์กลาง. (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : แอล ที เพรส, 2542.

วัลยา พุ่มต้นวงค์ “การศึกษาผลการเรียนอีเลิร์นนิงแบบร่วมมือที่มีต่อทักษะการทำงานของนักศึกษาระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศิลปากร.” วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัญฑิต มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2552.

วาทินี สรรพวัฒน์. “การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอน รายวิชาคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับครูตามแนวคิดซิปปาโมเดลสำหรับนักศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา.” การศึกษาด้วยตนเอง ครุศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา, 2552.

วิกิพีเดีย. Drupal [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ มกราคม 2564 เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/Drupal.

วิกิพีเดีย. บล็อก [ออนไลน์]. เข้าถึงเมื่อ มกราคม 2564 เข้าถึงได้จาก http://wikipedia.org.

วิมลรัตน์ สุนทรโรจน์. พัฒนาการเรียนการสอน. ภาควิชาหลักสูตรและการสอน คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสารคาม, 2544.

วุฒิ วัฒนสิน. “บันได 10 ขั้น การออกแบบห้องเรียนเสมือน.” วารสารวิทยาบริการ. (มกราคม – เมษายน 2544). 30.

ศรีศักดิ์ จามรมาน. “ทันโลกกับเทคโนโลยีการศึกษา ครั้งที่ 3” ในเอกสารประกอบการบรรยายในการประชุมวิชาการ. 3. กรุงเทพฯ, 2549.

ศศิมา ทับทิม. “การพัฒนาผลการเรียนรู้ เรื่อง ระบบร่างกายมนุษย์ของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 2 ด้วยรูปแบบ CIPPA.” (ระบบออนไลน์). เข้าถึงเมื่อ มกราคม 2564 เข้าถึงได้จาก http://www.thaistudy.info.

ศิริพรรณ ศรีอุทธา. “การพัฒนาการจัดการเรียนรู้ที่เน้นนักเรียนเป็นสำคัญรายวิชาคณิตศาสตร์เพิ่มเติม นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 เรื่อง สมการกำลัง 2 ตัวแปรเดียวโดยใช้รูปแบบการสอนโมเดลซิปปา (CIPPA MODEL).” วิทยานิพนธ์ครูชำนาญการ โรงเรียนชุมแพศึกษา, 2551.

ศุภชัย สุขะนินทร์และกรกนก วงศ์พานิช. เปิดโลก e-learning การเรียนการสอนบนอินเตอร์เน็ต. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2545

สมเดช สีแสง และสุนันทา สุนทรประเสริฐ. ปฏิรูปการเรียนรู้สู่การพัฒนาวิชาชีพครู. นครสวรรค์ : ริมปิง, 2543.

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี. พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ พ.ศ.2542. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการการศึกษาแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรี, 2542.

สำนักเลขาธิการสภาการศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. ยุทธศาสตร์การพัฒนาเด็กและเยาวชนที่มีความสามารถพิเศษ (พ.ศ.2549-2559). กรุงเทพฯ: กระทรวงศึกษาธิการ, 2548.

สำนักวิชาการและมาตรฐานการศึกษา สำนักคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน กระทรวงศึกษาธิการ.ตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้การงานอาชีพ และเทคโนโลยี ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน 2551. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมชนสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.

สุบิน ยมบ้านกวย. “การพัฒนาบทเรียน e-Learning แบบปฏิสัมพันธ์ เรื่อง ความน่าจะเป็นสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3.” ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาการมัธยมศึกษา, 2550.

สุวิทย์ มูลคำ และอรทัย มูลคำ. วิธีการจัดการเรียนรู้: เพื่อพัฒนากระบวนการคิด. กรุงเทพฯ: ภาพพิมพ์, 2547.

แสงหล้า พันธุ์โอภาส. “ผลการพัฒนาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่อง ระบบจำนวนเต็มโดยใช้กิจกรรมการเรียนรู้ตามตัวแบบซิปปา (CIPPA MODEL) สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1.” วิทยานิพนธ์ โรงเรียนเทศบาล 2 (แม่ต๋ำดรุณเวทย์) สังกัดกองการศึกษา เทศบาลเมืองพะเยา กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย, 2551.

อนุชัย ธีระเรืองไชยศรี. “หลักสูตรผู้เชี่ยวชาญอีเลิร์นนิง วิชาความรู้พื้นฐานอีเลิร์นนิง” ในเอกสารประกอบการสอน. 1-7. กรุงเทพฯ, 2553.

อมรเทพ เทพวิชิต. การจัดการเรียนการสอนบนเว็บด้วย Moodle 1.9 สำหรับผู้สอน. นครราชสีมา : ศูนย์นวัตกรรมและเทคโนโลยีการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2552.

อัญชลี ชนะค้า. “บทเรียนผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต วิชาวัสดุและกรรมวิธีการผลิต.” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาทางอาชีวะและเทคนิคศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2545.

โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. วิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2551

Best, John W. Research in Education. 5th ed. Englewood Cliffs : Prentice. Hall, Inc. , 1986.

Cooper, C., and Boddington, L. Assessment by blog: Ethical case studies assessment for an undergraduate business management class [Online]. Accessed 22 July 2007. Available from http://incsub.org/blogtalk/?page_id=62

Cooper,. Linda. “Online course.” THE Journal. 27,8 (Mar 2000): 86-92.

Kennedy, K. “Writing with Web Logs.” Technology and Learning 23,7 (2007) : 11-14.

Wu, Kuang-Ming, “The Development and Assessment of a Prototype Descriptive Statistics Courses Segment on the World Wide Web.” Dissertation Abstracts International. 59,6 (Decenber, 1998): 1985.

ตารางสรุปงบประมาณโครงการวิจัยเรื่อง การจัดการเรียนการสอนอีเลิร์นนิ่งแบบชี้แนะส่งผลต่อการเรียนรู้ของนิสิตกายภาพบำบัดชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยบูรพา

รายการ	งบประมาณ (บาท)	คิดเป็นร้อยละ	ค่าใช้จ่ายจริง
1. หมวดค่าจ้าง			2,000
- ค่าตอบแทนผู้ทรงคุณวุฒิ เหมาจ่าย 5 คน (400 บาท * 5 คน)	2,000	20	
2. หมวดค่าใช้สอย			13,900
ค่าถ่ายเอกสาร 5000	5,000	25	
ค่าเดินทางพบผู้ทรงคุณวุฒิ (15 ครั้ง * 200 บาท)	3,000	15	
ค่าโทรศัพท์เหมาจ่าย ตลอดโครงการ	1,000	5	
ค่าจัดประชุมทีมผู้วิจัย จำนวน 3 ครั้ง (200 บาท * 5 คน * 3 ครั้ง)	3,000	15	
	900	4.5	
ค่าตอบแทนกลุ่มตัวอย่าง (9 คน * 100 บาท) 100	1,000	5	
ค่าจ้างเหมาพิมพ์รายงานการวิจัย			
3. หมวดค่าวัสดุ			4,100
อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ กระดาษ ดินสอปากกา อุปกรณ์สำนักงาน	4,100	20.5	
4. หมวดค่าใช้จ่ายอื่น ๆ			
รวมทั้งสิ้น	**20,000**	**100**	**20,000**

หมายเหตุ การรับเงินทุนและการเบิกจ่ายเงินทุน ให้เป็นไปตามประกาศมหาวิทยาลัยบูรพา ๐๘๔๔/๒๕๕๙ เรื่อง หลักเกณฑ์ อัตรา และแนวปฏิบัติการเบิกจ่ายเงินอุดหนุนโครงการวิจัย ประเภทงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล มหาวิทยาลัยบูรพา พ.ศ. ๒๕๕๙ และฉบับแก้ไขหรือเพิ่มเติม

แบบแผนการจัดการเรียนการสอน (Lesson Plan)

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

1. รายวิชา 68321260 ประสาทกายวิภาคศาสตร์ สำหรับกายภาพบำบัด (Neuroanatomy for Physical Therapy) จำนวนหน่วยกิต 2(2-0-4)
2. หัวข้อเรื่อง Fundamentals of the nervous system and the nervous tissues
3. ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2564
4. วัน/เวลา วันอาทิตย์ ที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 เวลา 08.00-10.00 น.
5. สถานที่เรียน ออนไลน์ ผ่านระบบ google meet: https://meet.google.com/tmo-zcao-ubt
6. ผู้สอน ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงนุช ล่วงพ้น
7. ผู้เรียน นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชากายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 2
8. วัตถุประสงค์การเรียนรู้ เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอน นิสิตสามารถ
    1. อธิบายโครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประสาทและการพัฒนาของระบบประสาทและองค์ประกอบของระบบประสาททั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบส่วนปลายได้
    2. อธิบายโครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประสาทและการแบ่งลักษณะของเส้นประสาทแบบต่าง ๆ ได้
    3. วาดภาพองค์ประกอบของเส้นประสาทและบอกหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบได้
    4. บอกลักษณะของเซลล์ค้ำจุนประสาททั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย รวมถึงหน้าที่ของเซลล์ค้ำจุนประสาทได้อย่างน้อย 3 ชนิด
    5. อธิบายความสัมพันธ์ทางคลินิกหากได้รับบาดเจ็บที่เส้นประสาทได้
9. ประสบการณ์เรียนรู้
    1. บรรยายความรู้พื้นฐานของระบบประสาท การพัฒนาของระบบประสาทและองค์ประกอบของระบบประสาททั้งในระบบประสาทส่วนกลางและระบบส่วนปลาย 30 นาที
    2. โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประสาทและการแบ่งลักษณะของเส้นประสาทแบบต่าง ๆ 20 นาที
    3. ลักษณะของเส้นประสาทและองค์ประกอบของเส้นประสาทรวมถึงหน้าที่ของแต่ละองค์ประกอบ 30 นาที
    4. เซลล์ค้ำจุนประสาทและหน้าที่ของเซลล์ค้ำจุนประสาท 15 นาที
    5. ความสัมพันธ์ทางคลินิกเมื่อได้รับบาดเจ็บของระบบประสาท 15 นาที
    6. ถามตอบและอภิปรายการเรียนรู้ 10 นาที
10. รูปแบบการจัดการเรียนการสอน
    1. แจกเอกสารประกอบการเรียนการสอนให้นิสิตศึกษามาก่อน
    2. สอนบรรยาย โดยนิสิตสามารถสอบถามข้อสงสัยได้ตลอดการเรียนการสอน
    3. ยกตัวอย่าง problem base และให้นิสิตมีส่วนร่วม
    4. สอดแทรกคุณธรรมจริยธรรม และจรรยาบรรวิชาชีพแก่นิสิต เช่นการเข้าเรียนตรงเวลา
11. สื่อและอุปกรณ์การเรียนการสอน

1. อุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์และจอรับภาพ
2. PowerPoint balance board, Ball, roller
3. แผนการจัดการเรียนการสอน และเอกสารประกอบการสอน

12. การประเมินผล

1. ประเมินจากพฤติกรรมการเข้าเรียน การสอบ และการพัฒนาผลการเรียนรู้ของนิสิต
2. สังเกตจากการตอบคำถาม การปฏิบัติ ของนิสิต
3. สอบวัดความรู้ทฤษฎีโดยการสอบกลางภาค ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ จำนวน 10-14 คะแนน

13. แหล่งค้นคว้าเพิ่มเติม

1. Eric R. Kandel Principles of neural science. 4th ed. McGraw-Hill Companies; USA; 2000.
2. Gillen G. Stroke Rehabilitation a function-based approach. 3rd ed. Elsevier Morby: USA; 2011.
3. Stephen G. Waxman Clinical neuroanatomy. 27th ed. McGraw-Hill Companies: USA; 2013.
4. มีชัย ศรีใส. ประสาทกายวิภาคศาสตร์. สินประสิทธิ์การพิมพ์. ประเทศไทย; 2530.

ความรู้พื้นฐานของระบบประสาท

บทนำพื้นฐานของระบบประสาท

มนุษย์มีพัฒนาการทางด้านสมองมากกว่าสัตว์อื่น ๆ กล่าวคือมนุษย์มีระบบประสาทส่วนกลาง Central Nervous System (CNS) ที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักน้อยเมื่อเทียบกับน้ำหนักตัว เปรียบเสมือน คอมพิวเตอร์ ที่มีการรับส่งข้อมูล รวมทั้งแปลความหมายที่ได้รับแล้วทำให้มีการทำงานประสานสัมพันธ์กันทั้งระบบรับความรู้สึก ระบบควบคุมการสั่งการออกมาในรูปแบบการเคลื่อนไหว ทำให้เกิดความหลากหลายของพฤติกรรมในชีวิตประจำวันทั้งแบบง่ายและซับซ้อนจนกลายเป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละคน นอกจากนี้สมองยังมีกลไกการทำงาน ที่ซับซ้อน มีแบบแผน มีความคิดสร้างสรรค์ รวมถึงอารมณ์ความรู้สึก มีการโต้ตอบได้ทันทีเมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้น ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของโปรตีนบริเวณรอยหยักของสมองและจะเรียกมาใช้เมื่อไหร่ก็ได้ ในความเป็นจริงการทำงานของระบบประสาทมนุษย์ มีความซับซ้อนมากว่าระบบคอมพิวเตอร์ เพราะระบบประสาทของมนุษย์สามารถโต้ตอบได้ทันทีโดยไม่ต้องรอการประมวลผลทำให้มนุษย์ทำงานได้หลายอย่างไปพร้อม ๆ กันเพื่อตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มากระตุ้นได้อย่างทันท่วงที จึงเป็นที่มาของคำถามที่ว่า มนุษย์เข้าใจกลไกการทำงานของระบบประสาทอย่างแท้จริงหรือไม่ และนี่จึงเป็นจุดเริ่มต้นที่จะศึกษากลไกการทำงานของระบบประสาท และสรีรวิทยา ของระบบประสาท รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของ ระบบประสาทที่เกิดขึ้นในผู้ป่วยที่เป็นโรคทางระบบประสาท ดังนั้นในเนื้อหาต่อไปนี้ จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบประสาท และความสัมพันธ์ ระหว่าง โครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาท

การทำงานของระบบประสาทจะทำงานเป็นเครือข่ายเชื่อมโยงกันที่ซับซ้อนมากเรียกว่า neuronal network และมีการปรับเปลี่ยนได้ตลอดเวลาให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ของระบบประสาทส่วนกลางทำให้เข้าใจได้ง่ายเพราะมีโครงสร้างที่แตกต่างกันระหว่างสมองและไขสันหลังส่งผลให้การทำงานหรือทำหน้าที่ที่ต่างกันด้วย จึงนำมาใช้ประโยชน์ในทางคลินิกคือทำให้แพทย์และบุคลากรทางการแพทย์สามารถที่จะคาดการณ์ได้ค่อนข้างแม่นยำเกี่ยวกับความผิดปกติของผู้ป่วยจากการการซักประวัติ การตรวจประเมินทางระบบประสาท ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงโครงสร้าง และหน้าที่พื้นฐานของระบบประสาท ที่ส่งผลต่ออาการและอาการแสดงทางคลินิกของผู้ป่วย กล่าวคือ โครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาท จะสัมพันธ์กับความผิดปกติ ที่เป็นอาการและอาการแสดงออกมา

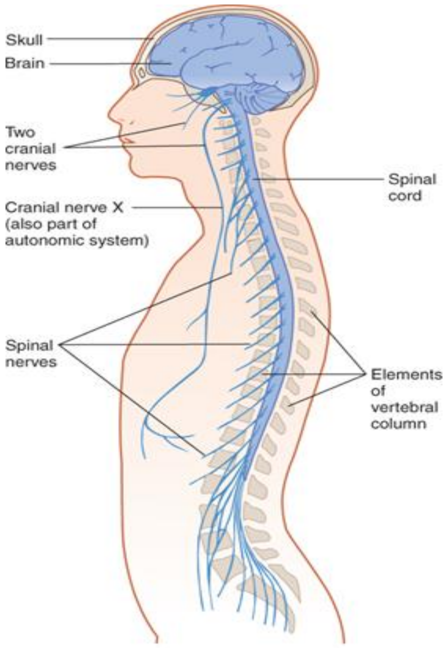
ลักษณะของระบบประสาท (General plan of the Nervous System: NS)

แบ่งตามลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ (anatomy)

สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์ได้เป็น สอง ระบบหลัก ๆ ดังนี้ (รูปที่ 1-1)

1. ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nervous System: CNS) ประกอบด้วย สมอง และ ไขสันหลัง (Brain and spinal cord)

2. ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System: PNS) ประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง 12 คู่ และเส้นประสาทไขสันหลัง 31 คู่ (Cranial Nerves: CN and spinal nerves)



รูปที่ 1-1 แสดงโครงสร้างของระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย และความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทส่วนกลางและระดับกระดูกที่ปกคลุมอยู่ ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 2.

ลักษณะของระบบประสาทแบ่งตามสรีรวิทยา หรือหน้าที่ของระบบประสาท

สามารถแบ่งออกเป็น สองระบบ ดังนี้

1. ระบบประสาท โซมาติก (Somatic Nervous System: SNS)

ระบบประสาท โซมาติกจะทำหน้าที่ไปเลี้ยง โครงสร้าง ของผนัง ร่างกาย (กล้ามเนื้อ ผิวหนังและเยื่อเมือกต่างๆ)

2. ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic Nervous System: ANS)

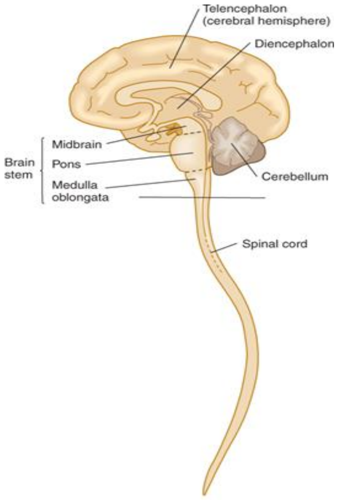
ระบบประสาทอัตโนมัติ มีการเชื่อมต่อกับทั้งระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ กล้ามเนื้อเรียบ การทำงานของต่อมต่าง ๆ การทำงานของอวัยวะภายใน (visceral organs) และหลอดเลือด นอกจากนี้ยังมีการป้อนข้อมูลกลับไปยังสมองอีกด้วย

โครงสร้างของระบบประสาทในภาพรวม (Structural Units and Overall Organization)

ระบบประสาทส่วนภาคกลาง ประกอบด้วย สมองและไขสันหลัง (รูปที่ 1-2 และ ตารางที่ 1-1) โดยสมองจะบรรจุอยู่ในกระโหลกศีรษะ (cranial cavity) ในผู้ใหญ่มีน้ำหนักประมาณ 1,400 กรัม คิดเป็น 2 % ของน้ำหนักตัวทั้งหมด สมองแบ่งเป็น 3 ส่วน ตามลักษณะภายนอกที่มองเห็น ได้ดังนี้

1. สมองใหญ่ (cerebrum) ประกอบด้วย telencephalon และ diencephalon

2. ก้านสมอง (brain stem) ประกอบด้วย mesencephalon, pons และ medulla
3. สมองเล็ก (cerebellum)



รูปที่ 1-2 จากรูปแสดงถึงส่วนประกอบที่สำคัญของ ระบบประสาทส่วนกลาง คือสมองและ ไขสัน หลังในแนว midsagittal ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed. 2013. Page 2.

ตารางที่ 1-1 แสดงองค์ประกอบที่ ที่สำคัญของระบบประสาทส่วนกลาง

Brain (encephalon)	Cerebrum (forebrain)	Telencephalon	Cerebral cortex Subcortical white matter Commissures Basal ganglia
		Diencephalon	Thalamus Hypothalamus Epithalamus Subthalamus
	Cerebellum	Cerebellar cortex Cerebellar nuclei	
	Brain stem	Midbrain (mesencephalon) Pons Medulla oblongata	
Spinal cord	White matter	Dorsal columns Lateral columns Anterior columns	
	Gray matter		

ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed. 2013. Page 3.

ส่วนที่อยู่ต้นที่สุดหรือบนสุด (rostral) ของระบบประสาทส่วนกลาง คือสมองใหญ่ (cerebrum หรือ forebrain) เป็นส่วนที่มีการพัฒนาใหม่ล่าสุดและสูงสุด มีหน้าที่ในการควบคุมทำงานที่ซับซ้อน (เช่น ความรู้ความเข้าใจ ความรู้สึกนึกคิด) ส่วนที่ค่อนต่อจากหัวลงมาหรือส่วนหาง (caudal) จะเป็นก้านสมอง เมดัลลาอ็อฟลองกาตา และ ไขสันหลังตามลำดับ สมองจะส่งคำสั่งผ่านระบบประสาทส่วนกลางเหล่านี้เพื่อสื่อสารกับอวัยวะต่าง ๆ

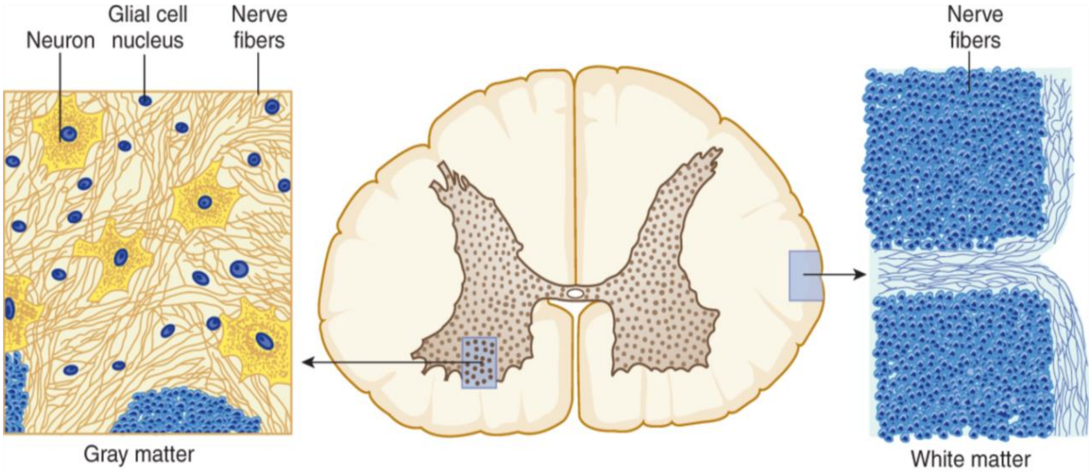
สมองใหญ่ (cerebrum or forebrain) ประกอบด้วย เทเลนเซฟฟาลอล และ ไดเอนเซฟฟาลอน (telencephalon และ diencephalon) เทเลนเซฟฟาลอล รวมถึงเปลือกสมอง (cerebral cortex) (ส่วนที่พัฒนามากที่สุดของสมองบางครั้งเรียกว่า "เนื้อสีเทา" หรือ gray matter ซึ่งเป็นที่อยู่ของตัวเซลล์ประสาท (neuron or cell body or soma) ส่วนเนื้ออสมองสีเทาที่วางตัวอยู่ในชั้นลึกของสมองฝังอยู่ในสมองส่วนสีขาว เรียกว่า เบซอลแกงเกลี่ย (basal ganglia) สมองส่วนที่เป็นสีขาว (white matter) จะเป็นที่อยู่ของเส้นใยประสาท (nerve fibers) ที่เห็นเป็นสีขาวเนื่องจากเป็นการรวมตัวของเส้นประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม (myelinated axons) ที่อุดมไปด้วยไขมันที่เป็นฉนวนไฟฟ้า จึงเห็นเป็นสีขาว (รูปที่ 1-3)

สมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน (diencephalon) จะปะกอบไปด้วย ทาลามัส (thalamus) และ ไฮโปทาลามัส (hypothalamus)

ก้านสมอง (brain stem) จะประกอบไปด้วย มิดเบรน หรือ มีเซนเซฟฟาลอน (midbrain or mesencephalon) พอนด์ (pons) และเมดัลลาอ็อฟลองกาตา (medulla oblongata)

สมองน้อย (cerebellum) สมองน้อยจะอยู่ทางด้านหลังปกคลุมสมองส่วนของ มิดเบรน พอนด์ และเมดัลลาอ็อฟลองกาตา

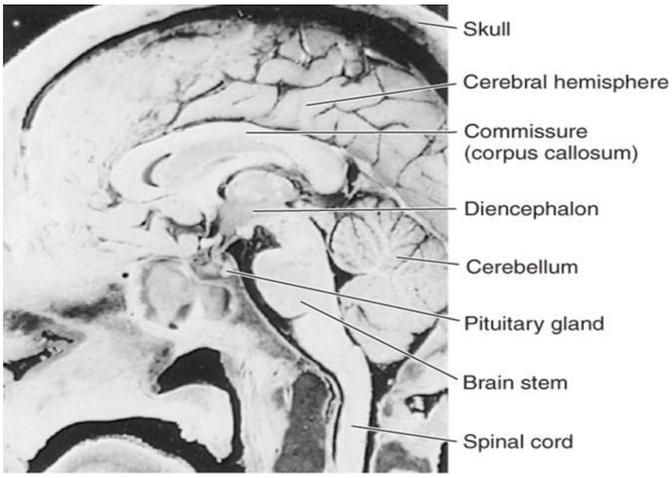
นอกจากองค์ประกอบทั้งสามส่วนแล้ว ในสมองยังมีช่องกลวงตรงกลางที่เรียกว่าโพรงสมอง (ventricles) ในไขสันหลังมีช่องแคบตรงกลางเรียกว่า เซ็นทรัลแคนแนล (central canal) โพรงเหล่านี้จะเป็น



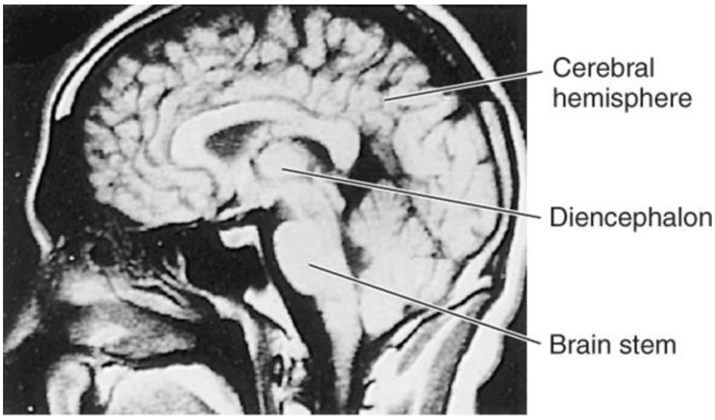
ที่อยู่ของน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (Cerebrospinal Fluid: CSF) ดังรูปที่ 1-4 และ 1-5

รูปที่ 1-3 เป็นภาพตัดขวาง ของไขสันหลัง แสดงเนื้อสีเทา ซึ่งมีตัวเซลล์ประสาท (neuron) เซลล์ค้ำจุนประสาท (glial cell) เส้นประสาท (nerve fibers: Axon) แขนงประสาท (dendrites) และ การเชื่อมโยงของประสาท (synapses) และ เนื้อสีขาว (ซึ่งจะมีองค์ประกอบคือ เส้นประสาทที่มีไมอีลินหุ้ม (myelinated)

และ การเชื่อมโยงระหว่างเส้นใยประสาทและเซลล์ค้ำจุนประสาท ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed. 2013. Page 3.



รูปที่ 1-4 แสดงภาพถ่ายของสมองในแนว midsagittal ผ่านศีรษะและลำคอ ส่วนบน ที่แสดงตำแหน่งสำคัญของระบบประสาทส่วนกลาง ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed. 2013. Page 4.



รูปที่ 1-5 แสดงภาพถ่ายเอกซเรย์สมองด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) ในแนว midsagittal ผ่านบริเวณศรีษะ เปรียบเทียบกับ รูปที่ 1-2 ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed. 2013. Page 4.

การทำงานของหน่วยประสาท (function unit)

สมองซึ่งคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 2% ของน้ำหนักตัว มีเซลล์ประสาทและเซลล์ค้ำจุนประสาท หลายพันล้านเซลล์อยู่ข้างในสมอง ทำให้การทำงานของระบบประสาทสามารถทำได้ทั้งรับและส่งสัญญาณประสาทไปยังเซลล์อื่น ๆ ผ่านทางเส้นใยประสาททำให้การทำงานของระบบประสาทเป็นรูปแบบของเครือข่ายคล้ายการทำงานของคอมพิวเตอร์ที่มีทั้งการรับข้อมูลเข้า การประมวลผล และการส่งข้อมูลออก อย่างเป็นลำดับ

ขั้นตอนการส่งสัญญาณประสาทจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วภายในมิลลิวินาที ในเซลล์ประสาทที่มีขนาดใหญ่ก็จะมีเส้นใยประสาทที่มีขนาดใหญ่และยาวยิ่งทำให้การส่งกระแสประสาทหรือสัญญาณประสาท (nerve impulse) เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว หากมีการนำกระแสประสาทหรือสัญญาณประสาทในระยะที่ไกลออกไปจากตัวเซลล์จะมีเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางคอยรับและส่งข้อมูล คือ อินเตอร์นิวรอน (interneurons)

ในระบบประสาทส่วนกลางตัวเซลล์ประสาทที่ให้ทำหน้าที่คล้ายกันจะมารวมตัวกันเป็นกลุ่มเรียกว่า "นิวเคลียส" ในระบบประสาทส่วนปลายเซลล์ที่ทำหน้าที่คล้ายกันมารวมกัน เรียกว่า "ปมประสาท" (ganglion) เช่นที่ Dorsal Root Ganglion : DRG หรือ sensory ganglion ของไขสันหลังแต่ละระดับ เป็นต้น

องค์ประกอบอื่น ๆ ที่สนับสนุนการทำงานของเซลล์ประสาท จะเรียกว่า เกลี่ย หรือเซลล์พี่เลี้ยง (Glia cell or supporting cell) ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์ประสาท มีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาทประมาณ 10-50 เท่า เซลล์เหล่านี้จะไม่มีบทบาทในการรับหรือส่งสัญญาณประสาท

การส่งผ่านข้อมูลใน ระบบประสาท (Synapses)

เซลล์ประสาทส่งผ่านข้อมูลสัญญาณประสาทไปยังอีกเซลล์หนึ่งโดยอาศัยการส่งผ่านตัวกลางคือสารสื่อประสาท (neurotransmitters) โดยจะหลั่งสารสื่อประสาทออกมาจากเซลล์ตัวแรกไปยังบริเวณช่องแคบระหว่างรอยต่อของปลายประสาทกับเซลล์อื่นเรียกว่า ไซแนปส์ (synapses) โดยสัญญาณประสาทที่ส่งต่อจะเป็นได้ทั้งกระตุ้น หรือ ยับยั้ง ดังนั้นเซลล์ประสาทหนึ่งตัวจะได้รับสัญญาณประสาทจากหลากหลายทิศทาง แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นเข้าสู่เซลล์ประสาทเพื่อประมวลผลว่าสัญญาณประสาทที่เข้ามาเป็นแบบ กระตุ้น หรือ ยับยั้ง แล้ว จะสั่งการให้มีการตอบสนอง ต่อสัญญาณประสาทหรือข้อมูลที่รับมา ในรูปแบบของพฤติกรรมการแสดงออกผ่านระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ แต่มีบางพฤติกรรมที่แสดงออกโดยไม่ได้ถูกควบคุมโดยสมอง จึงเรียกว่า การแสดงออกเพื่อความอยู่รอด (primitive behavior) เช่น reflex และการตอบสนองที่ไวขึ้นมากกว่าปกติของอวัยวะต่าง ๆ เช่น knee jerk เป็นการทำงานแบบ monosynaptic คือการเชื่อมกันของสองเซลล์ประสาทแบบเดี่ยว แต่หากเชื่อมต่อโดยมีไซแนปส์ที่ซับซ้อนมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้นจะเป็นแบบ polysynaptic ส่งผลให้เกิดการแสดงออกหรือพฤติกรรมต่าง ๆ

ทางเดินประสาทและการเชื่อมต่อข้อมูลภายในระบบประสาท (tracts and Commissures)

ทางเดินประสาท วิถีประสาท หรือการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลางจะเป็นในลักษณะของการรวมกลุ่มกันของเส้นใยประสาท หรือเรียกว่าทางเดินกระแสประสาท (fiber bundle, tract or fasciculi) ดังจะเห็นได้ใน ไขสันหลัง จะเรียกว่า คอลัมน์ (column) โดยทางเดินประสาทจะมีทั้งขาลงมาจากสมอง (descending) เช่น จากสมองใหญ่ ไปยังก้าน หรือ ไขสันหลัง เรียกว่า lateral corticospinal tract ทำหน้าที่นำคำสั่ง (motor) จากสมองไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย ส่วนวิถีประสาทหรือทางเดินประสาทขาขึ้น (ascending) เช่น จาก ไขสันหลัง ไปยังสมองใหญ่ อาทิ lateral spinothalamic tract ทำหน้าที่ในการนำความรู้สึก (sensory) ที่รับเข้ามาขึ้นไปยังสมอง จะเห็นได้ว่าทั้ง

ทางเดินประสาทขาขึ้นและขาลงจะวางตัวในแนวตั้ง (vertical) หากมีการพาดข้ามจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่ง เรียกว่า ดีคัสเซท (decussate) ถ้าเป็นการพาดข้ามของวิถีประสาทขาลงจะเรียกว่า มอเตอร์ดีคัสเซชัน (motor decussation) ถ้าเป็นการพาดข้ามของวิถีประสาทขาขึ้นจะเรียกว่าเซนซอรีดีคัสเซชัน (sensory decussation) นอกจานี้ยังมีการเชื่อมต่อกันหรือส่งผ่านข้อมูลของระบบประสาทส่วนกลางระหว่างซีกซ้ายกับซีกขวา เป็นการเชื่อมต่อในแนวนอน เรียกว่าคอมมิสเชอส์ (commissures) ยกตัวอย่างเช่น คอปัสแคลโลซัม (calpuscallosum) ที่เป็นเหมือนสะพานเชื่อมระหว่างสมองซีกซ้ายกับซีกขวา

จะเห็นได้ว่าสมองมีการเชื่อมต่อกับหลายส่วนทั้งไปและกลับ ไม่ว่าจะเป็นจากสมองลงมาที่ไขสันหลัง สมองไปยังสมองน้อย จากการเชื่อมต่อหลายทิศทางนี่เองทำให้เข้าได้ว่าระบบประสาท ได้รับการกระตุ้นที่มีลักษณะแตกต่างกันจากรอบทิศทาง จึงแปลผลออกมาต่างกัน ดังนั้นลักษณะเฉพาะของพฤติกรรมที่ต้องตอบสนองต่อสิ่งเหล่านั้นก็จะต่างกันไปด้วย (เช่น การทรงท่า ความตึงตัวของกล้ามเนื้อ และการเคลื่อนไหวที่ละเอียดอ่อน) เพราะการสั่งการจากตัวเซลล์ประสาทที่แตกต่างกัน หากมีการทำลายระบบประสาทเกิดขึ้นจะมีความเสียหายกับระบบประสาทบางส่วนก็จะส่งผลต่อการทำหน้าที่ตรงนั้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องฝึกสมองส่วนที่ทำหน้าที่อื่นขึ้นมาทำงานแทนตัวเซลล์ประสาทที่ถูกทำลายไปเพื่อความอยู่รอด

การสมดุลทั้งสองข้างของระบบประสาท (Symmetry of the Nervous System)

ลักษณะทั่วไปของระบบประสาทถูกสร้างให้คล้ายคลึงกันและสมมาตรกันทั้งสองซีก ที่เห็นได้ชัดที่สุดคือ สมองใหญ่ที่ถูกแบ่งออกเป็นซีก (hemispheres) ขวาและซ้าย ถึงแม้จะมีความสมมาตรของสมองทั้งสองซีก แต่การทำงานจะแตกต่างกัน เช่นภาษา จะถูกควบคุมด้วยสมองซีกที่เด่นกว่า นอกจากนี้ในส่วนของก้านสมองและไขสันหลัง ที่ไม่ได้ จัดเป็นซีกก็จะมีความสมมาตรทางด้านการทำงาน

การพาดข้ามของวิถีประสาท (Crossed Representation)

การพาดข้ามไปยังฝั่งตรงข้ามของทางเดินประสาทภาษานิวโรอะนาโตมี่ ใช้คำว่า "decussation" เพื่ออธิบายวิถีทางเดินประสาทหรือระบบทางเดินของสันใยประสาทจากด้านหนึ่งของระบบประสาท (ขวาหรือซ้าย) ไปยังอีกด้านหนึ่ง ทำให้สมองซีกขวาทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของร่างกายซีกซ้ายและในทางกลับกันสมองซีกซ้ายจะควบคุมการทำงานของร่างกายซีกขวา ในทำนองเดียวกันการรับความรู้สึกจากการสัมผัสความร้อนหรือความเย็นจากตำแหน่งด้านขวาของร่างกายจะไปประมวลผลในสมองใหญ่ซีกซ้าย somatosensory จากความรู้ดังกล่าวทำให้ทราบว่าหากผู้ป่วยมีพยาธิสภาพที่ร่างกายซีกซ้าย แสดงว่ามีพยาธิสภาพของสมองซีกขวาเรียกว่า คอลทราแลทเตอร์รัล (contralateral) จากข้างต้นมีข้อยกเว้นการควบคุมมอเตอร์ของร่างกายฝั่งตรงข้ามคือ สมองน้อย ทำหน้าที่ในการประสานสัมพันธ์ (coordination) ควบคุมการทรงท่า (postural) และ การควบคุมความตึงตัวของกล้ามเนื้อ (muscle tone) ในด้านเดียวกับแต่ละซีกของสมองน้อย เรียกว่า อิฟสิแลทเทอรอล (ipsilateral)

ตำแหน่งการควบคุมภายในสมอง (Maps of the World Within the Brain)

ในสมองจะมีตำแหน่งการควบคุมร่างกายที่ชัดเจน คลายกับแผนที่โลกที่อยู่ในสมองโดยจะสัมพันธ์กับระบบสั่งการการเคลื่อนไหว จึงเรียกว่า มอเตอร์ โฮมันคิวลัส (motor homunculus) เช่นเดียวกันกับแผนที่ของระบบรับความรู้สึกก็จะเป็น เซนซอรี่โฮมันคิวลัส (sensory homunculus) หากเป็นสมองส่วนเทมโพรอล (temporal) จะมีแผนที่เกี่ยวกับการได้ยิน สมองส่วนอ็อกซิพิทอล (occipital) จะมีแผนที่เกี่ยวข้องกับการรับความรู้สึกด้านการมองเห็น แผนที่เหล่านี้จะเรียกว่า retinotopic เพราะมีความสัมพันธ์กับวัตถุที่เรามองเห็นและรับรู้ว่าสีอะไร เป็นต้น

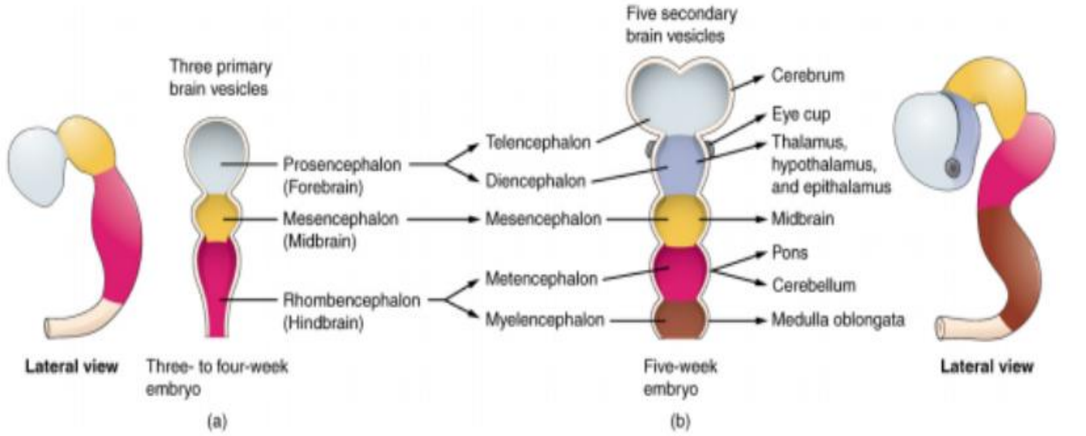
พัฒนาการของระบบประสาท (development)

ระบบประสาทเริ่มพัฒนามาจากส่วนที่เรียกว่า นิวรัลทิว (neural tube) ตั้งแต่อายุครรภ์สองเดือน เมื่ออายุครรภ์ประมาณห้าเดือนระบบประสาทที่ควบคุมการสั่งการจะพัฒนาขึ้นทำให้มีการงอกของเส้นประสาทและการสร้างเยื่อหุ้มเส้นประสาทที่สมบูรณ์ขึ้น (myelinated) ทำให้มีเส้นประสาทมาเลี้ยงกล้ามเนื่อส่งผลให้เกิดการเคลื่อนไหวของเด็กในครรภ์มารดา และจะมีการพัฒนาของระบบประสาทต่อไปเรื่อย ๆในบางวิถีทางเดินประสาทจะมีระยะเวลาพัฒนาตั้งแต่อยู่ในครรภ์มารดาจนถึงอายุประมาณ 20 ปี วิถีทางเดินประสาทที่พัฒนาเป็นลำดับแรก คือ คอติโคสไปนอล (corticospinal myelinated) จะพัฒนาสมบูรณ์ในช่วงหนึ่งถึงสองขวบแรกของชีวิต

การพัฒนาของระบบประสาทส่วนกลาง

เริ่มจากการม้วนปิดเป็นท่อของ neural groove เป็น neural tube แล้วพัฒนาจาก neural tube ไปเป็น fore brain, mid brain และ hind brain ดังรูปที่ 1-6

- fore brain จะเจริญไปเป็น telencephalon และ diencephalon ทำให้ telencephalon เจริญต่อไปเป็น สมองใหญ่ หรือ cerebrum และ diencephalon จะเจริญไปเป็น สมองส่วน thalamus และ hypothalamus
- mid brain จะหมายถึงการเจริญไปเป็น mesencephalon และ เป็น mid brain ตามลำดับ
- hind brain จะเจริญไปแป็น metencephalon และ myelencephalon และ metencephalon จะพัฒนาไปเป็นสมองส่วน Pons และcerebellum ส่วน myelencephalon จะพัฒนาไปเป็นสมองส่วน medullar oblongata



รูปที่ 1-6 เป็นภาพทางด้านข้างแสดงลำดับขั้นของพัฒนาสมองในครรภ์มารดา ตั้งแต่สัปดาห์ที่ 3 จนถึงสัปดาห์ที่ 5 ที่มา: Betts JG, Desaix P, Johnson E, Korol O, Kruse D, Ooe B et al. Anatomy and Physiology. Taxus, United Stage: Rice university; 2017. Page 552.

การเติบโตหรือการงอกของแอคซอน (axon) ไปยังอวัยวะเป้าหมายต้องอาศัยการทำงานของ โมเลกุลที่อยู่ในของเหลวนอกตัวเซลล์ประสาทหรือที่เรียกว่า guidance molecules (มีองค์ประกอบคือ netrins และ semaphorins) ในช่วงแรกจะมีแอคซอนงอกใหม่ค่อนข้างเยอะ แต่จะมี guidance molecules ที่เฉพาะเจาะจงในการนำทางให้แอคซอนเจริญไปยังเป้าหมายได้สำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพ จึงถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาทางระบบประสาทที่จะทำงานเป็นเครือข่าย หากแอคซอนใดไปได้ไม่ถึงเป้าหมายก็จะถูกทำลายหรือย่อยสลายไปในสุด ถึงแม้ว่าโครงสร้างของสมองจะพัฒนาขึ้นก่อนที่จะเริ่มมีการพัฒนาการทำงานของเส้นประสาท แต่ในสมองที่พัฒนาเต็มที่แล้วจะสามารถปรับเปลี่ยนเรียนรู้ภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมในช่วงระยะเวลาแค่ไม่กี่วัน

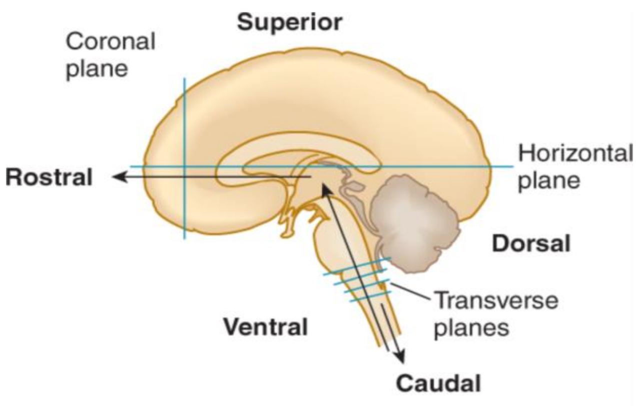
ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral Nervous System: PNS)

ระบบประสาทส่วนปลาย ประกอบด้วย เส้นประสาทสมอง 12 คู่ เส้นประสาทไขสันหลัง 31 คู่ และ ปมประสาท จะมีเส้นประสาทนำข้อมูลเข้าไปยังระบบประสาทส่วนกลาง (afferent fibers) ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับความรู้สึก (sensory) หรือนำคำสั่งออกจากระบบประสาทส่วนกลาง (efferent fibers) ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบสั่งการ (motor)

เส้นประสาทแต่ละเส้นหากได้รับบาดเจ็บ หรือหากมีการบาดเจ็บของร่างกาย จะส่งผลให้เสียความสมดุลระหว่างระบบรับความรูสึกและระบบควบคุมการเคลื่อนไหวที่เส้นประสาทเส้นนั้นไปเลี้ยง ในผู้ป่วยบางโรค เช่นโรคเบาหวาน หรือ ผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษ หรือยาเสพติด ที่มีผลต่อการทำงานของระบบประสาทจะทำให้เกิดความผิดปกติเกิดขึ้นได้ เรียกว่า polyneuropathy ในกรณีเหล่านี้ มักเกิดกับเส้นประสาทที่ไปเลี้ยงอวัยวะส่วนปลาย อาทิเช่น เท้า

ระนาบของสมองและคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง (Planes and Terms)

ในการศึกษาถึงโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทจำเป็นต้องเข้าใจระนาบและคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้สื่อสารในทางการแพทยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังแสดงในรูป ที่ 1-7 และ ตารางที่ 1-2



รูปที่ 1-7 แสดงถึงแนวระนาบต่าง ๆ ทางด้านข้างของสมองซีกขวา ในแนวตรงกลาง (midsagittal) แนวขวาง (horizontal หรือ transverse plane) แนวทางด้านบน (superior) ทางด้านหน้า (ventral) และทิศทางค่อนไปทางหัว (Rostral) ทิศทางที่ค่อนมาทางหาง (Caudal) ที่ใช้บ่อย ที่มา: Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27^{th} ed. 2013. Page 5.

ตารางที่ 1-2 คำศัพท์ในทางระบบประสาท (Terms Used in Neuroanatomy)

คำศัพท์	ความหมายและคำใกล้เคียง
Ventral, anterior	ทางด้านหน้า On the front (belly) side
Dorsal, posterior	ทางด้านหลังOn the back side
Superior, cranial	ทางด้านบน On the top (skull) side
Inferior	ทางด้านล่าง On the lower side
Caudal	ค่อนไปทางหาง In the lowermost position (at the tail end)
Rostral	ค่อนไปทางหัว On the forward side (at the nose end)
Medial	เข้าใกล้แนวกลาง Close to or toward the middle
Median	ตรงกลาง In the middle, the mid plane (midsagittal)
Lateral	ด้านข้าง Toward the side (away from the middle)
Ipsilateral	ด้านเดียวกัน On the same side
Contralateral	ด้านตรงข้าม On the opposite side
Bilateral	ทั้งสองด้าน On both sides

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chapter 1. Fundamentals of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27^{th} ed. 2013. Page 6.

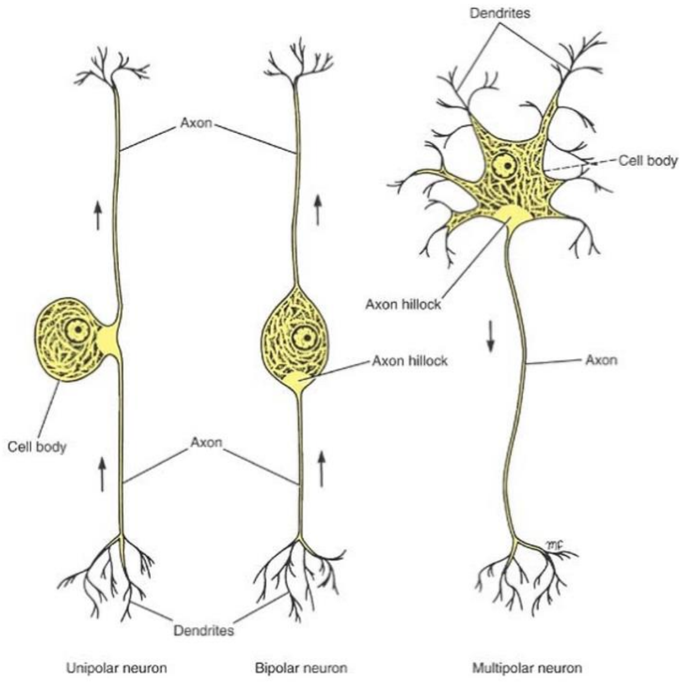
เส้นประสาท

เซลล์ประสาทในระบบประสาทสามารถแบ่งได้หลายแบบในที่นี้จะกล่าวถึงการแบ่งตามลักษณะโครงสร้างของเส้นประสาทสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังรูปที่ 1-8 ดังนี้

1. Unipolar neuron มีลักษณะก้านออกจากเซลล์ประสาทเส้นเดียวแล้วแยกออกเป็น 2 ด้าน พบตรงบริเวณ รับความรู้สึก dorsal root ganglia

2. Bipolar neuron มีลักษณะเส้นประสาทออกจากตัวเซลล์ทั้งสองด้านของเซลล์ จะพบได้ในบริเวณ retina, olfactory เป็นต้น

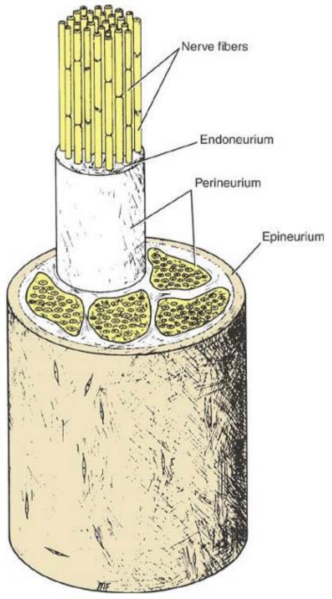
3. multipolar neuron มีลักษณะเป็น ตัวเซลล์และมีแขนงประสาทแยกออกจากตัวเซลล์หลายทิศทาง มักพบในระบบประสาทส่วนกลาง เช่น สมอง ไขสันหลัง สมองน้อย เป็นต้น



รูปที่ 1-8 แสดงการแบ่งชนิดของเซลล์ประสาทตามโครงสร้างของเซลล์ประสาทโดยแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ unipolar, bipolar และ multipolar ที่มา: Snell RS. Clinical Neuroanatomy. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. Page 73.

เยื่อหุ้มเส้นประสาทส่วนปลาย

เส้นประสาท 1 เส้น จะประกอบไปด้วย การรวมกันหลาย ๆ nerve fiber ที่ออกมาจากเซลล์ประสาทแต่ละตัว เรียกว่า nerve bundle และหลาย ๆ nerve bundle รวมกันเรียกว่า เส้นประสาท ดังนั้นจึงมีเยื่อหุ้มเส้นประสาทส่วนปลาย อยู่ 3 ชั้น ดังรูปที่ 9



รูปที่ 1-9 แสดงเยื่อหุ้มเส้นประสาทส่วนปลายจำนวน 3 ชั้น คือ เยื่อหุ้มใยประสาท เรียกว่า endoneurium เยื่อหุ้ม nerve bundle เรียกว่า perineurium และเยื่อหุ้มเส้นประสาทเรียกว่า epineurium ที่มา: Snell RS. Clinical Neuroanatomy. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. Page 147.

เยื่อหุ้มสมองและเยื่อหุ้มไขสันหลัง (meninges of the brain and spinal cord)

สมองและไขสันหลังมีเยื่อหุ้มเพื่อช่วย support, protective และ nourishment เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลังประกอบด้วย 3 ชั้น คือ

1. Dura mater ชั้นนอกสุดเป็น membrane หนาและเหนียวทำหน้าที่ support สมอง dura mater แบ่งออกเป็น 2 ชั้น
   1.1 Endosteal layer เป็นชั้นนอกสุดติดกับกะโหลกศีรษะ
   1.2 Meningeal layer ชั้นในสุด

ทั้ง 2 ชั้น จะอยู่ติดกัน แต่มีบางบริเวณจะแยกออกจากกัน ทำให้เกิดเป็นโพรงและเป็นที่อยู่ของเลือดดำ (venous sinus) บางตอนติดต่อกับเส้นเลือดดำที่อยู่ภายนอกกะโหลกศีรษะได้ ชั้น meningeal layer จะเรียบและด้านในจะถูกบุด้วย mesothelium ส่วนบริเวณที่ cranial nerves ออกมาจาก base of skull ชั้น dura จะเชื่อมกับ epineurium ของเส้นประสาทเหล่านั้น และจะไปเชื่อมกับ pericranium ด้วย ตรงบริเวณ foramen magnum dura จะไปติดต่อกับ dura ของ spinal cord ทั้งนี้จะมีบางส่วนของชั้นนี้ จะติดกันและ

ยื่นลงไปใน cranium เพื่อเป็นส่วนกั้นต่างๆ ของสมอง และทำให้สมองอยู่กับที่ ได้แก่ falx cerebri, tentorium cerebella, falx cerebella และ diaphragma sellae

2. Arachnoid mater ชั้นกลาง มีลักษณะ คล้ายใยแมลงมุม
3. Pia mater ชั้นในสุดติดเนื้อสมองลงไปในร่องต่างๆ ของสมอง

ช่องที่อยู่เหนือต่อ dura mater เรียก epidural space มี fat, vein และ loose connective tissue ช่องที่อยู่ระหว่าง dura mater กับ arachnoid mater เรียกว่า subdural space เป็น potential space ในภาวะปกติไม่มีอะไรอยู่ ช่องที่อยู่ระหว่าง arachnoid mater กับ pia mater เรียกว่า subarachnoid space มีน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (Cerebrospinal Fluid: CSF) บรรจุอยู่

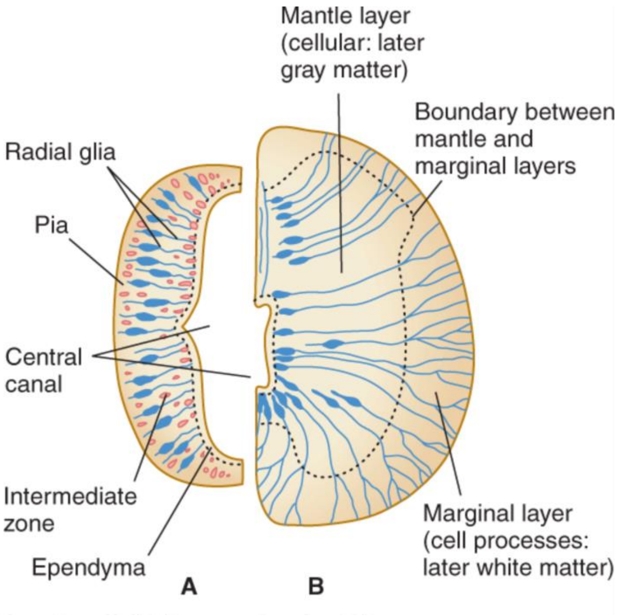
การพัฒนาของระบบประสาท และการเชื่อมโยงของระบบประสาท

การพัฒนาส่วนต่าง ๆ ของระบบ ประสาท (Cellular Aspects of Neural Development)

ระบบประสาทเริ่มพัฒนามาจากชั้น เอ็คโตเดิม (ectodermal) ของตัวอ่อน แล้วเจริญไปเป็นท่อกลวง (neural tube) หลังจากนั้นจะพัฒนาไปเป็นรูปแบบต่างๆ ของเซลล์ประสาท และ เซลล์ค้ำจุนประสาท

ชั้นของหลอดประสาท (Layers of the Neural)

ท่อหลอดประสาทของตัวอ่อนจะมีสามชั้น (ดังรูปที่ 1-10) ชั้นในสุดของชั้นหน้าเรียกว่า ependymal ที่อยู่รอบช่องตรงกลางของหลอดประสาทโซนกลาง (intermediate zone) เกิดจากการแบ่งตัวของตัวเซลล์ส่วนหน้า ส่วนชั้นเพลีย (pia) และขอบของภายนอกทางด้านหน้าจะเกิดขึ้นภายหลังเซลล์ประสาทในโซน กลางที่พัฒนาแล้ว (รูป 1-10B)



รูปที่ 1-10 แสดงสองขั้นตอน ในการพัฒนาของท่อประสาท (เป็นภาพตัดขวางเพียงครึ่งหนึ่งของแต่ละส่วน) A: เป็นขั้นตอนในช่วงต้นที่มีขนาดของท่อกลวงใหญ่ B: ขั้นตอนต่อจาก A มีการขยายขนาดขึ้นจนทำให้มีช่องกลวง

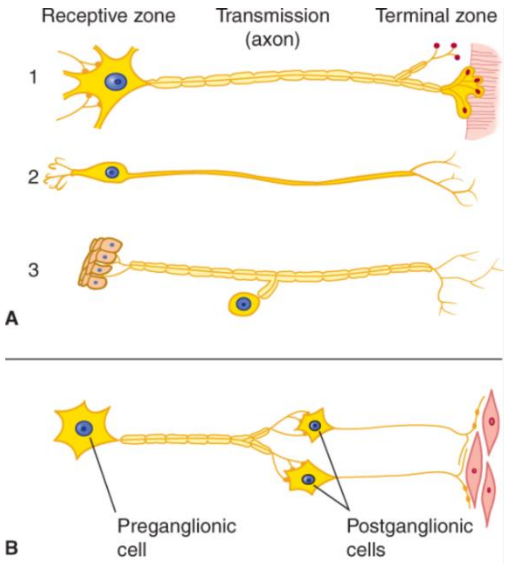
ตรงกลางขนาดเล็กลง ชั้นกลางหรือชั้นแมนเทิล (mantle zone) จะเพิ่มขึ้นในชั้นนอกสุดและกลายไปเป็นเนื้อสมองสีเทา (gray matter) แขนงของเซลล์ที่ชั้นกลางเมื่อพัฒนาแล้วและมีการสร้างเยื่อหุ้มที่สมบูรณ์จะเป็นส่วนสมองสีขาว (white matter) ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 8.

การปรับเปลี่ยนรูปร่างและการปรับตำแหน่งที่เหมาะสมของระบบประสาท (Differentiation and Migration)

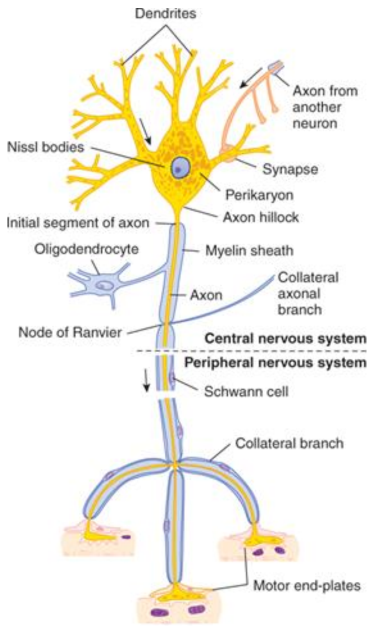
เซลล์ประสาทที่มีขนาดใหญ่ที่สุดและเจริญขึ้นมาเป็นลำดับแรกคือมอเตอร์เซลล์ ส่วนเซลล์ประสาทรับความรู้สึกเป็นเซลล์ประสาทขนาดเล็ก จะพัฒนาตามมาและเซลล์ค้ำจุนประสาททั้งหมด (glia cells) จะเจริญตามมาตามลำดับ เซลล์ประสาทที่เกิดขึ้นมาใหม่จะมีการกระจายไปยังกลุ่มเซลล์ประสาทที่เกิดขึ้นก่อนหน้านี้ เมื่อเซลล์ glial เจริญขึ้นมาจะทำหน้าที่เป็นผู้ชี้นำทิศทางการเจริญงอกออกของแอกซอลไปยังเป้าหมายของเซลล์ประสาทที่ถูกต้อง เพราะการงอกของแอกซอลของจะเกิดขั้นขณะที่มีการเคลื่อนย้ายที่ของเซลล์ประสาท ในสมองของผู้ใหญ่การงอกของแอกซอลจะป็นแบบโค้งมากกว่างอกแบบตรง ๆ เซลล์ประสาทที่เจริญขั้นมาใหม่จะเคลื่อนย้ายจากชั้นที่ลึกที่สุดขึ้นไปอยู่ชั้นที่ตื้นที่สุดของเปลือกสมอง จากนั้น เซลล์ประสาทเล็ก ๆ ของ สมอง เริ่มเจริญขึ้นและเคลื่อนย้ายที่ไปยังชั้นพื้นผิวและชั้นลึกตามลำดับ โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายเดือนภายหลังการคลอด

เซลล์ประสาท (Neurons)

เซลล์ประสาทมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและการทำงานที่ ตัวอย่างเช่น ในชั้นแกรนูลของสมองน้อยเป็นที่อยู่ของเซลล์ขนาดเล็กแต่มีนิวเคลียสขนาดใหญ่กว่า nucleoli ของเซลล์ Purkinje ซึ่งเป็นแซลล์ขนาดใหญ่ เซลล์ประสาทของมอเตอร์มักจะมีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ประสาทรับความรู้สึก เซ ลล์ประสาทที่มีแขนงประสาทยาว (เช่น ปมประสาท หรือ dorsal root ganglion) มีขนาดใหญ่กว่าเซลล์ประสาทที่มีแขนงสั้นดังรูปที่ 1-11 และ 1-12



รูปที่ 1-11 จากภาพเป็นชนิดของเซลล์ประสาท A: เซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง (1) เซลล์ประสาทยนต์ส่งแขนงไปยังกล้ามเนื้อโดยตรง (2) เซลล์ประสาทรับความรู้สึกพิเศษและ (3) เซลล์ประสาทรับความรู้สึก ทั่วไปจากผิว B: เซลล์ประสาทอัตโนมัติที่ส่งไปยังกล้ามเนื้อเรียบ จะเห็นได้ว่า ตำแหน่งของเซลล์ประสาทและความยาวของแอกซอลจะมีความแตกต่างกันไป ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 8.



รูปที่ 1-12 จากรูปเป็นภาพวาดการย้อมสาร Nissl ของเซลล์ประสาทยนต์ (motor neuron) เยื่อไมอีลินในระบบ ประสาทส่วนกลางจะถูกสร้างโดย oligodendrocytes และ ในระบบ ประสาทส่วนปลายจะสร้างจากเซลล์ Schwann หมายเหตุมีตำแหน่งที่สามารถเชื่อมต่อกับกล้ามเนื้อ (motor end plates) เพื่อส่งสัญญาณประสาทจากเซลล์ประสาทไปยังกล้ามเนื้อ ลูกศรที่เห็นในภาพแสดงทิศทางของการนำกระแสประสาทไปบน

เส้นประสาท ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 8.

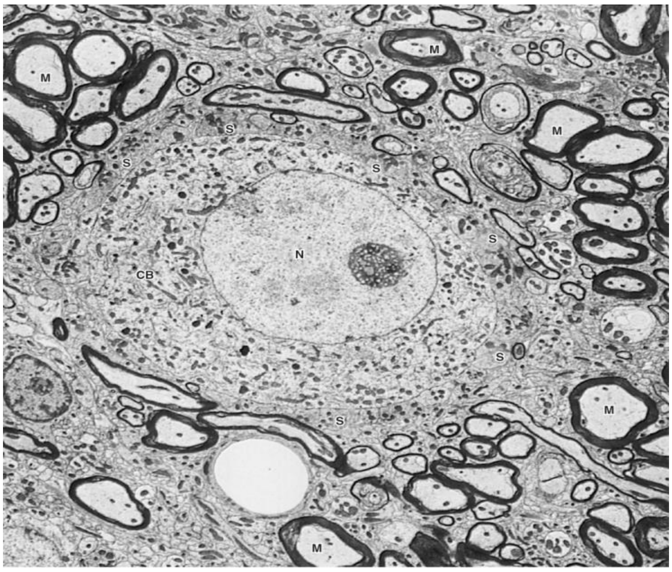
ทางเดินของเส้นประสาทจากเปลือกสมองไปยังไขสันหลังในทารกจะมีความยาวประมาณ 2 ฟุต หากเป็นผู้ใหญ่จะยาวมากว่า 4 ฟุต แต่บางทางเดินของเส้นประสาทจะมีระยะทางที่สั้น เช่น การเชื่อมโยงระหว่างเซลล์ประสาทที่มีขนาดเล็กกับเซลล์ประสาทในพื้นที่เดียวกันจะเรียกว่าอินเตอร์นิวรอน (interneuron) โดยเฉพาะเซลล์ที่อยู่ในไขสันหลัง

เซลล์ประสาทมีแขนงที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์ คือแอกซอน (axon) และเดนไดร์ (dendrites) โดยเซลล์ประสาทจะมีเพียงแอกซอนเดียวและเป็นแขนงที่ยาวที่สุดและไปแตกแขนงทีห่างไกลจากตัวเซลล์ประสาท ทำหน้าที่ในการนำคำสั่งออกจากตัวเซลล์ไปยังปลายประสาท ตรงบริวเณปลายประสาทที่แตกแขนงจะเรียกว่า ซินแนบติก เทอร์มินอล หรือ โบไลเซชัน (synaptic terminal or borization) แต่ถ้าเป็นเดนไดร์จะมีหลายเส้นแตกแขนงรอบๆ ตัวเซลล์คล้าย ๆ ต้นไม้ ทำหน้าที่ในการนำข้อมูลเข้าสู่ตัวเซลล์ ทั้งนี้เซลล์ประสาทมีหลายชื่อดังนี้ โซมา (soma) เปอริคายอน (perikayon) ตัวเซลล์ประสาท (Cell Bodies) หรือ นิวรอน (neuron)

ตัวเซลล์ประสาท (Cell Bodies)

เซลล์ประสาทเป็นศูนย์กลางการเผาผลาญอาหารและสารพันธุกรรมของเซลล์ประสาท ดูรูปที่ 1-11 จะเห็นได้ว่าขนาดและชนิดของเซลล์ประสาทจะแตกต่างกันแต่เซลล์ประสาทถือเป็นเพียงส่วนน้อยเมื่อเทียบกับ ปริมาณรวมของระบบประสาท

เซลล์ประสาท และแขนงฝอย (dendrites) ที่กระจายรอบตัวเซลล์ประสาทจะรับคำสั่งจากเซลล์ประสาทอื่น ๆ หรือรับแขนงของเซลล์ค้ำจุนประสาท (glial cells) ทำให้ตัวเซลล์ประสาทถูกครอบคลุมด้วยแขนงเหล่านั้น ดังรูปที่ 1-13

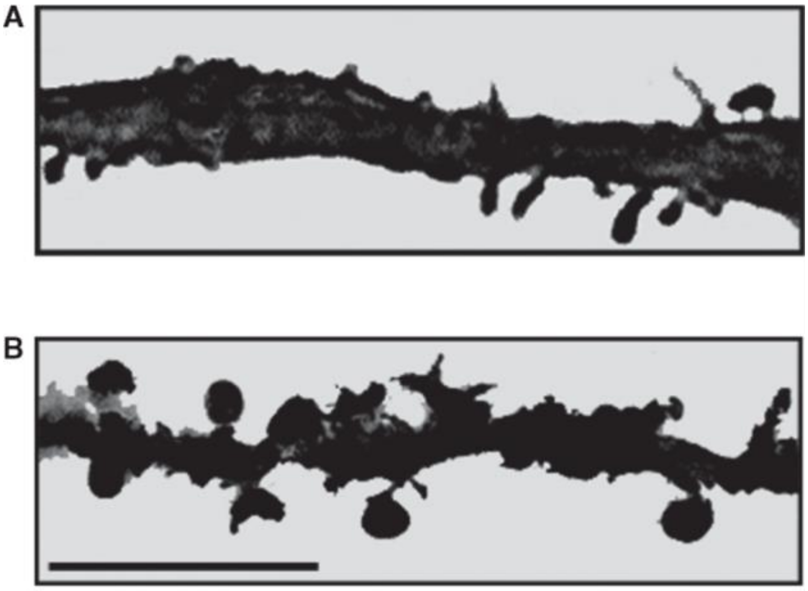


รูปที่ 1-13 จากรูปเป็นภาพจากกล้องอิเล็กตรอนแสดงส่วนของเซลล์ประสาท (CB) ล้อมรอบด้วยแขนงของเส้นประสาททำให้พื้นผิวของเซลล์ประสาทถูกปกคลุมด้วยทั้ง synaptic ของเซลล์ประสาทอื่น ๆ (S) หรือแขนงของเซลล์ glial แขนงอื่น ๆ จากหลายๆ แขนงทั้งจาก myelinated axon (M). CB = ตัวเซลล์ประสาท; N= นิวเคลียส × 5000 μm ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 9.

เดนไดร์ (dendrites)

เดนไดร์เป็นแขนงของเซลล์ประสาทที่ยื่นออกมาจากตัวเซลล์ ทำหน้าที่ในการนำคำสั่งหรือข้อมูลจากเซลล์อื่นในรูปของสัญญาณไฟฟ้ามายัง cell body (ทำหน้าที่คล้ายเสา อากาศ) มักมีแขนงสั้นๆ จำนวนมาก เรียกว่าเดรไดร์ติกสปาย (dendritic spines) รูปที่ 1-14 เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้นทำให้รับข้อมูลได้เพิ่มมากขึ้น เมื่อรับข้อมูลเข้ามาแล้วก่อนจะส่งต่อข้อมูลไปยัง cell body จะคัดกรองคำสั่งที่เข้ามาว่าจะส่งต่อไปยังตัวเซลล์หรือไม่ โดยโปรตีนที่ชื่อว่า โพลี่ไรโบโทรม (polyribosome or Nissl body) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณด้วยว่าถึง threshold หรือไม่ในเซลล์ประสาทที่ไม่มี dendrite จะรับข้อมูลโดยตรงทาง cell body ปัจจุบันแขนงย่อยของเดนไดร์หรือเดนไดร์ติกสปายได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในกลุ่มนักวิจัยเพราะรูปร่างของแขนงย่อยของเดนไดร์มีอิทธิพลต่อความแรงของสัญญาณประสาทที่ได้รับ บริเวณยอดปลายสุดของแขนงย่อยของเดนไดร์ที่มีขนาดเล็กจะควาบคุมสัญญาณประสาทที่เข้ามาได้ไม่ดีเท่ากับบริเวณของปลายแขนงย่อยเดนไดร์ที่มีขนาดใหญ่ และแขนงย่อยของเดนไดร์จะเป็นแบบไดนามิกสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้ จากคุณสมบัติที่แขนงย่อยของเดนไดร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้จะทำให้ เสริมสร้างการเชื่อมต่อข้อมูลเพื่อที่จะนำไปสู่กระบวนการเรียนรู้และความจำ การปรับเปลี่ยนที่เกิดขึ้นอาจจะเกิดขึ้นได้ภายหลังการได้รับบาดเจ็บของระบบประสาทและอาจนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงการทำงานของระบบประสาทหลังจากได้รับบาดเจ็บได้เช่นกัน เช่น อาการปวดเรื้อรังหลังการบาดเจ็บของเส้นประสาท (รูปที่ 1-15)

รูปที่ 1-14 กิ่งไม้และแขนงย่อยของเดนไดร์ (dendritic spines) อยู่บนกิ่งไม้ มีขนาดเล็ก = 10 ไมโครเมตร ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 10.



รูปที่ 1-15 จากภาพเป็นไมโครกราฟแสดงแขนงย่อยของเดนไดร์ของเซลล์ประสาทไขสันหลังส่วนเกย์ฮอร์น จากหนูปกติ (A) และจากหนูที่ได้รับบาดเจ็บของเส้นประสาท (B) หมายเหตุ จำนวนที่เพิ่มขึ้นของแขนงย่อยเดนไดร์ และรูปร่าง ที่แตกต่างกันของเส้นประสาท บาร์ = 10 ไมโครเมตร ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 10.

แอกซอน (axon)

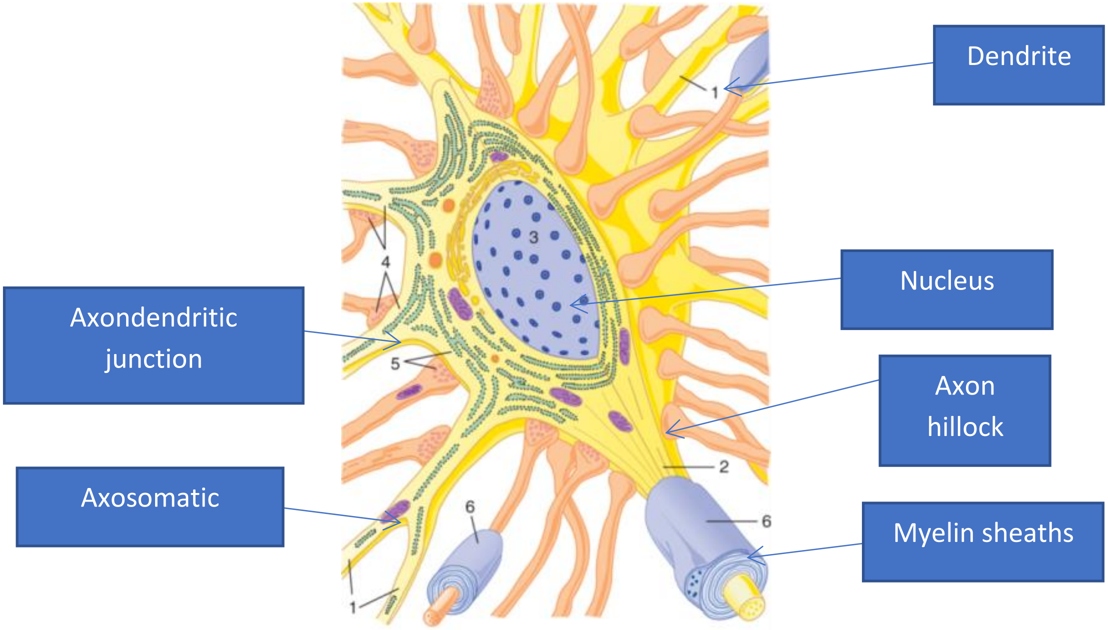
แอกซอนเป็นเส้นประสาทที่ออกจากตัวเซลล์ประสาทส่วนใหญ่มีเพียงแขนงเดียวต่อหนึ่งเซลล์ประสาท แอกซอนมีรูปร่างทรงกระบอกปกคลุมด้วยเมมเบรนและแอกโซเลมมา (axolemma) โครงร่างของ

แอกซอนประกอบด้วยนิวโรฟิลาเมน (neurofilaments) และไมโครทูบูล (microtubules) ตลอดความยาวของแอกซอน โดยไมโครทูบูล มีหน้าที่ในการนำคำสั่งให้รวดเร็ว โมเลกุลเฉพาะสำหรับประสาทสั่งการคือ ไคเนสซิน (Kinesin molecule) จะไปจับกับถุงที่บรรจุสารสื่อประสาท (synaptic vesicle) และนำส่งผ่าน การเคลื่อนที่ของ adenosine triphosphate (ATP) -consuming ไปตามไมโครทูบูล

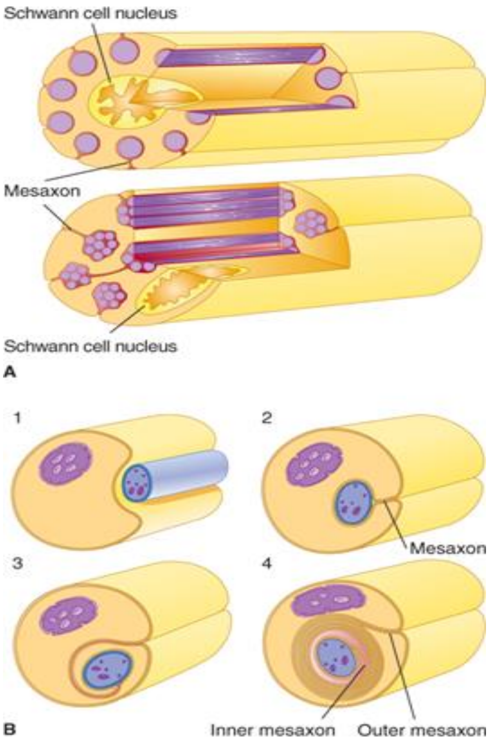
แอกซอนเป็นโครงสร้างพิเศษที่นำคำสั่งออกจากตัวเซลล์ประสาทหรือนำส่งสัญญาณไฟฟ้าจากแอกซอนส่วนต้นที่จะออกจากตัวเซลล์ประสาท (axon hillock) ไปยังส่วนปลายของแอกซอน โดยตรงนี้จะมีความแตกต่างจากทั้งตัวเซลล์ประสาทและแอกซอน คือ จะมีแอกโซเลมมาที่มีช่องของโซเดียมไอออนค่อนข้างหนาแน่นสูงจึงเป็นส่วนที่เริ่มต้นที่จะทำหน้าที่เป็นทริกเกอร์โซน (trigger zone) ถือเป็นจุดกำเนิดของสัญญาณประสาทในรูปแบบของแอคชันโพเทนเทียล (action potential) แล้วส่งต่อไปตามความยาวของแอกซอน และไปสิ้นสุดที่ส่วนปลายของแอกซอน (axon terminal, bouton) บริเวณ axon hillock จะไม่มีสารที่ชื่อนิสเซลสับแตน (Nissl substance) จาก axon hillock ไปจนถึงส่วนปลายของแอกซอน จะมีรูปร่างคล้าย ๆ รูปกรวย (cone shaped) แอกซอนจะมีความยาวหลายขนาดขึ้นกับตำแหน่ง ที่มีขนาดสั้น เช่นแอกซอนของอินเตอร์นิวรอน (interneuron) ส่วนแอกซอนที่มีขนาดยาว เช่น เส้นประสาทที่ออกจากไขสันหลังไปยังกล้ามเนื้อที่เท้า และขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแอกซอนจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป เริ่มตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร ไปจนถึง 20 ไมโครเมตร

ไมอีลิน (myelin)

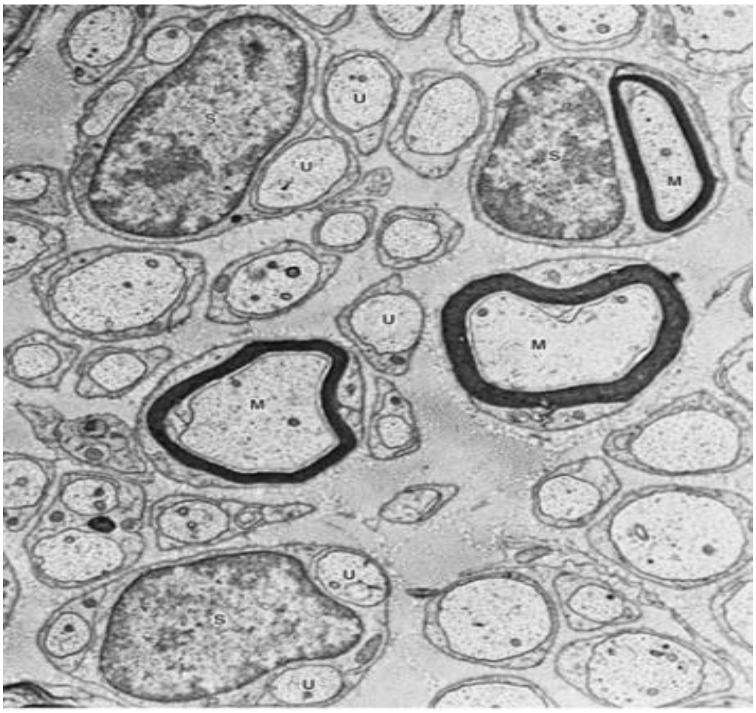
แอกซอนบางเส้นจะถูกปกคลุมด้วยเยื่อไมอีลิ เยื่อไมอีลินประกอบด้วยชั้นไขมันหลาย ๆ ชั้น โดยในระบบประสาทส่วนปลาย ไมอีลินจะถูกสร้างจากชวานเซลล์ (Schwann cells)) ในระบบประสาท ส่วนกลางสร้าจากโอลิโกเดนโดรไซต์ (oligodendrocytes) ซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของเซลล์ glial (รูปที่ 1-16 , 1-17 , 1-18 และ 1-19) ปลอกไมอีลินแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร และมีช่องว่างที่ไม่มีไออีลินคั่นแต่ละส่วนขนาดยาวประมาณ 1 ไมโครเมตร เรียกว่า โหนดออฟเรนเวีย (node of Ranvier) แต่ในแอกซอนที่มีขนาดเล็กจะไม่มีไมอีลินหุ้ม เรียกว่าอันไมอีลินเนสเตต (unmyelinated) เยื่อหุ้มไมอีลินมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าจึงไม่สามารถนำส่งกระแสไฟฟ้าหรือสัญญาณประสาทได้ ดังนั้นเส้นประสาทที่มีเยื่อหุ้มไมอีลินจะทำหน้าที่ในการเพิ่มความเร็วของการนำกระแสประสาทไปบนแอกซอน เพราะกระแสประสาทจะถูกนำแบบกระโดด (salutatory conduction) จากโหนดออฟเรนเวียหนึ่งไปยังอีกโหนดออฟเรนเวียหนึ่ง เป็นเหตุผลว่าเส้นประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจึงนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าเส้นประสาทที่ไม่มีเยื่อไหมอีลินหุ้ม



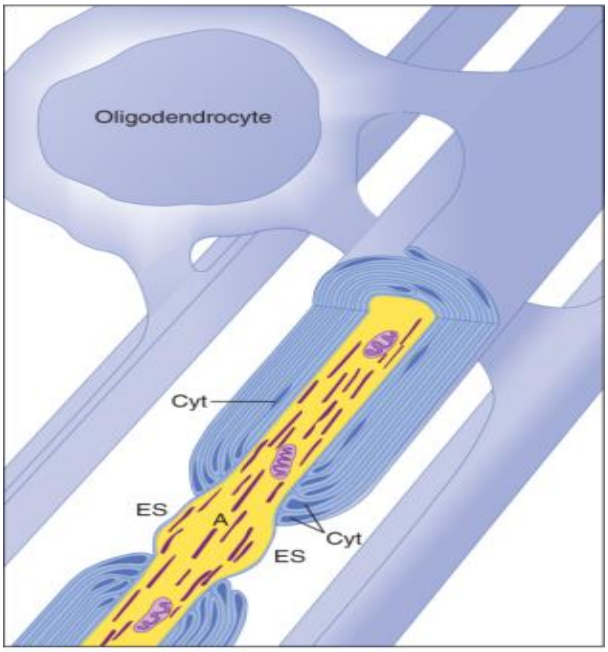
รูปที่ 1-16 จากรูปเป็นภาพสามมิติของเซลล์ประสาท เดนไดร์ (dendrites) (1) เป็นแขนงที่แตกออกจากเซลล์ประสาท ที่โดยในตัวเซลล์ประสาทจะมีนิวเคลียส (3) ส่วนต้นของแอกซอนที่เริ่มออกจากตัวเซลล์ประสาท (2) จุดเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับเดนไดร์ เรียกว่า แอกโซเดนไดร์ติก (Axodendritic) (4) จุดเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับตัวเซลล์ประสาท เรียกว่าแอกโซโซมาติก (axosomatic) (5) เยื่อไมอีลินที่หุ้มเส้นประสาท (6) จะพบตามความยาวของแอกซอน ที่มา: ดัดแปลงจาก Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 10.



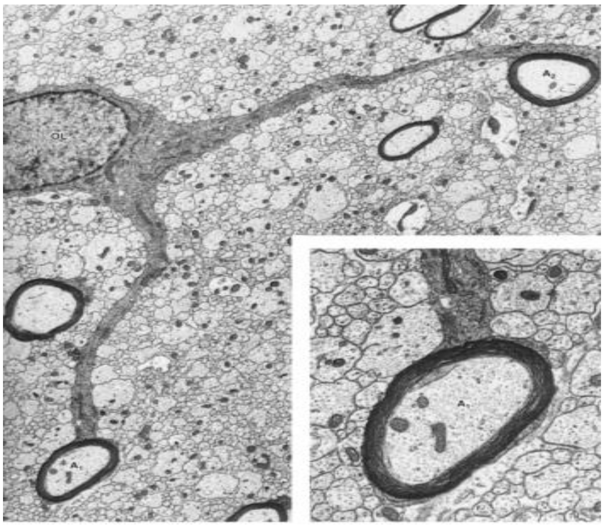
รูปที่ 1-17 A: ในระบบประสาทส่วนปลายแอกซอนที่ไม่มีไมอีลินหุ้ม (unmyelinated) จะวางตัวอยู่ภายในร่องในชวานเซลล์ B: เส้นประสาทที่มีไมอีลินหุ้ม (myelinated) จะถูกหุ้มด้วยเยื่อไมอีลินที่สร้างจากชวานเซลล์ที่สร้างไมอีลินมาหุ้มรอบแอกซอนแบบเฉียง จากภาพ 1-4 แสดงขั้นตอนของการสร้างเยื่อไมอีลิ ที่เส้น ประสาทส่วนปลาย ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 11.



รูปที่ 1-18 จากรูปเป็นภาพจากกล้องอิเล็กตรอน แสดงส่วนของแอกซอนที่มีเยื่อหุ้มไมอีลิน (myelinated) (M) และ แอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม (unmyelinated) (U) ในระบบประสาทส่วนปลายมีชวานเซลล์ (S) ที่ล้อมรอบเส้นประสาทหนึ่งเส้น หรืออยู่รอบๆ เส้นประสาทที่ไม่มีไมอีลินหุ้มหลาย ๆ เส้น ขนาดแอกซอน × 6,000. ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 12.



รูปที่ 1-19 จากรูปแสดงถึงโอลิโกเดนโดรไซด์ (oligodendrocytes) ในระบบประสาทส่วนกลางที่ทำหน้าที่สร้างเยื่อหุ้มไมอีลิน โอลิโกเดนโดรซต์ตัวเดียวสร้างเยื่อหุ้มไมอีลินให้แอกซอนประมาณ 2-50 เส้น และภายในโอลิโกเดนโดรไซต์ มีไซโตพลาสซึมเพียงเล็กน้อย (Cytoplasm: Cyt.) โอลิโกเดนโดรไซต์จะส่งแขนงไปพันเป็นเกลียวรอบแอกซอนในรูปแบบไมอีลิน ทำให้มีการเชื่อมต่อกันระหว่างเส้นประสาทกับตัวเซลล์ของ โอลิโกเดนโดรไซต์ จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่จะอธิบายได้ว่าเมื่อมีการบาดเจ็บของเส้นประสาทในระบบปรสาทส่วนกลางจึงทำให้มีการสร้างไมมีอีลินขึ้นมาใหม่ (remyelination)ได้ไม่ค่อยดี อีกทั่งระหว่างกระเปาะของไมอีลินแต่ละส่วนถูกคั้นด้วยโหนดออฟเรนเวียร์ของแอกซอนมีการสัมผัสกับภายนอกโดยที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม (ES) (A) ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 13.



รูปที่ 1-20 จากรูปเป็นภาพจากกล้องอิเล็กตรอน แสดงถึงโอลิโกเดนโดรไซต์ (OL) ในไขสันหลังซึ่งได้ 2 เส้นที่มีไมอีลินหุ้ม (myelinated)(A1 , A2) × 6600. จากภาพแอกซอนใน A1 แสดงโดยกำลังขยายสูง จะเห็นไมอีลินเป็น เกลียวของเมมเบรนอยู่รอบ ๆ แอกซอน ส่วนของไซโตพลาสซึมของโอลิโกเดนโดรไซต์จะยื่น ออกมาเพื่อสร้างเยื่อไมอีลิน จึงทำให้ไมอีลินมีความต้านทานไฟฟ้า และเป็นฉนวนไฟฟ้ารอบแอกซอน × 16,000. ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 14.

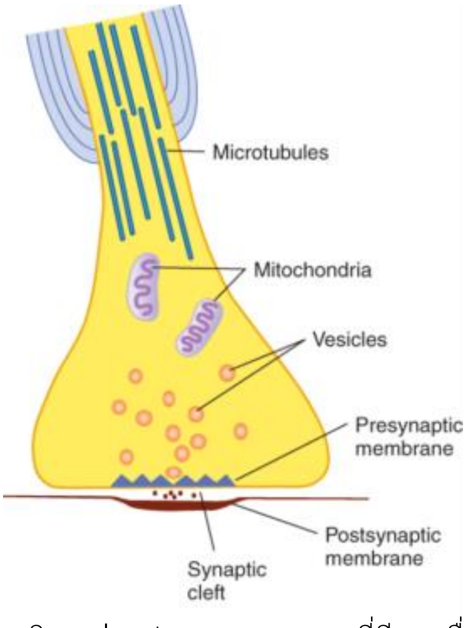
การขนส่งภายในแอกซอน (Axonal Transport)

นอกเหนือจากการนำสัญญาณประสาทให้ไปตามความยาวของแอกซอนแล้ว กระบวนการขนส่งสัญญาณประสาทจากตัวเซลล์ไปยังบริเวณแอกซอนส่วนปลาย (synaptic terminal) ในรูปแบบการนำกระแสประสาทไปในทิศทางเดียวคือออกจากตัวเซลล์เรียกว่าการขนส่งแบบแอนเทอโรเกท (anterograde transport) ในแอกซอนจะมีโปรตีนที่ชื่อไรโบโซม (ribosome) ส่วนโปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่จะเคลื่อนย้ายไปอยู่ในแอกซอน การขนส่งภายในแอกซอนมีความแตกต่างกันทั้งปริมาณและองค์ประกอบของการเคลื่อนย้าย จึงทำให้ความเร็วในการนำกระแสประสาทไม่เท่ากัน เช่นการขนส่งแบบแอนโทรเกท anterograde เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว (ได้ถึง 400 มิลลิเมตร / วัน) หรือช้า (ประมาณ 1 มิลลิเมตร / วัน) การขนส่งแบบรีโทรเกท (retrograde transport) ขนส่งอย่างรวดเร็วที่เกิดขึ้นในแอกซอนเป็นเพราะการทำงานของไมโคร(microtubules) ที่กระจายอยู่ในไซโตพลาสซึมของเซลล์ประสาท

การบาดเจ็บของแอกซอนอาจเกิดจากการถูกตัดหรือการกดทับ ภายหลังจากได้รับบาดเจ็บของแอกซอน เซลล์ประสาทจะตอบสนองโดยการป้อนข้อมูลกลับ หรือเรียกว่า แอกซอนรีแอคชั่น หรือ โครมาโตไลซีส (chromatolysis) โดยทั่วไปภายหลังการบาดเจ็บของแอกซอนภายในระบบประสาทส่วนปลายสามารถงอกใหม่ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะที่ระบบประสาทส่วนกลางมีแนวโน้มที่จะงอกใหม่ไม่ได้

จุดเชื่อมต่อประสาท หรือการส่งสัญญาณประสาท (synapses)

การส่งข้อมูลระหว่างเซลล์ประสาทจะเกิดตรงบริเวณซินส์แนบ (synapses) เกิดขึ้นบริเวณส่วนปลายของแอกซอนทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากเซลล์ประสาทตัวแรก (presynaptic side) ไปยังตำแหน่งรับของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่รับข้อมูล (postsynaptic side) (รูปที่ 1-20) โดยกระบวนการที่เกิดขึ้นนี้มีความซับซ้อนตรงบริเวณซินส์แนบ (synapse) หรือบริวเณเชื่อมต่อของซินส์แนบ (synaptic junction) ดังระบุไว้ในตารางที่ 1-3 การส่งสัญญาณประสาทจากแอกซอนไปยังตำแหน่งของแขนงประสาทเดนไดร์ เรียกว่า แอกโซเดนไดร์ติก (axodendritic) ดังรูปที่ 1-20 หรืออาจจะเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับแขนงย่อยของเดนไดร์ (dendritic spine) ก็ได้ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นการส่งสัญญาณประสาทแบบกระตุ้น (excitatory) ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับตัวเซลล์ประสาทเรียกว่า แอกโซโซมาติก (axosomatic) ซึ่งมักจะนำส่งสัญญาณประสาทแบบยับยั้ง ส่วนการเชื่อมต่ออีกชนิดหนึ่งคือ การเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับแอกซอนเรียกว่า แอกโซแอกโซนิก (axoaxonic) การเชื่อมต่อตรงบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะถูกกระตุ้นให้มีการหลั่งสารสื่อประสาทจากโพสซินแนบติก แอกซอน (postsynaptic axon) ฉะนั้นในตัวเซลล์ประสาทที่รับข้อมูลจะมีการรับข้อมูลมาจากหลาย ๆ ทิศทาง ทำให้มีข้อมูลเป็นพัน ๆ ข้อมูลส่งเข้ามาในตัวเซลล์ประสาทในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 1-22

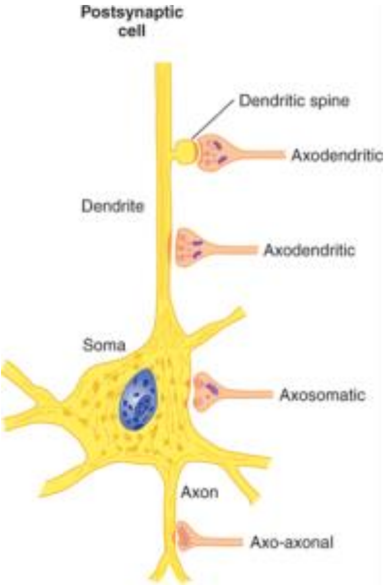


รูปที่ 1-21 จากรูปเป็นภาพพวาด บริเวณส่วนปลายของแอกซอนที่มีการเชื่อมต่อกับ เซลล์ประสาทตัวอื่น ที่บริเวณส่วนปลายของแอกซอนจะมีถุงบรรจุสารสื่อประสาท เรียกว่าซินแนบติกเวสซิเคิล (synaptic vesicle) เมื่อเคลื่อนตัวมาอยู่บริเวณเซล์เมมเบรน (cell membrane) จากนั้นจะปล่อยสารสื่อประสาทออกมายังบริเวณที่เรียว่า ซินแนบติกเครป (synaptic cleft) แล้วสารสื่อประสาทเหล่านั้นจะไปจับกับตัวรับที่เฉพาะเจาะจงตรงบริเวณที่เรียกว่า รีเซปเตอร์ (receptor) ตรงบริเวณโพสซินแนบติกเมมเบรน (postsynaptic membrane) ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 15.

ตารางที่ 1-3 Types of Synapses in the CNS.

Presynaptic Element	Postsynaptic Element	Function
Axon terminal	Dendrite	กระตุ้น (Usually excitatory)
Axon terminal	Cell body	ยับยั้ง (Usually inhibitory)
Axon terminal	Axon terminal	ยั้งยั้งบริเวณเซลล์ตัวแรก (Presynaptic inhibition (modulates transmitter release in postsynaptic axon)
Dendrite	Dendrite	เชื่อมข้อมูลเฉพาะส่วน (Local interactions (may be excitatory or inhibitory) in axonless neurons, e.g., in retina)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27^{th} ed, 2013. Page 12.



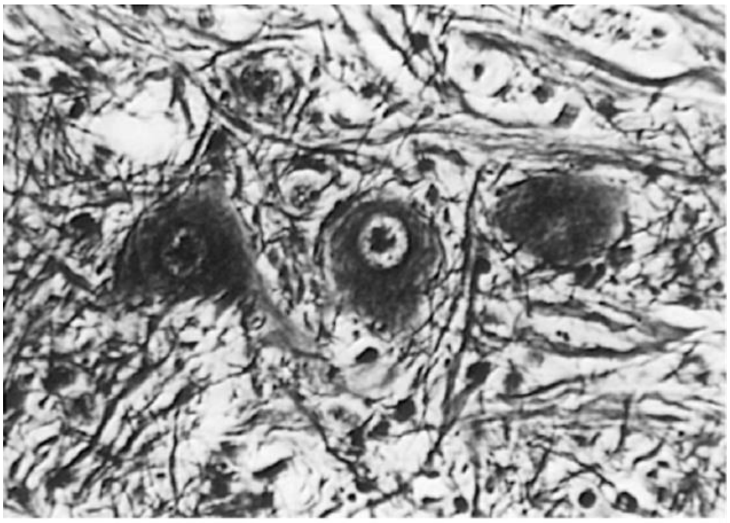
รูปที่ 1-22 แสดงถึงตำแหน่งการเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับเดนไดร์ เรียว่า แอกโซเดนไดร์ติก (Axodendritic) หรือการเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับแขนงย่อยของเดนไดร์ (dendritic spine) ส่วนใหญ่จะนำคำสั่งเกี่ยวกับการกระตุ้น ส่วนตำแหน่งที่เชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับเซลล์ประสาทโดยตรงเรียกว่าแอกโซโซมาติก (Axosomatic) ส่วนใหญ่ส่งสัญญาณประสาทแบบยับยั้ง การเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับแอกซอน เรียกว่า แอกโซแอกโซนอล (Axoaxonal) มักจะเกิดบริเวณให้ขั้วของซินแนบทำให้มีการปรับเปลี่ยนการเปิดปิดของถุง

บรรจุสารสื่อประสาทออกไปยังเซลล์ประสาทตัวต่อไป ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 15.

จะเห็นว่าการส่งสัญญาณประสาทตรงบริเวณซินแนบติกเทอร์มินอล (synaptic terminal) จะเกี่ยวข้องกับการขนส่งสารเคมีระหว่างเซลล์ หากมีการส่งสัญญาณประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งโดยตรงเรียกว่าอิเล็กติคอลซินแนบ (electrical synapse or jap junctions) แต่การส่งสัญญาณประสาทแบบนี้ส่วนใหญ่จะพบในสัตว์ที่ไม่มีกระดูกไขสันหลัง (invertebrate nervous system) แต่จะพบได้ส่วนน้อยในระบบประสาทส่วนกลางของสัตว์ที่มีกระดูกไขสันหลัง ในสัตว์ที่มีกระดูกไขสันหลังการส่งสัญญาณประสาทส่วนใหญ่จะเป็นแบบเคมิคอลซินแนบ (chemical synapses) ซึ่งบริเวณส่วนปลายของแอกซอนจะมีถุงบรรจุสารสื่อประสาท (synaptic vesicles) ที่เฉพาะเจาะจงต่อสารสื่อประสาททำให้มีลักษณะถึงที่แตกต่างกันออกไปของการส่งสัญญาณประสาท กระบวนการขนส่งสัญญาณประสาทแบบเคมีคอลซินแนบจะเริ่มจากซินแนบติกเวสซิเคิลถูกนำมาวางบริเวณเยื่อหุ้มส่วนปลายของแอกซอนตัวแรก (presynaptic membrane) ดังรูปที่ 1-22 กล่าวถึงซินแนบติกเวสซิเคิลที่มีสารสือประสาทบรรจุอยู่ในถุงเล็กอยู่ข้างในอีกที (small packet or quanta) เมื่อมีการกระตุ้นสัญญาณประสาทดีโพลาไรซ์จนเกิดแอคชั่นโพเทนเทียล (depolarized up to action potential) มาถึงส่วนปลายของแอกซอน ในขณะเดียวกันจะมีการไหลของแคลเซี่ยมเข้ามาที่ปลายแอกซอนด้วย เพื่อทำให้เกิดกระบวนการฟอสโฟริเลชั่นของซินแนบซิน (phosphorylation of synapsins: กระบวนการสร้างโปรตีนซินแนบซิน) โปรตีนซินแนบซินจะทำหน้าที่ชักนำเอาถุงบรรจุสารสื่อประสาทที่เฉพาะเจาะตรงต่อตัวกระตุ้นนั้นๆ มาฝังตัวตรงบริเวณเยื่อหุ้มบริเวณปลายแอกซอน แล้วปล่อยสารสื่อประสาทออกมาอยู่บริเวณซินแนบติกเครป บริเวณรอยเชื่อมต่อของเซล์ประสาทที่ส่งสัญญาณประสาทแบบเคมิคอลซินแนบจะมีความหลากหลายของถุงบรรจุสารสื่อประสาททั้งรูปทรงและคุณสมบัติ อาทิเช่น สารสื่อประสาทบางชนิดจะทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้น บางตัวทำหน้าที่ยับยั้ง ตัวอย่างสารสื่อประสาท อะซิติวโคลิน (acetylcholine) เป็นหนึ่งในแคทตาโคลามิน (catecholamines: ทำหน้าที่กระตุ้น) ถุงบรรจุสารสื่อประสาทมีทั้งขนาดใหญ่และเล็ก บางถุงจะมีความหนามาก บางถุงจะบาง ถุงที่มีลักษณะแบน ๆ จะบรรจุสารสื่อประสาทชนอดยับยั้ง แต่ถ้าเป็นถุงที่มีขนาดใหญ่และหนาจะบรรจุสารสื่อประสาทประเภทแคตาโคลามิน

นอกเหนือจากการหลั่งสารสื่อประสาทจากบริเวณส่วนปลายของแอกซอนไปยังซิแนบติกเครปที่ต้องอาศัยการทำงานของแคลเซียมแล้ว ยังมีการหลั่งสารสื่อประสาทจากปลายแอกซอนโดยไม่ต้องใช้หรือขึ้นอยู่กับแคลเซียมแต่จะขึ้นอยู่กับโมเลกุลที่ต้องการขนส่ง (transporter molecule) ตรงบริเวณซินแนบติดเครป ในเปลือกสมองและสมองน้อยมีการรวมกลุ่มของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่คล้าย ๆ กัน ทำให้เกิดเป็นชั้นหลาย ๆ ชั้นรวมกันเรียกว่าลามินา (layer to form laminas) ส่วนการรวมตัวกันของกลุ่มของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่คล้าย ๆ กันในไขสันหลัง ก้านสมอง และบางส่วนของซีรีเบลรัม จะเรียกว่านิวเครียส (nucleus or nuclei) ในเซลล์ประสาทแต่ละตัวจะมีการส่งแอกซอนออกมา (projection neuron) เพื่อนำคำสั่งจากตัวเซลล์ประสาทไปตามแอกซอน ส่วนของอินเตอร์นิวรอน (interneurons) จะมี ที่อยู่ในระบบประสส่วนกลางทำหน้าที่เปรียบเสมือนที่พักสัญญาณประสาทชั่วคราว (relays) ก่อนที่จะส่งต่อ ในระบบประสาทส่วนปลายการ

รวมตัวของกลุ่มนิวเคลียส เป็นปมประสาทรียกว่าแกงแกลีย (ganglia) กลุ่มของเซลล์ประสาทที่รวมตัวกันขึ้น จะเชื่อมต่อกับกลุ่มอื่นด้วยทางเดินที่เกิดจากการรวมตัวกันของแอกซอนภายในกลุ่มเรียกว่าบันเดิล (bundles)



หากเป็นการรวมกลุ่มกันของแอกซอนที่มีจุดตั้งต้นที่เดียวกันไปสิ้นสุดที่เดียวกันจะเรียกว่าแทรค (tracts or fasciculi) ในไขสันหลังหลาย ๆ แทรคมารวมกันเรียกว่า คลอลัมน์ หรือ ฟันนิคิวลัส (columns or funiculi) ในสมองบางแทรคจะเรียกว่าเลมนิสคัส (lemniscus) แต่ในบางพื้นที่ของสมองจะมีจะมีการเชื่อมต่อของแอกซอนไปยังเดนไดร์ทำให้แอกซอนไม่ไปตามทิศทางของแอกซอนในกลุ่มเดียวกันทำให้ยากที่จะแยกว่ามีทิศทางไปทางไหนจึงทำให้เรียกเครือข่ายนี้ว่านิวโรพิล (neuropil) ดังรูปที่ 1-23

รูปที่ 1-23 แสดงภาพจากกล้องไมโครสโคป ทำให้เห็นกลุ่มของเส้นใยประสาทอยู่รอบ ๆ อยู่รอบตัวเซลล์ประสาทโดยจะเห็นภาพของกลุ่มตัวเซลล์ประสาทเป็นสีขาวอยู่ข้างในเรียกว่านิวเคลียส ส่วนของเส้นใยที่พันรอบ ๆ ตัวเซลล์ที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างแอกซอนกับเดนไดร์เรียกว่านิวโรพิล (neuropil) = × 800 ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 15.

เกลียเซลล์ หรือเซลล์ค้ำจุนประสาท (Neuroglia)

นิวโรเกลี่ยหรือเรียกว่าเกลี่ยเซลล์ในระบบประสาทจะมีจำนวนมากกว่าเซลล์ประสาท ในสมองและเส้นประสาทไขสันหลังประมาณ 10 เท่า เกลี่ยเซลล์เหล่านี้ไม่ได้มีหน้าที่ในการนำกระแสประสาท แต่มีบทบาทในการสร้างเยื่อหุ้มเส้นประสาท การชี้นำทิศทางให้เส้นประสาทงอกไปในช่วงที่มีการพัฒนาของระบบประสาท ทำหน้าที่รักษาความเข้มข้นของระดับโปแทสเซียมที่อยู่ภายนอกเซลล์ และทำหน้าที่ในการนำเอาสารสื่อประสาทที่ใช้แล้วกลับเข้าสู่เซลล์ประสาท เกลียเซลล์แบ่งได้เป็นสองสองชนิดหลัก ๆ คือไมโครเกลี่ย และแมคโครเกลี่ย (macroglia and microglia) ดังตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1–4 Glial Cell Type by location and basic function

CNS glia	PNS Glia	Basic function
Astrocyte	Satellite cell	ค้ำจุล หรือ support (Support)
Oligodendrocyte	Schwann cell	ฉนวนกันความร้อน และสร้างเยื่อหุ้มเส้นประสาท (Insulation and myelination)
Microglia	-	เป็นอิมมูลทำให้มีความคงอยู่และทำลายสิ่งแปลกปลอม (Immune surveillance and phagocytosis)
Ependymal cell	-	สร้างน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง (creating CSF)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Betts JG, Desaix P, Jhnson E, Korol O, Kruse D, Ooe B et al. Anatomy and Physiology. Taxus, United Stage: Rice university; 2017. Page 515.

แมคโครเกลี่ย (Macroglia)

แมคโครเกลี่ย หมายถึง แอสโตไซต์ (astrocytes) และโอลิโกเดนโดรไซต์ (oligodendrocytes) ซึ่งเซลล์ทั้งสองเจริญมาจากชั้นเอ็คโตเดิมในช่วงที่เป็นเอ็มบริโอ (ectoderm) จะทำหน้าที่เกียวข้องกับการงอกใหม่ของเส้นประสาท

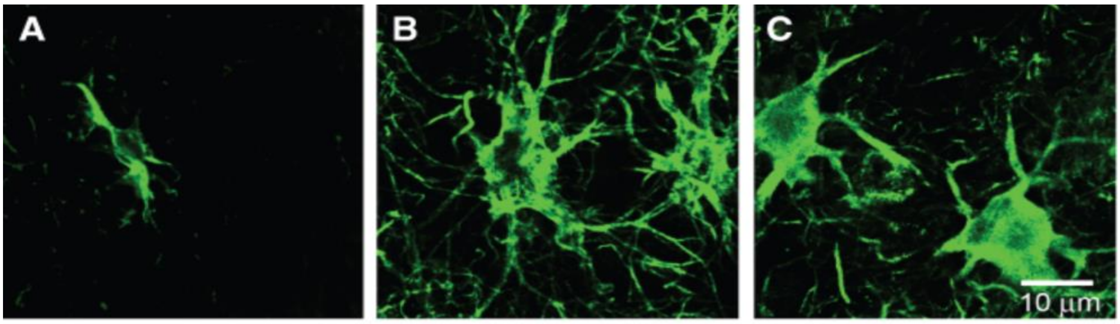
แอสโตรไซต์ (astrocytes)

แอสโตไซต์ส่วนใหญ่ที่รู้จักมักมีสองชนิดคือ โปรโตพลาสมิค (protoplasmic) และ ไฟบัส (fibrous) โปรโตพลาสมิคแอสโตไซต์มีแขนงย่อยค่อนข้างเยอะและมักพบในส่วนเนื่อสีเทาของสมอง ส่วนของไฟบัสแอสโตไซต์จะเป็นไฟบัสมีแขนงไม่เยอะเมื่อเทียบกับโปรโตพลาสมิคแอสโตไซต์ที่ภายในแขนงจะมีเกลียไฟบริลเป็นองค์ประกอบ แขนงของแอสโตไซต์จะออกจากตัวเซลล์ที่มีขนาดเล็กไปทุกทิศทางรอบ ๆ ตัวเซลล์ และแขนงที่ออกมาจะล้อมรอบระบบไหลเวียนเลือดของระบบประสาทและครอบคลุมไปจนถึงผิวนอกของสมองและไขสันหลังแต่อยู่ภายใต้ชั้นเยื่อหุ้มสมองที่ชื่อว่าเพีย (pia matter)

แอสโตไซต์ทำงานคือค้ำจุนโครงสร้างของเนื้อเยื่อประสาทและทำหน้าที่ในช่วงที่มีการพัฒนาของระบบประสาทคือเปรียบเสมือนเซลล์พี่เลี้ยงที่จะนำทางให้กับการเจริญเติบโตของแอคซอน และทำหน้าที่ในการรักษาสมดุลย์ของระดับโพแตทเซี่ยมไอออนที่อยู่ภายนอกเซลล์ของสมองและไขสันหลังให้มีความเหมาะสม นอกจากนี้แอสโตไซต์ยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งสารสื่อประสาท เพราะหลาย ๆ รอยเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทจะมีการเชื่อมต่อกับแขนงของแอสโตไซต์ ทำให้มีผลต่อการนำสารสื่อประสาทที่ใช้แล้วหรือสารสื่อประสาทที่ไม่ได้ใช้กลับเข้าสู่เซลล์ แอสโตไซต์ยังมีการเชื่อมต่อกับส่วนของเอนโดรทีเลียมเซลล์ (endothelial cells) ในระบบประสาทส่วนกลางและจับกับเซลล์ประสาทแบบไทต์จังชั่น (tight junctions) ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการขนส่งสารที่มีขนาดใหญ่ระหว่างหลอดเลือดแดงฝอย (capillary epithelium) ไปยังระบบประสาท จึงเปรียบเสมือนตัวกลางคอยส่งผ่านสารต่าง ๆ ระหว่างระบบไหลเวียนเลือดกับเซลล์ประสาทเรียกว่า

บลัดเบรนแบริเออ (blood-brain-barrier) ทำให้มีการเลือกสารที่จะผ่านเข้าออกไปยังเซลล์ประสาทเพื่อให้มีความเหมาะสมของสภาพแวดล้อมต่อการทำงานของระบบประสาท

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการศึกษาภายหลังการได้รับบาดเจ็บของระบบประสาทส่วนกลางจะพบว่าการงอกใหม่ของเส้นประสาทเป็นไปได้ค่อนข้างยาก เนื่องมาจากในช่วงที่มีการบาดเจ็บแขนงของแอสโตไซต์จะพัฒนาออกมาค่อนข้างเยอะจนปกคลุมทิศทางที่เส้นประสาทที่จะงอกออกมาช่วงนี้จะทำให้การย้อมด้วยสีแล้วดูใต้กล้องจะเห็นขนาดของแอสโตไซต์ได้ชัดเจน เพราะภายในแอสโตไซต์จะมีโปรตีนเฉพาะคือ เกลี่ยไฟบริลารีอะซิดิก (Glial Fibrillary Acidic Protein: GFAP) ในกรณีที่เป็นการบาดเจ็บเรื้อรัง (chronic injury) จะทำให้มีการเจริญของแอสโตไซต์ค่อนข้างมากจนทำให้เกิดการม้วนเป็นปมหรือเป็นแผลเป็นของแขนงแอสโตไซต์เรียกว่าไกบลโอซิสหรือเกลี่ยสการ์ (gliosis or glia scaring) แล้วทำให้ขัดขวางการงอกใหม่ของเส้นประสาท



รูปที่ 1-24 แสดงไมโครกราฟ แสดงแอสโตไซต์ภายในมองของมนุษย์ปกติ (A) และภายในสมองของผู้ป่วยที่มีเส้นโลหิตตีบเรื่อรังจะมีรอยแผลเป็นให้เห็นชัดเจน (B) และแอสโตไซต์ภายในสมองของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง (C) หมายเหตุ ขนาดของแอสโตไซต์ที่มีขนาดใหญ่ปละหนาขึ้นจากการมี glia scaring (A-C) บาร์ = 10 ไมโครเมตร ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013.

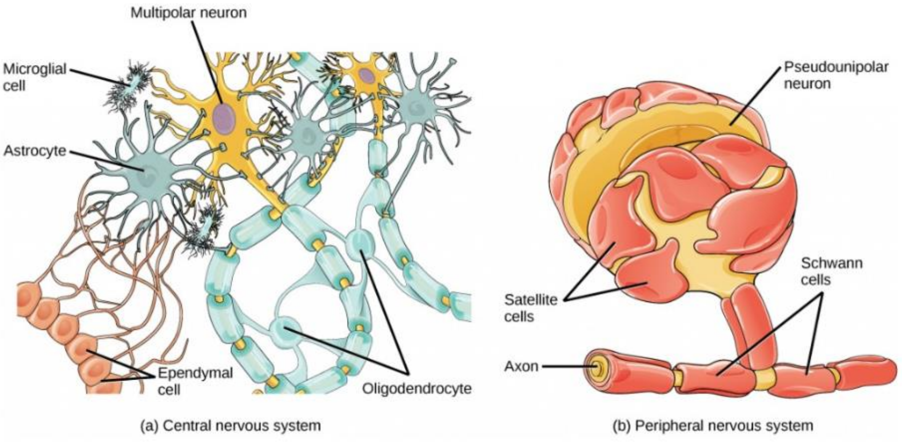
โอลิโกเดนโดรไซต์ (oligodendrocytes)

โอลิโกเดนโดรไซต์ จะพบได้ในเนื้อสมองสีขาวของระบบประสาทส่วนกลาง โดยจะยื่นแขนงไปโอบรอบเส้นของแอกซอนและจะยื่นส่วนของโอลิโกเดนโดรเกลี่ยไซโตพลาสซึม(oligodendroglia cytoplasm) ไปจับกับแอกซอนเพื่อสร้างเยื่อหุ้นแอกซอนทำให้บริเวณที่ถูกหุ้มด้วยเยื่อหุ้มดังกล่าวไม่สามรถนำกระแสประสาทได้เพราะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ดังนั้นกระแสประสาทจึงสามารถกระโดดข้ามบริเวณดังกล่าวได้ นอกจากนี้โอลิโกเดนโดรไซต์ยังทำหน้าที่เกี่ยวกับการค้ำจุนเซลล์ประสาททั้งในด้านสภาพแวดล้อมและด้านสารอาหารของระบบประสาท ในโอลิโกเดนโดรไซต์หนึ่งตัวสามารถที่จะส่งแขนงไปโอบรอบได้หลายๆ แอกซอนเพื่อสร้างเยื่อหุ้มไมอีลีน (ประมาณมากกว่า 30-40 แอกซอน) ดูรปที่ 1-19 และ 1-20 ในระบบประสาทส่วนปลายเยื่อหุ้มไมอีลินจะถูกสร้างจากชวานเซลล์และแต่ละชวานเซลล์ จะสร้างเยื่อไมอีลินให้ได้แค่แอกซอนเดียวดังนั้นการสร้างเยื่อไมอิลินในระบบประสาทส่วนปลายภายหลังได้รับบาดเจ็บจึงสร้างได้ง่ายกว่าในระบบประสาทส่วนกลาง

ไมโครเกลี่ย (microglia)

ไมโครเกลี่ยเป็นเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ที่จะทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในเซลล์ประสาทหรือทำหน้าที่เปรียบเสมือนคนเก็บขยะภายในระบบประสาทส่วนกลาง คอยตรวจสอบสิ่งผิกปกติและทำลายสิ่งแปลกปลอมที่เข้ามาในสมองและไขสันหลัง ยกตัวอย่างเช่น แบคทีเรีย เมื่อไหร่ก็ตามที่ตำแหน่งของสมองหรือไขสันหลังได้รับบาดเจ็บหรือเกิดการติดเชื้อ จะเกิดการทำงานของไมโครเกลี่ยทำให้มีการเพิ่มขึ้นของไมโครเกลี่ยตรงตำหน่งที่ได้รับบาดเจ็บเพื่อที่จะเคลื่อนย้ายเศษขยะหรือสิ่งแปลกปลอมเหล่านั้นออกไปจากเซลล์ประสาท ไมโครเกลี่ยบางชนิดจะพบเฉพาะในสมองแต่เมื่อมีการบาดเจ็บหรืออักเสบเกิดขึ้นจะทำให้มีการเคลื่อนย้ายของไมโครเกลี่ยตัวอื่นมาช่วยผ่านทางระบบไหลเวียนเลือด ฉะนั้นหน้าที่ที่สำคัญของไมโครเกลี่ยคือคอยปกป้องระบบประสาทจากสิ่งแปลกปลอมอาทิเช่น แบคที่เรีย นอกจากนี้ไมโครเกลี่ยยังมีหน้าที่ทำลายเนื้อเยื่อสมองที่ตายหลังจากขาดเลือดในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง แต่ปัจจุบันนี้ยังไม่ทราบแน่ชัดว่าหน้าที่ของไมโครเกลี่ยในโรคเหล่านี้ทำหน้าที่เพื่อปกป้องระบบประสาทหรือทำให้มีการปรับตัวที่ผิดปกติต่อสิ่งที่เกิดขึ้นภายในสมอง (protection or maladaptive)

ในระบบประสาทส่วนกลางมี การทำงานร่วมกันของเซลล์ค้ำจุนประสาทดังแสดงในรูปที่ 1-25



รูปที่ 1-25 แสดงเซลล์ค้ำจุนประสาทส่วนกลาง (a) ที่ประกอบไปด้วย astrocyte ทำหน้าที่จับกับเส้นประสาทและเส้นเลือดฝอยแบบ tight junction ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนสารอาหารต่าง ระหว่างระบบประสาทและระบบไหลเวียนเลือดจึงเรียกว่า Blood-Brain-Barrier, oligodendrocytes ทำหน้าที่ในการสร้างเยื่อหุ้มเส้นประสาท, microglia ทำหน้าที่ในการป้องกันระบบประสาท, and ependymal ทำหน้าที่ในการร่วมผลิตน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง และเซลล์ค้ำจุนประสาทส่วนปลาย (b) schwann cell สร้างเยื่อหุ้มใยประสาท satellite cells และ pseudounipolar neuron ที่มา: Charls M. Jane G. Concepts of biology. 1st Canadian ed. OpenStax college: Canada; 2013. Page 660.

พื้นที่ภายนอกตัวเซลล์ประสาท (extracellular space)

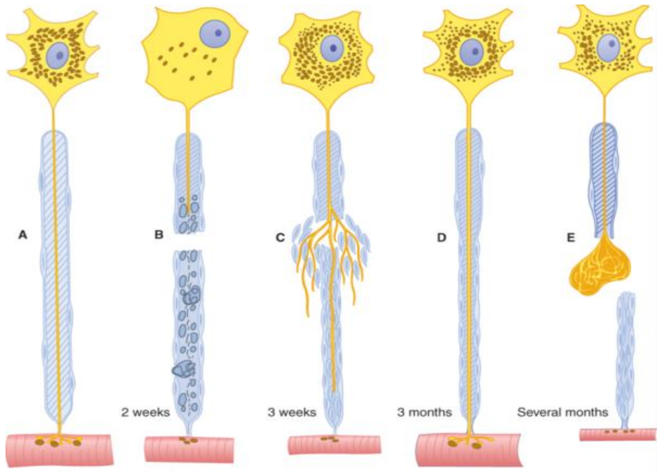
พื้นที่ภายนอกตัวเซลล์ประสาท คือพื้นที่ที่เต็มไปด้วยของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์ประสาท โดยมีประมาตรคิดเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรรวมของระบบประสาทส่วนกลาง เนื่องจากความเข้มข้นของไอออนบางตัวอาทิเช่น โฟแตทเซียมและโซเดียมที่อยู่ในพื้นที่ภายนอกตัวเซลล์ประสาทมีความสำคัญต่อการส่งสัญญาณประสาท ทำให้ต้องมีการควบคุมระดับสมดุลย์ของไอออนดังกล่าว (ionic homeostasis) ซึ่งบางส่วนจะถูกควบคุมโดยแอสโตไซต์ที่จับกับเส้นเลือดฝอยและระบบประส่วนกลางทำให้มีการเลือกที่จะให้สารจากระบบไหลเวียนเลือดผ่านเข้าไปยังระบบประสาทเรียกว่าบัสเบรนแบรีเออร์ (Blood-Brian-Barrier) นี่คือข้อแตกต่างระหว่างเอ็นโดรทีเลียมเซลล์ในเส้นเลือดที่มาเลี้ยงระบบประสาทส่วนกลางกับเซลล์ผนังเส้นเลือดทั่วไป

ความสัมพันธ์ ทางคลินิก (Clinical correlation)

ในภาวะสมองบวมจะมีการเพิ่มขึ้นปริมาตรสมอง ทำให้ความดันภายในโพรงกระโหลกศีรษะสูงขึ้นเนื่องจากเมื่อสมองได้รับบาดเจ็บจะทำให้มีการเลือดไหลออกไปยังบริเวณรอบ ๆ เซลล์ประสาทที่มากเกินไปกอปรกับมีกระโหลกศีรษะที่มีขนาดที่จำกัดทำให้ไม่สามารถขยายได้อีกดังนั้นผู้ป่วยที่มีภาวะสมองบวมจำเป็นต้องได้รับการรักษาทางการแพทย์อย่างเร่งด่วน

การเสื่อมสภาพ และ การงอกใหม่ของเส้นประสาท (Degeneration and Regeneration)

ในสภาวะปกติการทำงานของเส้นประสาทที่สมบูรณ์แบบจะเป็นดังรูปที่ 1-26 ถ้าหากมีการตัดขาดส่วนใดส่วนหนึ่งของแอกซอน ทำให้แยกเป็นส่วนต้นที่ติดกับตัวเซลล์ประสาทและส่วนปลายต่อตัวเซลล์ประสาท และจะทำให้มีการเสื่อมสลายไปของส่วนปลายจะเรียกว่าวอลเลอเลียนดีเจนเนอร์เรวั่น (Wallerian degeneration) เพราะสารที่จำเป็นต่อการคงอยู่ของเส้นประสาทจะส่งจากตัวเซลล์มาตามแอกซอน (axoplasmic transport) ดังนั้นเมื่อไม่สามารถส่งสารเหล่านั้นมาได้จึงทำให้ต้องมีการเสื่อมสลายไปของท่อนปลายของระบบประสาทส่วนกลาง ในระบบประสาทส่วนปลายเมื่อแอกซอนถูกตัดขาดจะมีการเร่งสร้างเยื่อหุ้มไมอีลินขึ้นมาใหม่จากชวานเซลล์และในขณะเดียวกันก็จะมีแมคโครฟาดเซลล์ทำหน้าที่ทำลายหรือกำจัดส่วนของเสียที่คงอยู่ทำให้เอื้อต่อการงอกใหม่ของแอกซอน



รูปที่ 1-26 แสดงการเปลี่ยนแปลงภายหลังจากการได้รับบาดเจ็บของเส้นใยประสาท A: เส้นใยประสาทปกติมีไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ ให้สังเกตตำแหน่งของนิวเคลียสของเซลล์ประสาทและปริมาณและการกระจายของสารนิสเซิลภายในตัวเซลล์ประสาท B: เมื่อเส้นใยได้รับบาดเจ็บนิวเคลียสของเซลล์ประสาทจะย้ายไปชิดขอบนอกของตัวเซลล์สารนิสเซิลจะลดลงเป็นจำนวนมาก (chromatolysis) และเส้นใยประสาทส่วนปลายที่ได้รับบาดเจ็บจะเสื่อมสลายไปพร้อมกับปลอกไมอีลิน C: ภายหลังจากการได้รับบาดเจ็บประมาณ 3 สัปดาห์ จะเห็นกล้ามเนื้อเริ่มมีการฝ่อลีบอย่างเด่นชัด ชวานเซลล์จะเร่งสร้างเยื่อไมอีลินจากส่วนต้นไปยังส่วนปลายที่ได้รับบาดเจ็บอย่างรวดเร็ว ทำให้แอกซอนที่งอกออกมาไปตามทิศทางที่เยื่อไมอีลินถูกสร้างไว้ แอกซอนสามารถงอกได้ในอัตรา 0.5-3 มิลลิเมตร/วัน D: ในระยะเวลา 3 เดือนหลังการบาดเจ็บการงอกใหม่ของเส้นใยประสาทจะเป็นไปอย่างสมบูรณ์ทำให้เส้นใยกล้ามเนื้อก็ถูกสร้างใหม่จากการกระตุ้นของระบบประสาท E: หากการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นไม่ได้รับการรักษาเป็นเวลาหลายเดือนจะทำให้มีการหดเป็นปมของส่วนปลายของตอประสาทส่วนต้น และเริ่มมีการเสื่อมสลายไปของตอประสาทส่วนปลาย ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013.

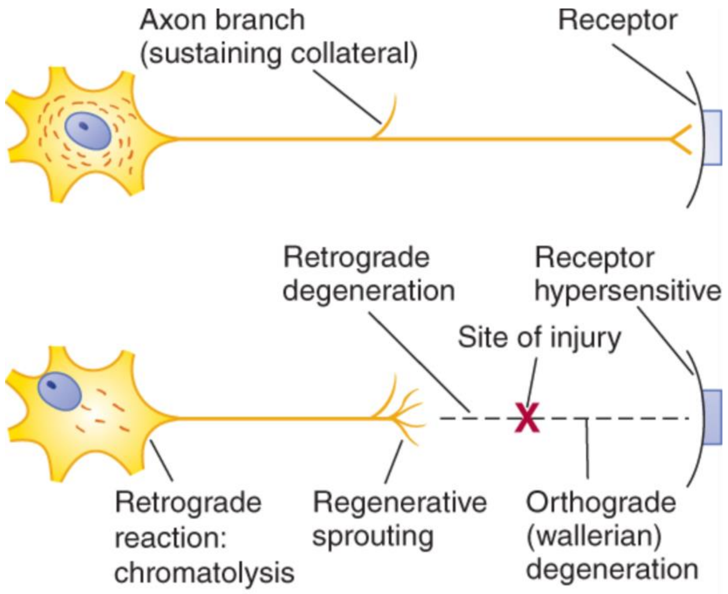
ภายหลังจากได้รับบาดเจ็บที่แอกซอน ตัวเซลล์ประสาทจะมีการเปลียนแปลงของสารที่อยู่ข้างในเซลล์หรือที่เรียกว่า แอกซอนรีแอคชั่น หรือ โครมาโตไลซิส (axon reaction or chromatolysis) รวมไปถึงการเกิดการบวมของเซลล์ประสาท นิวเคลียสมีการย้ายที่จากบริเวณกลางเซลล์ไปยังบริเวณชิดขอบของเซตัวเซลล์ การจัดเรียงตัวของไรโบโซมชนิดขรุขระ (ribosome-studded endoplasmic reticulum: RER หรือเรียกอีกอย่างว่าสารนิสเซิล Nissl) อย่างเป็นระเบียบจะจัดเรียงตัวแบบกระจัดกระจายและถูกแทนที่ด้วย โพลี่ไรโบโซม (polyribosome) ปกติหากมีการย้อมสีของเซลล์ประสาทจะเห็นสารนิสเซิล ได้อย่างชัดเจน แต่เมื่อย้อมสีเซลล์ประสาทภายหลังได้รับบาดเจ็บที่มีการจัดเรียงตัวของ RER ผิดปกติระหว่างแอกซอนรีแอคชั่นจึงทำให้ไม่เห็นสารนิสเซิลภายในตัวเซลล์ประสาทในทางวิทยาศาสตร์จะเรียกว่า โครมาโตไลซีส (chomatolysis) เนื่องจากมีการเชื่อมต่อระหว่างตัวเซลล์ประสาทกับเกลี่ยเซลล์ คือ แอสโตไซต์ ในระหว่างที่เกิดแอกซอนรีแอคชั่นจึงทำให้มีการบวมรอบ ๆ บริเวณของแอสโตไซต์จึงมีการกระตุ้นการทำงานของไมโครเกลี่ยทำให้การงอกใหม่ที่ในระบบประสาทส่วนกลางไม่สมบูรณ์ เนื่องจากบางเซลล์ประสาทจะขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่อกับเซลล์

เป้าหมายที่เหมาะสม ถ้าแอกซอนล้มเหลวในการงอกใหม่ทำให้ไม่มีการเชื่อมต่อใหม่ไปยังโพสซินแนบติกเซลล์ จึงทำให้เกิดการตายหรือฝ่อลีบของอวัยวะเป้าหมายได้

การงอกใหม่ของเส้นประสาท (regeneration)

เส้นประสาทส่วนปลาย (peripheral nerves)

หมายถึง ความสามารถในการงอกใหม่ของเส้นประสาทที่จะไปยังอวัยวะเป้าหมายได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งการทำอวัยวะนั้น ๆ สามารถทำหน้าที่ได้อย่างถูกต้อง ดูรูปที่ 1-27 และ 1-26 ภายหลังเส้นประสาทถูกตัดไป 1-3 วัน ตอประสาทส่วนต้นที่ติดกับตัวเซลล์ประสาทจะเริ่มมีการรวมตัวกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้นหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโกรทโคน (growth cones) และตรงตำแหน่งของโกรทโคนนี่เองจะเริ่มมีการส่งแขนงของแอกซอนออกมาเพื่อที่จะเจริญไปหาอวัยวะเป้าหมาย คล้าย ๆ กับการพัฒนาของแอกซอนในภาวะปกติ การเจริญเติบโตหรือการงอกใหม่จะมีเป็นจำนวนมากของแต่ละแอกซอนซึ่งจะมีความสามารถในการงอกออกจากบริเวณที่ถูกตัดได้แตกต่างกันออกไป หากมีเส้นใดเส้นหนึ่งจากจำนวนหลายๆ เส้นที่งอกออกมาสามารถที่จะยื่นผ่านบริเวณรอยแผลเป็นไปยังท่อนประสาทส่วนปลายที่ถูกตัดขาดออกไปจะถือว่าการงอใหม่นั้นสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อมีการทำงานได้ของอวัยวะเป้าหมายที่เส้นประสาทนั้น ๆ ไปเลี้ยง



รูปที่ 1-27 แสดงบทสรุปของ การเปลี่ยนแปลง ที่เกิดขึ้นในเซลล์ประสาท และโครงสร้างที่เส้นประสาทไปเลี้ยง (innervates) เมื่อแอกซอน ได้รับบาดเจ็บอาจจะเกิดจากการกดทับหรือตัดขาดตรงตำแหน่ง ที่มีจุดเครื่องหมายเอ็กซ์ ที่มา: Chapter 2. Development and Cellular Constituents of the Nervous System. Clinical Neuroanatomy, 27th ed, 2013. Page 17.

ความสำคัญของเยื่อหุ้มไมอีลินที่สร้างจากชวานเซลล์ ในกรณีที่ได้รับบาดเจ็บของเส้นประสาท จะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของการบาดเจ็บ เมื่อเทียบระหว่างการกดทับเส้นกับการขาดของเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย การกดทับเส้นประสาทจะยังคงมีชวานเซลล์ที่อยู่บริเวณตอประสาทส่วนต้นพันรอบ ๆ อยู่ และภายในเส้นประสาทเองจะมีเยื่อหุ้มชั้นกลางชื่อเพอรินิวเรียม (perineurium) ที่มีความต่อเนื่องกันอยู่ทำให้มีการกระตุ้นให้การสร้างเยื่อไมอีลินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นผลทำให้เอื้อต่อการงอกใหม่ของเส้นประสาทที่ได้รับบาดเจ็บจากตอส่วนต้นไปยังตอส่วนปลาย ในทางตรงกันข้ามถ้าเส้นประสาทถูกตัดขาดออกจากกันโดยสิ้นเชิงทำให้ไม่มีความต่อเนื่องของทางเดินเหล่านี้ ถึงแม้จะได้รับการผ่าตัดเพื่อเชื่อมต่อใหม่ก็ยากที่จะจัดเรียงระหว่างตอประสาทส่วนต้นเข้ากับตอประสาทส่วนปลายให้ได้อย่างสมบูรณ์

ในระบบประสาทส่วนปลายการงอกใหม่ของแอกซอนที่จะไปยังอวัยวะเป้าหมาย (reinervate) หากเป็นเส้นประสาทสั่งการจะไปยังกล้ามเนื้อที่ไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง (denervate muscle) จะไม่ปนกันกับระบบรับความรู้สึก เช่นเดียวกันเส้นประสาทที่ต้องไปทำหน้าทีเกี่ยวกับการับความรู้สึกก็จะเฉพาะต่อเส้นประสาทที่รับความรู้สึก เมื่อไหร่ก็ตามหากมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นคือมีการไปงอกใหม่ของเส้นประสาทแล้วไปเลี้ยงกล้ามเนื้อผิดมัด จะเกิดจากการที่มีการงอกใหม่ของแอกซอนเป็นจำนวนมาก และมีหลายเส้นของแอกซอนที่งอกใหม่สามารถไปถึงอวัยวะเป้าหมายได้หลาย ๆ เส้น (anomalous reinnervation) จึงทำให้การเคลื่อนไหวที่แสดงออกมาไม่เหมาะสม อาทิเช่น การเคลื่อนไหว ของขากรรไกรคล้าย ๆ กับการกระพริบตา (jaw-winking) ซึ่งเกิดจากการงอกใหม่ของเส้นประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อตางอกผิดทิศทางภายหลังการได้รับบาดเจ็บ เป็นต้น

ระบบประสาทส่วนกลาง (Central Nerve System: CNS)

การงอกใหม่ของแอกซอนในระบบประสาทส่วนกลางภายหลังได้รับบาดเจ็บจะเกิดขึ้นได้ยาก หรือส่วนใหญ่จะล้มเหลว เหตุผลสำหรับความล้มเหลวในการงอกใหม่ของเส้นประสาทยังไม่ชัดเจน นักประสาทสรีรวิทยาสมัยก่อนเชื่อว่าน่าจะเป็นผลมาจากการเกิดแผลเป็นบริเวณปลายประสาทที่ไดรับบาดเจ็บทีเกิดจากการรวมตัวกันของแอสโตไซต์ และการทำงานของโอลิโกเดนโดรไซต์ทำหน้าที่ในการสร้างเยื่อหุ้มไมอีลินก็จะแตกต่างจากระบบประสาทส่วนปลายจึงทำให้ความสามารถในการงอกใหม่ของเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนกลางเกิดขึ้นได้ยากกว่าในระบบประสาทส่วนปลาย เมื่อเร็ว ๆ นี้ได้มีงานวิจัยที่พบว่าการเกิดแผลเป็นตรงบริเวณที่ได้รับบาดเจ็บจะไม่มีการงอกใหม่ของแอกซอนออกมา และมีการหลั่งสารบางอย่างออกมาจากโอลิโกเดนโดรไซต์ขณะที่มีการสร้างเยื่อไมอีลินใหม่คาดว่าน่าจะเป็นสารที่ยังยั้งการงอกใหม่ของเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง ปัจจุบันเป็นที่รู้กันว่าโมเลคิวที่ยับยั้งการงอกใหม่ของแอกซอนชื่อโนโก (NoGo) ซึ่งเป็นตัวสัญญาณที่บ่งบอกถึงว่าไม่มีการงอกใหม่ของเส้นประสาทส่วนกลาง ต่อมาได้มีการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าการทำงานของ Nogo จะส่งเสริมให้มีการงอกใหม่ของเส้นประสาทในไขสันหลังหากจัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมและเอื้อต่อการงอกของแอกซอนโดยจำลองสิ่งแวดล้อมให้เหมือนกับในระบบประสาทส่วนปลายทำให้มีการงอกใหม่ของแอกซอนไปได้ประมาณเล็กน้อย แต่มีบางแอกซอนที่สามารถงอกออกไปจนถึงเป้าหมายได้อย่างเหมาะสม

การงอกใหม่ของเส้นประสาท (Remyelination)

ความผิดปกติของระบบประสาทส่วนปลาย เช่นกิลเลียนเบอร์เรซินโดรม (Guillain –Barre syndrome) เป็นความผิดปกติที่มีการเสื่อมสลายไปของเยื่อไมอีลินเรียกว่าดีไมอีลินเนชั่น (demyelination) ทำให้การนำสัญญาณประสาทถูกรบกวน ในกรณีนี้เป็นการเกิดขึ้นในระบบประสาทส่วนปลายจึงทำให้มีการงอกใหม่ของแอกซอน (remyelination) โดยชวานเซลล์ ในทางตรงกันข้ามการงอกใหม่ของเส้นประสาทในระบบประสาทส่วนกลางจะมีโอกาศเกิดขึ้นได้น้อยมาก อาทิผู้ป่วยที่เป็นมัลติเปิ้ลสเคอโรซีส (Multiple Sclerosis: MS) จะมีการเสื่อสลายของเยื่อไมอีลีนภายในสมองและไขสันหลัง ทำให้การงอกใหม่มีเพียงเล็กน้อยตรงตำแหน่งที่มีการเสื่อมสลาย การปรับแต่งของเส้นประสาทที่แตกต่างกันโดยเฉพาะในช่วงที่มีการปรับแต่งแอกซอนที่งอกใหม่จะต้องการโซเดียมค่อนข้างมากนี่จึงเป็นอีกเหตุผลหนึ่งทางคลินิกที่สามารถอธิบายได้ว่าผู้ป่วยมีอาการดีขึ้นใน มัลติเปิ้ลสเคอโลซีส หากได้รับโซเดียมในช่วงเวลาที่เหมาะสม

การงอกใหม่ของเส้นประสาทจากเส้นประสาทข้างเคียง (Collateral Sprouting)

ปรากฏการณ์การงอกใหม่ของเส้นประสาทจากเซลล์ข้างเคียงเพื่อมาเลี้ยงอวัยวะเป้าหมายจะเกิดขึ้นได้ทั้งในระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย ดูรูปที่ 1-23 มักจะเกิดขึ้นเมื่ออวัยวะเป้าหมายที่ไปเลี้ยงจากเส้นประสาทเพียงบางส่วน และมีอีกบางส่วนไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง จะทำให้เส้นประสาทที่อยู่ข้างเคียงงอกเส้นประสาทออกมาใหม่เพื่อมาช่วยเลี้ยงบริเวณที่ไม่มีเส้นประสาทมาเลี้ยง จึงเรียกว่า คอลแลทเทอรอล (collateral sprouting) จากการงอกใหม่ของเส้นประสาทในลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่ามีกระบวนการปรับแต่งของเส้นประสาทเกิดขึ้นเพื่อทำหน้าที่แทนเส้นประสาทเส้นเดิมได้

กระบวนการสร้างเซลล์ประสาทให้มีความแตกต่าง (neurogenesis)

ในสมัยก่อนเชื่อกันว่ากระบวนการนิวโรจีนีซีส คือ ความสามารถในการสร้างเซลล์ประสาทให้มีความแตกต่างกัน แล้วเคลื่อนย้ายไปเป็นเซลล์ต้นกำเนิดที่จะพัฒนาไปเป็นส่วนต่าง ๆ ในช่วงแรกของชีวิตของสัตว์ ในอดีตเชื่อว่าเมื่อพยาธิสภาพจะส่งผลให้เซลล์ประสาทตายและลดลงอย่างถาวร ปัจจุบันได้พบว่าเซลล์ตั้งต้นเพียงเล็กน้อยสามารถที่จะแบ่งตัวและพัฒนาไปเป็นเซลล์ประสาทได้อย่างหลากหลาย ยกเว้นในสมองส่วนหน้า (forebrain) ของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนมรวมถึงมนุษย์ด้วย ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

- Proliferation เซลล์ตั้งต้นที่จะเจริญเติบโตไปเป็นเซลล์ประสาท
- Migration มีการเคลื่อนย้ายตัวของ cell ที่จะพัฒนาไปเป็นเซลล์ประสาท ไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อเตรียมพัฒนาต่อไป
- Development เป็นช่วงที่เกิดการพัฒนาของระบบประสาทเริ่มมีการงอกของ axon และ dendrites
- Myelination มีการสร้างเยื่อหุ้ม ไมอีลิน เพื่อล้อมรอบ axon

- Synaptogenesis เป็นการสร้างการเชื่อต่อของงเซลล์ประสาท synapse

สรุป พัฒนาการของระบบประสาท คำศัพท์ต่าง ๆ ทางระบบประสาท โครงสร้างพื้นฐานทางระบบประสาท ทั้งระบบประสาทส่วนกลาง ส่วนปลาย องค์ประกอบของเส้นประสาท เซลล์ค้ำจุนประสาท เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง การเชื่อมโยงของระบบประสาท การบาดเจ็บของเส้นประสาท การงอกใหม่ของเส้นประสาท รวมถึงความสัมพันธ์ทางคลินิก จึงเป็นประโยชน์ต่อนิสิตกายภาพบำบัดเพราะต้องใช้ความรู้เหล่านี้เป็นพื้นฐานในการเรียนหัวข้อต่อไป คือการส่งผ่านข้อมูลของระบบประสาท และต่อยอดในการเรียนด้านกายภาพบำบัดทางระบบประสาทและกายภาพบำบัดทางกุมารเวชศาสตร์ ทั้งภาคทฤษฎีเกี่ยวกับพยาธิสภาพของโรค การเนินโรค และปฏิบัติการ เช่นการตรวจร่างกาย การรักษาผู้ป่วยทางระบบประสาท เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

1. Betts JG, Desaix P, Johnson E, Korol O, Kruse D, Ooe B et al. Anatomy and Physiology. Taxus, United Stage: Rice university; 2017.
2. Charls M. Jane G. Concepts of biology. 1st Canadian ed. OpenStax college: Canada; 2013.
3. Eric R. Kandel Principles of neural science. 4th ed. McGraw-Hill Companies: USA; 2000.
4. Gillen G. Stroke Rehabilitation a function-based approach. 3rd ed. Elsevier Morby: USA; 2011.
5. Snell RS. Clinical Neuroanatomy. 7th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2010.
6. Stephen G. Waxman Clinical neuroanatomy. 27th ed. McGraw-Hill Companies: USA; 2013.
7. มีชัย ศรีใส. ประสาทกายวิภาคศาสตร์. สินประสิทธิ์การพิมพ์. ประเทศไทย; 2530.

แบบแผนการจัดการเรียนการสอน (Lesson Plan)

คณะสหเวชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

1. รายวิชา 68321260 ประสาทกายวิภาคศาสตร์ สำหรับกายภาพบำบัด (Neuroanatomy for Physical Therapy) จำนวนหน่วยกิต 2(2-0-4)

2. หัวข้อเรื่อง Cerebral hemispheres and Diencephalons I, II

3. ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2564

4. วัน/เวลา วันศุกร์ ที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2564 เวลา 08.00-12.00 น.

5. สถานที่เรียน ออนไลน์ Video call link: https://meet.google.com/zvk-ntbc-dmr

6. ผู้สอน ผู้ช่วยศาสตราจารย์นงนุช ล่วงพ้น email: nongnuchl@go.buu.ac.th

7. ผู้เรียน นิสิตหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชากายภาพบำบัด ชั้นปีที่ 2

8. วัตถุประสงค์การเรียนรู้ เมื่อสิ้นสุดการเรียนการสอน นิสิตสามารถ

1. อธิบายโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์และองค์ประกอบของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอนได้
2. เข้าใจหน้าที่ของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอนได้
3. อธิบายการเชื่อมต่อของของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอนได้
4. บอกการแบ่งชั้นของสมองและลักษณะเซลล์ประสาทที่พบในสมองใหญ่ได้
4. อธิบาย Brodmann ที่สำคัญในสมองใหญ่ได้
5. อธิบายลักษณะของ homunculus ของสมองทั้งระบบสั่งการและระบบรับความรู้สึกได้
6. อธิบายความสัมพันธ์ทางคลินิกเมื่อมีพยาธิสภาพบริเวณสมองใหญ่ และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอนได้

9. ประสบการณ์เรียนรู้

1. อธิบายโครงสร้างทางกายวิภาคศาสตร์และองค์ประกอบของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน 60 นาที
2. เข้าใจหน้าที่ของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน 30 นาที
3. อธิบายการเชื่อมต่อของของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน 30 นาที
4. บอกการแบ่งชั้นของสมองและลักษณะเซลล์ประสาทที่พบในสมองใหญ่ 20 นาที
4. อธิบาย Brodmann ที่สำคัญในสมองใหญ่ 45 นาที
5. อธิบายลักษณะของ homunculus ของสมองทั้งระบบสั่งการและระบบรับความรู้สึก 20 นาที
6. อธิบายความสัมพันธ์ทางคลินิกเมื่อมีพยาธิสภาพบริเวณสมองใหญ่ และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน 30 นาที
7. อภิปรายและซักถาม 10 นาที

10. รูปแบบการจัดการเรียนการสอน

1. แจกเอกสารประกอบการเรียนการสอนให้นิสิตศึกษามาก่อน
2. สอนบรรยาย โดยนิสิตสามารถสอบถามข้อสงสัยได้ตลอดการเรียนการสอน
3. ยกตัวอย่าง problem base และให้นิสิตมีส่วนร่วม
4. สอดแทรกคุณธรรมจริยธรรม และจรรยาบรรวิชาชีพแก่นิสิต เช่นการเข้าเรียนตรงเวลา

11. สื่อและอุปกรณ์การเรียนการสอน

1. อุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์เครื่องคอมพิวเตอร์และจอรับภาพ
2. PowerPoint
3. แผนการจัดการเรียนการสอน และเอกสารประกอบการสอน

12. การประเมินผล

1. ประเมินจากพฤติกรรมการเข้าเรียน การสอบ และการพัฒนาผลการเรียนรู้ของนิสิต
2. สังเกตจากการตอบคำถาม การปฏิบัติ ของนิสิต
3. สอบวัดความรู้ทฤษฎีโดยการสอบกลางภาค ตามวัตถุประสงค์การเรียนรู้ จำนวน 10-14 คะแนน

13. แหล่งค้นคว้าเพิ่มเติม

1. Eric R. Kandel Principles of neural science. 4th ed. McGraw-Hill Companies; USA; 2000.
2. Gillen G. Stroke Rehabilitation a function-based approach. 3rd ed. Elsevier Morby: USA; 2011.
3. Stephen G. Waxman Clinical neuroanatomy. 27th ed. McGraw-Hill Companies: USA; 2013.
4. มีชัย ศรีใส. ประสาทกายวิภาคศาสตร์. สินประสิทธิ์การพิมพ์. ประเทศไทย; 2530.

สมองใหญ่ และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน (Cerebrum and Diencephalon)

สมองใหญ่เป็นส่วนที่สำคัญต่อพฤติกรรม (social behavior) ความเฉลียวฉลาด (intelligence) และบุคลิกภาพ (personality) ของมนุษย์เป็นอย่างมาก ถือเป็นสถานีสุดท้ายที่การกระตุ้นนแบบต่าง ๆ ส่งขึ้นมาถึงแล้วนำมาเรียบเรียงเปรียบเทียบกับความทรางจำที่เคยได้รีบมาก่อนแล้วปรับสภาพให้เกิดความเข้าใจ และส่งคำสั่งลงมาเพื่อตอบสนองต่อการกระตุ้น ๆให้เหมาะสม (final integration of neuronal mechanism)

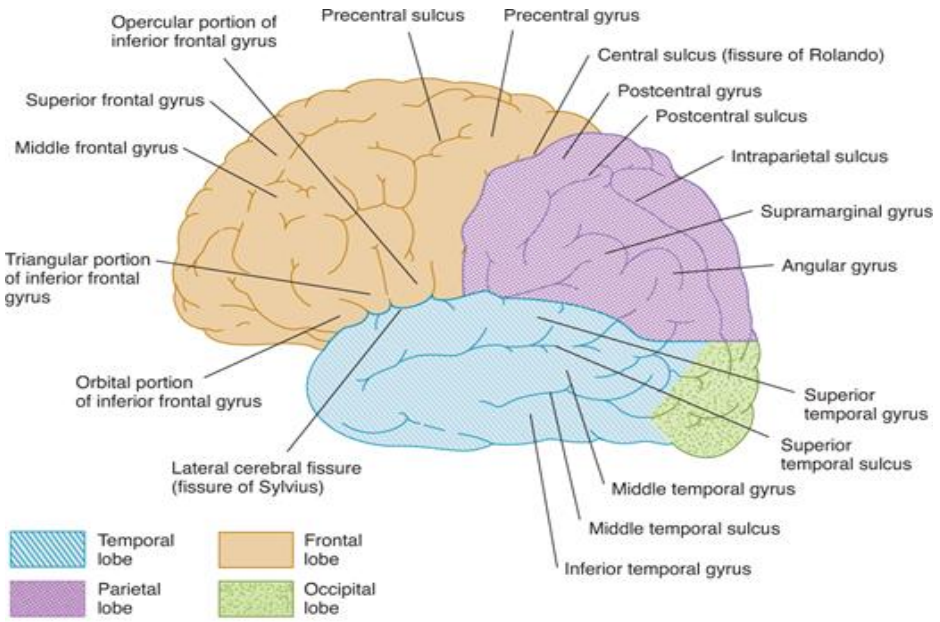
สมองแต่ละซีก (the cerebral hemispheres)

สมองใหญ่เป็นส่วนที่ขยายแผ่ปกคลุมส่วนก้านสมอง (brain stem) และสมองน้อย (cerebellum) เป็นส่วนที่เจริญมาจาก telencephalon บรรจุอยู่ใน cranial cavity และถูกแบ่งออกเป็น 2 ข้างเท่าๆ กัน ด้วยร่องลึกตรงกลางชื่อ longitudinal fissure หรือ sagittal fissure สมองแต่ละข้างคือ หนึ่ง hemisphere นั่นเอง ทั้ง 2 hemispheres (ซีกซ้ายและซีกขวา) จะมีลักษณะคล้ายคลึงกันมาก เรียกว่าเป็น mirror image กัน แต่ละ hemisphere จะประกอบไปด้วยส่วนของ เนื้อสีเทา (gray matter) อยู่ด้านนอก เรียกว่า cerebral cortex จะประกอบด้วย 6 lobes คือ frontal lobe, parietal, temporal, occipital, insular และ limbic และส่วนของเนื้อสีขาว (white matter) รวมกับกลุ่ม nucleus ชื่อ basal ganglia ที่ฝังตัวอยู่ในส่วนลึกเรียกว่า medullary center

Cerebral cortex เป็นส่วนของ gray matter ที่อยู่ด้านนอกสุดติดกับส่วนกระดูกกะโหลกศีรษะประกอบด้วย

1. Cell ประสาทชนิดต่าง ๆ จำนวนมาก ประมาณ 26-140 ล้านตัว
2. Neuroglial cell
3. Capillary networks

ส่วนของ cerebral cortex นี้จะมีลักษณะหยักเป็นคลื่นลอนเพื่อเพิ่มจำนวนพื้นที่ของสมองทำให้เกิดลักษณะนูน (gyrus) และเป็นร่อง (sulcus or fissure) พื้นผิวของ cerebral cortex ที่มองเห็นทางด้านนั้นเป็นเพียงประมาณหนึ่งในสามของพื้นที่ผิวทั้งหมด ส่วนอีกประมาณสองในสามฝังตัวเป็นขอบของ sulci และ fissure ทั้งหลาย ความหนาของ cerebral cortex จะแตกต่างกันไปตามตำแหน่ง เช่นบริเวณขอบของ calcarine fissure (visual area) หนาประมาณ 1.5 มิลลิเมตร cerebral cortex ของ precentral gyrus หนาประมาณ 4.5 มิลลิเมตร เป็นต้น เนื่องจาก cerebral cortex เป็นส่วนของสมองที่มีวิวัฒนาการมาอันดับล่าสุดบางครั้งจึง เรียกว่า Neocortex หรือ Neopallium หรือ Isocortex ซึ่งเจริญมากในสัตว์ขั้นสูงโดยเฉพาะมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงด้านข้างของสมองซีกซ้ายที่ระบุร่อง รอยนูนของสมอง ทีมา: (Waxman, 2013.)

Lobes and surface of the cerebral hemisphere แต่ละ hemisphere จะมีผิวอยู่ 3 ด้าน คือ

1. **Lateral or superolateral surface**
2. **Medial surface อยู่แนบกับ falx cerebri**
3. **Inferior surface วางอยู่บน floor of cranial cavity**

1. Lateral or superolateral surface เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ของ cerebral hemisphere มีลักษณะนูน มีร่องลึกเรียกว่า lateral (sylvian) fissure และมีร่องตื้น ๆ จำนวนมากเพื่อทำหน้าที่แบ่ง cerebral hemisphere ออกเป็น lobe และ gyri ต่าง ๆ ดังนี้

Lateral fissure เริ่มต้นจากทางด้าน inferior surface ระดับ optic chiasma ทางด้านหน้า lateral fissure horizontal, anterior ascending และ posterior rami ส่วนของ anterior horizontal และ anterior ascending rami ยื่นขึ้นไปแบ่ง frontal lobe ส่วนล่าง (inferior frontal gyrus) ออกเป็น pars orbitalis อยู่หน้าสุด pars triagularis อยู่ตรงกลาง และ pars opercularis อยู่หลังสุด ส่วน posterior ramus จะวิ่งไปทางด้านหลังโดยอยู่ระหว่าง frontal temporal lobes ก่อนแล้ววิ่งต่อไปทางด้านหลังซึ่งอยู่ระหว่าง parietal และ temporal lobes ดังแสดงในรูปที่ 1

Central sulcus (fissure of Rolando) เริ่มต้นตรงบริเวณประมาณ 1 ซม. หลังต่อจุดกึ่งกลางของขอบบนของ hemisphere แล้ววิ่งลงล่างไปด้านหน้าทำมุมประมาณ 70 องศา กับขอบบนของ hemisphere และสิ้นสุดที่บริเวณใกล้ ๆ กับ posterior ramus ของ lateral fissure (ไม่ต่อกับ lateral fissure) central sulcus จะแยก

frontal และ parietal lobes ออกจากกัน central sulcus และ lateral fissure จะเป็นร่องที่มีตำแหน่งคงที่ ส่วนร่องอื่น ๆ ที่ dorsolateral surface มีตำแหน่งที่อยู่ไม่แน่นอน แตกต่างกันไปในสมองของแต่ละคน เมื่อลากเส้นสมมุติเชื่อมโยงระหว่าง preoccipital notch ที่ inferior border ไปยัง parietooccipital sulcus ที่ขอบบนของ hemisphere จะแยก occipital lobe ออกจาก cerebral hemisphere ได้ occipital lobe จะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมมียอดอยู่ที่ occipital pole ถ้าลากเส้นจากปลายสุดของ lateral fissure ไปยังจุดกึ่งกลางของเส้นที่ลากเชื่อมระหว่าง preoccipital notch กับ parieto-occipital sulcus เส้นนี้จะแยก parietal lobe ออกจาก temporal lobe เมื่อมองด้าน superolateral surface นี้สามารถแยก lobes ของสมองออกเป็น frontal, parietal และ temporal lobe ได้ชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 1

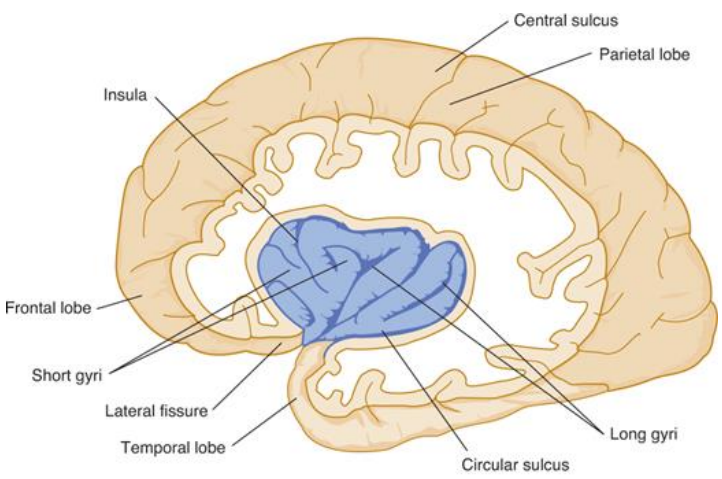
Frontal lobes มีร่องแบ่ง frontal lobe ออกเป็น gyri ต่าง ๆ ดังนี้ precentral sulcus จะอยู่หน้าและขนานไปกับ central sulcus ประกอบเป็น ขอบเขตทางด้านหน้า ของ anterior central gyrus (precentral gyrus) superior และ inferior frontal sulci ซึ่งขนานไปกับขอบบนของ frontal lobes แบ่ง frontal lobe ออกเป็น superior, middle และ inferior frontal gyri, inferior frontal gyrus ถูกแบ่งออกเป็น pars obicularis, pars triangularis และ pars opercularis ด้วย anterior horizontal และ anterior ascending rami ของ lateral fissure ตามลำดับ ในสมองข้างซ้ายทั้ง pars triangularis และ pars opercularis เป็น motor speech area (Broca’s area หรือ Brodmann area 44,45)

Parietal lobe มี postcentral sulcus วิ่งขนานไปกับ central sulcus ทางด้านหน้าก่อให้เกิด postcentral gyrus ซึ่งเป็น gyrus ที่อยู่หลัง central sulcus โดยมี postcentral sulcus เป็นขอบเขตด้านหลัง intraparietal sulcus เริ่มต้นตรงจุดที่อยู่เหนือจุดกึ่งกลางของ postcentral sulcus ไปยังเส้นที่เป็นขอบหน้าของ occipital lobe โดย sulcus นี้แบ่ง parietal lobe ส่วนที่อยู่หลังต่อ postcentral sulcus ออกเป็น superior และ inferior parietal lobules

Superior marginal gyrus คือส่วนของ inferior parietal lobule ซึ่งโค้งอยู่เหนือปลายสุดของ posterior ramus ของ lateral fissure ส่วน angular gyrus คือส่วนของ inferior parietal lobule ซึ่งโค้งอยู่เหนือปลายสุดของ superior temporal sulcus และอยู่หลังต่อ supramarginal gyrus

Temporal lobe ถูกแบ่งออกเป็น superior, middle และ inferior temporal gyri ด้วยร่อง superior และ inferior temporal sulci ส่วน inferior temporal sulcus เป็นร่องที่ไม่ต่อเชื่อมเป็นแนวเดียวกัน ทำให้กำหนดตำแหน่งยาก ส่วน superior temporal gyrus ด้านบนทำหน้าที่เป็น floor ของ lateral fissure จะมี gyrus 2-3 อันชื่อ transverse temporal gyri (Heschl’s convolutions) ซึ่งเป็นตำแหน่งของ primary auditory area

Insula lobe (Island of Reil) เป็น lobe ที่ถูกปิดอยู่ด้วยส่วนของ frontal, parietal และ temporal opercula ตรง lateral fissure การที่จะมองเห็น insula lobe ต้องแหวก opercula ทั้งสามที่ปิดอยู่ออก ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงภาพของสมองซีกซ้ายเพื่อแสดงสมองส่วน insular lobe ที่มา: (Waxman, 2013.)

2. Medial surface ของ cerebral hemisphere สามารถศึกษาดูได้ในสมองที่ถูกผ่าตาม midsagittal plane และส่วนของก้านสมองถูกตัดขาออกไปตรงระดับของ thalamus ส่วนของ thalamus ที่เหลือจะถูกล้อมบางส่วนโดย fornix ซึ่ง fornix จะถูกล้อมบางส่วนโดย corpus callosum โดย corpus callosum ประกอบขึ้นด้วย commissural fibers ที่เชื่อมโยงระหว่าง hemispheres ข้างซ้ายและข้างขวา ประกอบด้วยส่วน rostrum อยู่ทางด้าน inferior ยึดติดกับ lamina terminalis ส่วน genu อยู่หน้า body อยู่ตรงกลางและ splenium เป็นส่วนปลายทางด้านหลังที่ขยายใหญ่ออกนอกจากนี้ยังมี callosal fibers ซึ่งมองเห็นชัดในแนว horizontal plane ทางด้านหน้า fornix จะยึดติดกับ corpus callosum ด้วย septum pellucidum ส่วน fornix และ corpus callosum ที่เห็นใน median section จะถูกล้อมรอบด้วย convoluted medial surface ของ hemisphere ดังแสดงในรูปที่ 3

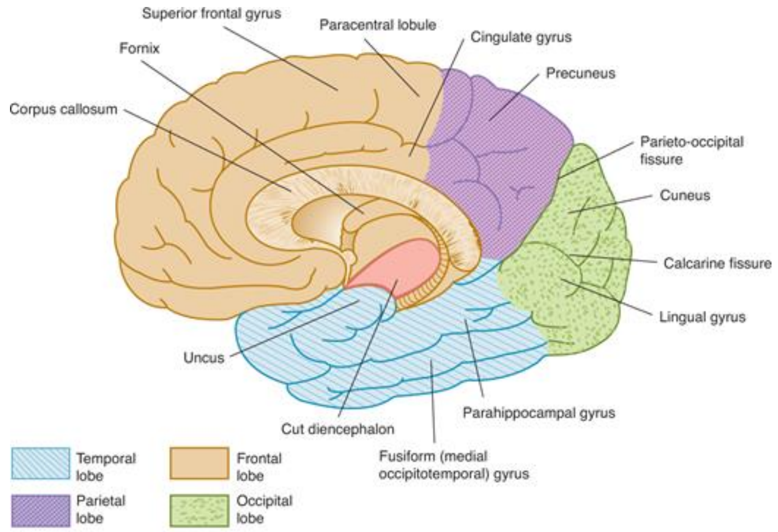
Sulcus of the corpus callosum ดังแสดงในรูปที่ 9 ซึ่งอยู่ถัดจาก corpus callosum ออกไป จะต่อเนื่องไปกับ hippocampal sulcus โดยล้อมรอบ splenium ของ corpus callosum ร่องชื่อ sulcus cinguli ขนานไปกับ callosal sulcus ประกอบเป็นขอบเขตของด้านนอกของ cingulated gyrus รูปสี่เหลี่ยมที่อยู่ระหว่าง paracentral และ marginal rami เรียก paracentral lobule ส่วน precentral และ postcentral gyri มีขอบเขตยื่นเข้ามาถึงใน paracentral lobule ด้วย ส่วน medial surface ของ hemisphere ที่อยู่หน้าต่อ paracentral sulcus และอยู่ถัดออกไปจาก sulcus cinguli คือ medial surface ของ frontal lobe

Calcarine sulcus ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 9 เริ่มต้นตรงระดับต่ำจาก splenium ของ corpus callosum วิ่งไปทางด้านหลังงไปสิ้นสุดที่บริเวณเหนือ occipital pole ของ cerebral hemisphere เล็กน้อย ขอบทั้งสองข้างของ calcarine sulcus นี้ถือเป็น visual cortex ตรงจุดกึ่งกลางของ calcarine sulcus จะเป็นจุดเริ่มต้นของ parieto-occipital sulcus ซึ่งวิ่งขึ้นบนและค่อนไปทางด้านหลัง ไปสิ้นสุดที่ขอบบนของ hemisphere จะ

สังเกตเห็นว่า parieto-occipital fissure ทางด้าน medial จะแยก parietal และ occipital lobe ออกจากกัน แต่ทางด้าน dorsolateral surface ร่องนี้ไม่ได้ยื่นออกมาให้เห็นชัดเจน

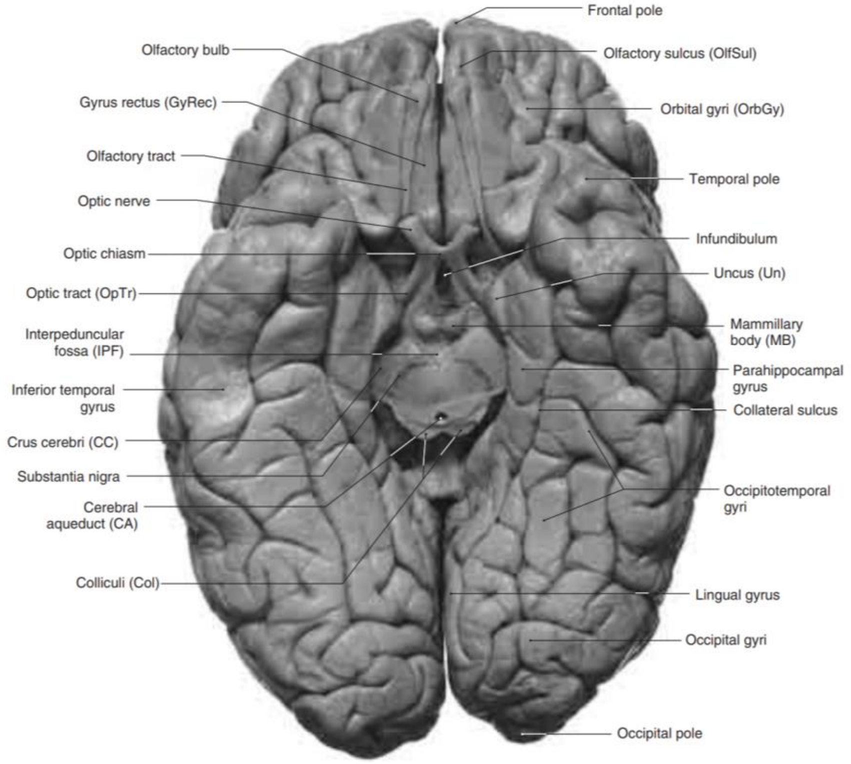
Precuneate gyrus ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็น gyrus ทีอยู่ระหว่าง marginal ramus, subparietal ramus, parieto-occipital sulcus และขอบบนของ hemisphere เป็น medial extension ของ superior parietal lobule เนื้อที่สามเหลี่ยมที่อยู่ระหว่าง parieto-occipital sulcus และครึ่งหลังของ calcarine sulcus เรียก cuneate gyrus

Lingual gyrus ดังแสดงในรูปที่ 3 อยู่ระหว่าง calcarine และ collateral sulci โดย collateral sulcus อยู่ทางด้าน medioinferior surface ของ temporal lobe โดย lingual gyrus จะต่อเนื่องไปกับ parahippocampal gyrus ทางด้านหน้า parahippocampal gyrus อยู่ระหว่าง collateral และ hipocampal sulci ซึ่ง parahippocampal gyrus สิ้นสุดทางด้านหน้าโดยโค้งรอบปลายทางด้านหน้าของ hippocampal sulcus ทำให้เกิดส่วนโค้งรูปตะขอ เรียก uncus เป็นที่น่าสังเกตว่า cingulated gyrus จะติดต่อกับ parahippocamoal gyrus ด้วยส่วนแคบ ๆ เรียก isthmus of gyrus fornicates, fornicate gyrus ประกอบด้วย cingulated gyrus , isthmus, parahippocampal gyrus และ uncus fornicate gyrus รวมกับ hippocampus จะเรียกว่า limbic lobe เนื่องจาก inferior surface ของ temporal lobe มีลักษณะเฉียงจึงไม่สามารถหาขอบเขตที่แบ่งแยกออกจาก medial surface ได้ inferior temporal sulcus จึงมองเห็นได้ทางด้าน medial ด้วย ส่วนของ gyrus ที่อยู่ระหว่าง inferior temporal sulcus และ collateral sulcus เรียก occipito-temporal gyrus (fusiform gyrus) ซึ่งสามาระแบ่งออกเป็นส่วน medial และ lateral occipitotemporal gyri ด้วย occipitotemporal sulcus ส่วนของ lateral occipitotemporal gyrus จะต่อเนื่องไปกับ inferior temporal gurus ส่วน rhinal sulcus เป็นร่องที่ต่อไปจาก collateral sulcus ไปทางด้านหน้า ทำให้ส่วน parahippocampal และ occipito-temporal gyri แยกออกจากกัน



รูปที่ 3 แสดงภาพทางด้านในของสมองซีกขวา ที่มา: (Waxman, 2013.)

3. Inferior surface ของ frontal lobe มีร่องเรียก olfactory sulcus อยู่ไปทางด้านข้างของ medial border ของ frontal lobe ประมาณ 1 ซม. มี olfactory tract วางอยู่ในร่องนี้ olfactory tract จะแยกออกเป็น medial และ lateral olfactory striae ตรงบริเวณ anterior perforated substance ส่วนของ frontal lobe อยู่ที่ lateral ต่อ olfactory sulcus เรียก orbital gyrus ซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นลอนที่ไม่มีขอบเขตแน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงพื้นผิวทางด้านล่างของสมอง ที่มา: (Haines, 2004)

Histology of the cerebral cortex ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นว่า cerebral cortex เป็นส่วน gray matter ที่อยู่ด้านนอกติดกับกะโหลกศีรษะ ส่วน cerebral cortex นี้เป็นส่วนใหญ่ของสมองคิดเป็นน้ำหนักถึง 40 เปอร์เซนต์ของสมองซึ่งภายในเนื้อของ cerebral cortex ประกอบด้วย cell ประสาทมากมายรวมทั้งเส้นใยประสาท (nerve fibers) ที่เข้าและออกจาก cerebral cortex ส่วน glia cell และเส้นเลือดฝอยที่มาเลี้ยงสมอง เซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทใน cerebral cortex จะมีการจัดเรียงตัวเป็นชั้น ๆ สามารถแบ่งชนิดของ cortex เป็น 3 ชนิดตามวิวัฒนาการและการจัดเรียงตัวเป็นชั้นของสมอง ได้แก่

1. Paleo cortex ⎫ รวมกันเรียกว่า Paleo cortex มีการจัดเรียงตัวตั้งแต่ 3-5 ชั้น และมีวิวัฒนาการ
2. Archi cortex ⎭ มาก่อนโดยเฉพาะ Archi cortex จัดเป็นส่วนที่ก่าแก่ที่สุด

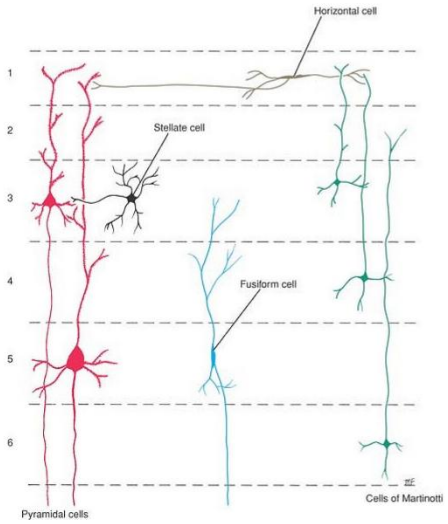
3. Neo cortex เป็นส่วนของสมองที่มีวิวัฒนาการมาหลังสุด โดยเฉพาะในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ส่วน neo cortex จะเจริญมาก โดยเฉพาะในคนซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับความเฉลียวฉลาด พฤติกรรมที่ซับซ้อน การสร้างสังคม ตลอดจนขนบธรรมเนียมประเพณีต่างๆ ของมนุษย์ Neo cortex มีการจัดเรียงตัวของเซลล์ประสาทมากถึง 6 ชั้น

ชนิดต่างๆของเซลล์ประสาทใน Cerebral cortex

จำแนกตามรูปร่างลักษณะของเซลล์ประสาท Cerebral cortex สามารถแบ่งเป็น 5 ชนิด ได้แก่

1. Pyramidal cell
2. Stellate calls
3. Fusiform cells
4. Cells of Martinotti
5. Horizontal cells of Cajal

Pyramidal cells เป็นเซลล์รูปสามเหลี่ยมมีขนาดตั้งแต่ 10-15 um. และมีขนาดใหญ่สุด ขนาด 100 um. เรียกว่า Betz cells พบได้ที่ motor area dendrites ของ pyramidal cells จะวิ่งขึ้นสู่ผิวของ cerebral surface ส่วน axons วิ่งลงสู่ส่วนที่ลึกของ cerebral cortex ทำหน้าที่เป็น Projection fibers หรือ Association fibers Stellate cells หรือเรียกว่า Granule cells เป็นเซลล์รูปดาวขนาดเล็กประมาณ 8 ไมโครเมตร ทั้ง dendrites และ axons จะยื่นออกไปไม่ไกลจากตัวเซลล์มักทำหนาที่เป็น interneurons fusiform cells เป็นเซลล์รูปกระสวย วางตัวตั้งฉากกับ cortical surface มักอยู่ในชั้นที่ลึกของ cortex dendrite ของมัน ชี้ออกจากปลายกระสวยทั้งสองด้าน ด้านหนึ่งชี้ไปที่ cortical surface ที่อยู่ในชั้นที่อยู่ตื้นกว่าอีกปลายหนึ่ง dendrite ชี้ลงส่วนที่ลึกแต่ไปไม่ไกล axon ของ fusiform cells วิ่งเข้าไปในส่วนลึกทำหน้าที่เป็น projection , association และ commissural fibers cell of Martinotti พบในแทบทุกชั้นของ cerebral cortex ยกเว้นชั้นแรกที่อยู่ตื้นที่สุด มี dendrite สั้นๆ axon ของมันวิ่งขึ้นไปด้านผิวของ cerebral cortexไปในชั้น superficial สุด Horizontal cell of Cajal พบในชั้นนอกสุดของ cerebral cortex เซลล์รูกระสวยaxon ของมันวิ่งขึ้นในระนาบขนานกับผิวของ cortical surface เพื่อรับ synapse ที่มาจาก dendrite ของ pyramidal cells ที่มาจากส่วนลึก ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงภาพ stellate cell ดัดแปลงจาก (RS., 2010.)

Layers of cerebral cortex

การจัดเยงตัวเป็นชั้น ๆ ของเซลล์ประสาทและเส้นใยประสาทใน cerebral cortex (isocortex) จะมีการจัดตัวเป็น 6 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 6,7 ดังนี้

ชั้นที่ 1 Molecular layer เป็นชั้นที่อยู่นอกสุด ตื้นที่สุดเมื่อนับจาก cortical surface เขามาภายในชั้นนี้จะพบ Nerve Fibers จำนวนมากมายซึ่งมีทั้ง dendrites และ axons ซึ่งขึ้นมาจากชั้นที่ลึก ได้แก่ มาจาก pyramidal cells และ cells of Martinotti จะพบ horizontal cells of Cajal ในชั้นนี้ และ stellate cells กระจายอยู่ทั่วไป ถือเป็นชั้น synaptic field of cortex

ชั้นที่ 2 External granular layer ในชั้นนี้จะพบ stellate cells จำนวนมากรวมทั้ง small pyramidal cells ซึ่งส่ง dendrite ขึ้นไปในชั้นที่1 และส่ง axons ลงไปในชั้นที่ลึกกว่าถือเป็นชั้นที่มีความสำคัญสำหรับก่อให้เกิด complexity of intracortical circuits

ชั้นที่ 3 External pyramidal layer จะพบ pyramidal cells ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่ง dendrite ขึ้นไปในชั้นที่ 1 และส่ง axons ลงไปในชั้นที่ลึกกว่าเพื่อเป็น projection , association หรือ commissural fibers

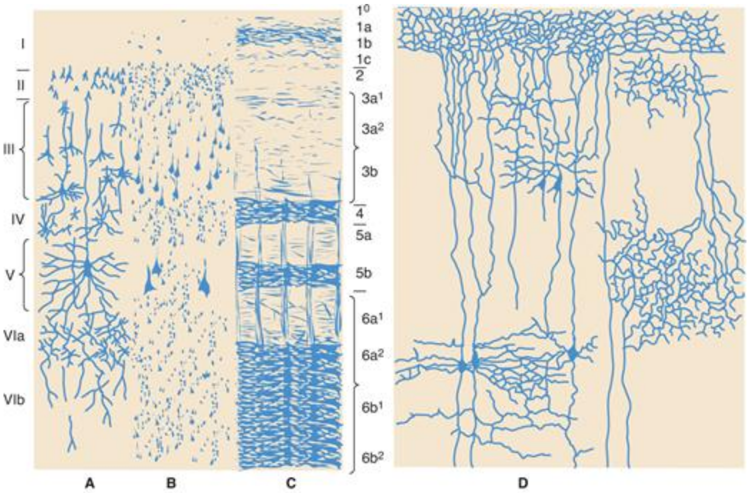
ชั้นที่ 4 Internal granular layer จะพบ stellate cells มากมายในชั้นนี้ซึ่งจะได้รับการกระตุ้นมาจาก Nerve fibers ที่มาจาก Thalamus และ axons ของ stellate cells ยังรับ synapse จาก dendrite ของ Nerve cells ที่มาจากชั้นที่ 5,6 ดังนั้นconnections ที่เกิดขึ้นในชั้นที่ 4 จึงซับซ้อนมากมาย เมื่อย้อมด้วย silver stain และ weigert method เพื่อศึกษา axons ในชั้นนี้พบว่ามี Nerve fibers จำนวน

มากมายหนาเป็นปื้นเรียงตัวในแนวขนานกับ cortical surface เรียกว่า outer lines of Baillager ในชั้นที่ 4 และ inner lines of Baillager ในส่วนลึกของชั้นที่5 fibers เหล่านี้มาจาก sensory relay nuclei of the thalamus (specific) เมื่อเข้ามาในชั้นที่ 4 และ 5 มันจะแตกแขนงออกในแนวระนาบเพื่อ synapse กับ cortical neurons ในชั้นนี้ ดังนั้นจะพบ lines of Baillager ชัดเจน ใน sensory cortex ถ้าพบที่ visual cortex จะเรียกว่า line of Gennari ซึ่งจะหนาทึบมากจนมองเห็นด้วยตาเปล่า บางครั้งจึงเรียกบริเวณ visual cortex ว่า striate area

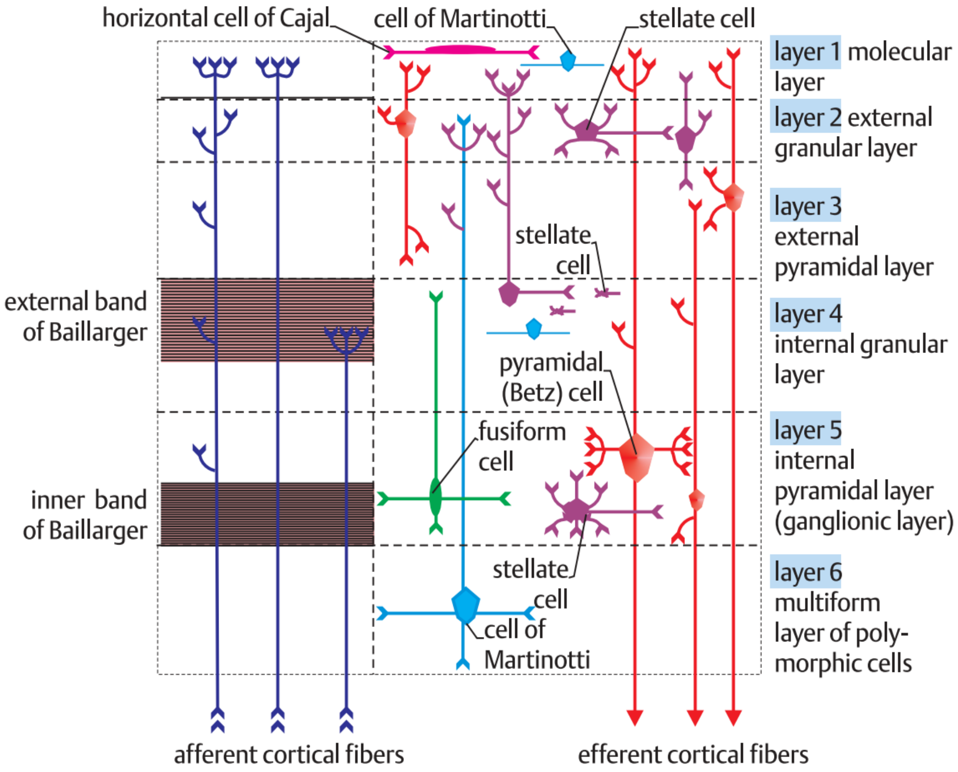
ชั้นที่ 5 Internal pyramidal layer จะพบ pyramidal cells ปนกับ stellate cells และ cells of Martinotti ในชั้นนี้ของ primary motor area จะพบ giant pyramidal cells (cells of Betz) ซึ่งส่ง axons ออกไปเป็น corticospinal tract

ชั้นที่ 6 Multiform layer จะพบ fusiform cells เป็นจำนวนมากและ neurons รูปร่างหลายแบบซึ่งจะส่งผล axons ลงไปในส่วนลึกไปเป็น projection , commissural และ association fibers

โดยทั่วไป Fundamental layer of neocortex จะมี 6 ชั้น จึงเรียกส่วนที่ ครบ 6 ชั้นว่าเป็น homotypical cortex แต่มีบางส่วนอาจไม่ครบ 6 ชั้น ชัดเจนนัก เรียกบริเวณนั้นว่า heterotypical cortex เช่นที่ visual , auditory และ general sensory areas พบว่าชั้นที่ 4 หนามาก เนื่องจากมี thalamic afferent fibers เข้ามามาก จนชั้นที่ 2 และ 5 บางมาก บางครั้งจึงเรียกเป็น granular cortex ในทำนองเดียวกันที่ primary motor และ premotor areas พบว่าชั้นที่ 2 และ 5 หนามากเนื่องจากมี pyramidal cells มาก บางครั้งจึงรียกเป็น agranular cortex efferent cortical fibers ส่วนใหญ่จะเป็น axons จาก pyramidal และ fusiform cells ส่งออกไปสู่ white matter ในส่วนลึกเพื่อจะไปเป็น projection association และ commissural fibers



รูปที่ 6 แสดง การย้อมของโครงสร้างแต่ละชั้นในเนื้อสมอง A: ย้อมด้วย Golgin neuronal B: ย้อมด้วย Nissl cellular C: ย้อมด้วย Weigart myelin D: แสดงภาพการเชื่อมต่อของเซลล์ประสาทในแต่ละชั้น ตัวเลขโรมันแสดงถึงชั้นของเนื้อสมอง ที่มา: (Waxman, 2013.)



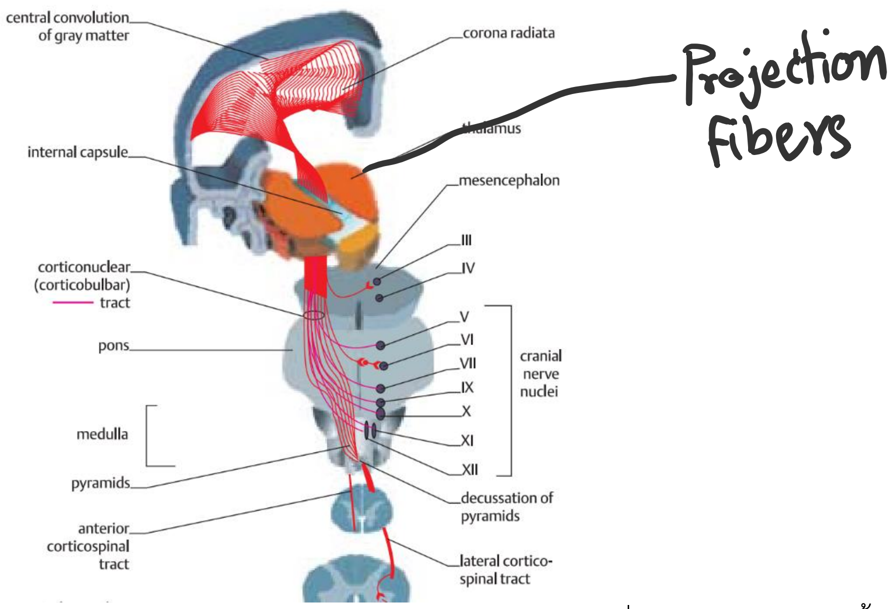
รูปที่ 7 แสดง ชั้นต่าง ๆ ของสมองที่มีตัวเซลล์ประสาทและเส้นประสาทที่ออกและเข้าในแต่ละชั้น

ที่มา: (Greenstein, 2000)

White matter of the cerebral hemisphere

ส่วน white matter ของ cerebral hemisphere อยู่ลึกกว่า cerebral cortex แบ่งเป็น 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 12 ได้แก่

1. **Projection fibers** เป็นส่วนองเส้นใยประสาท ที่นำกระแสประสาทจาก cerebral cortex ลงไปสู่ด้านล่างที่อยู่ห่างไกล (Cortical efferent fibers) หรือเส้นใยประสาทที่นำกระแสประสาทจากส่วนล่าง เช่นจาก ไขสันหลัง หรือ thalamus กลับขึ้นมาที่ cerebral cortex (Cortical afferent fibers) เส้นใยประสาทเหล่านี้จะหดตัวเป็นรัศมีสอบแคบเข้าเพื่อผ่านบริเวณก้านสมองช่วงที่จัดตัวเป็นรัศมีทุกด้านนั้น เรียกว่า corona radiate เมื่อผ่านมาถึงบริเวณ diencephalon never fibers เหล่านี้จะอัดแน่นและสอบแคบเข้าเรียกว่า internal capsule ซึ่งวิ่งระหว่าง Lenticular nucleus และ caudate nucleus กับ thalamus cortical afferent fibers บางส่วนอาจสิ้นสุดใน thalamus บาง fibers จะผ่านลงไปสู่ mesencephalon , pons , medulla และ spinal cord ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงทางเดินของ Projection fibers (lateral corticospinal tract) ซึ่งเป็นทางเดินในแนวตั้ง จากสมองลงมายังไขสันหลัง ดัดแปลงจาก: (Greenstein, 2000)

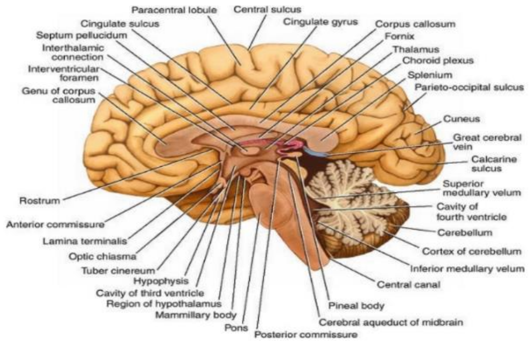
2. **Association fibers** เป็นเส้นใยประสาทที่เชื่อมระหว่าง cortical area ของสมองข้างเดียว Association fibers มีทั้งชนิดสั้นและชนิดยาว short association fibers เชื่อมโยงระหว่าง gyrus ที่อยู่ชิดกัน และเนื่องจาก fibers ชนิดนี้ผ่านรอบและอยู่ใต้ sulcus อยู่ระหว่าง gyri ทั้งสองจึงมักเรียก fibers ชนิดนี้ว่า arcuate fibers (U-fibers) long association fibers มีการเรียงตัวกันเป็นกลุ่มเชื่อมโยงระหว่าง areas ต่าง ๆ ของ cerebral cortex กลุ่มของ long association fibers ที่มักพบได้มอยู่ 6 กลุ่มคือ cingulum , uncinate fasciculus , superior และ inferior longitudinal fascicule , superior และ inferior occipitofrontal fascicule Cingulum เป็นfibers ที่ เชื่อมโยงระหว่าง orbitofrontal region กับ cortical areas ทั้งหมดอง fornicate gyrus พบอยู่ในส่วนของ cingulated gyrus เหนือ corpus callosum uncinate fasciculus อยู่ลึกต่อ lateral fissure เชื่อมโยงระหว่าง temporal pole กับ basal frontal cortex superior longitudinal fasciculus พาดจาก frontal area ไปยัง temporal , parental , และ occipital cortex โดยพาดผ่าน insular และ lentiform nucleus ประกอบด้วย short association fibers จำวนมากมายเชื่อมโยงระหว่าง cortex ที่อยู่ใกล้เคียง superior occipitofrontal fasciculus เชื่อมโยงระหว่าง occipital และ frontal lobe กับส่วน temporal cortex และ insular อยู่ลึกกว่า superior longitudinal fasciculus และแยกจาก superior longitudinal fasciculus โดย internal capsule inferior occipitofrontal fasciculus เชื่อมโยงระหว่าง occipital และ frontal areas ของ cerebral cortex อยู่เหนือและใกล้ชิดกับ

uncinate fasciculus อยู่ใต้ lentiform nucleus และ extreme capsule inferior longitudinal fasciculus เชื่อมโยงระหว่าง temporal กับ occipital regions ส่วนที่อยู่ทาง posterior จะอยู่ใกล้ชิดกับ fibers ของ visual radiations บางคนก็จัด fibers กลุ่มนี้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของ visual radiation (geniculocalcarine tract)

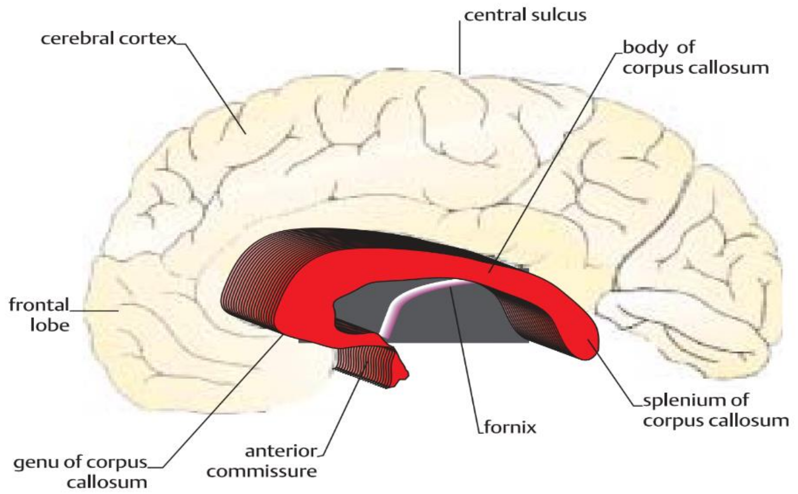
3. **Commissural fibers** เป็นเส้นใยประสาทที่เชื่อมระหว่าง cortical area ของสมองด้านซ้ายกับด้านขวาเข้าด้วยกัน ได้แก่ Corpus callosum และ anterior commissure corpus callosum ถือเป็น commissural fibers ที่ใหญ่ที่สุดของสมอง ดังแสดงในรูปที่ 9, 10 และ 11 เชื่องโยงสมองสองข้างระหว่างแต่ละ lobe เข้าด้วยกันทำหน้าที่เป็นหลังคาของ lateral ventricles corpus callosum แบ่งเป็นส่วนๆ ได้แก่ rostrum , genu , body และ splenium ส่วนของ splenium จะมี nerve fibers ที่เชื่อมระหว่าง temporal และ occipital lobes และส่วนหนึ่งของ splenium มี nerve fibers วิ่งลง ด้านล่างมาตามขอบนอกของ posterior horn of lateral ventricle ทำหน้าที่ เป็นตัวกั้นระหว่าง lateral ventricle กับ optic radiation เรียกส่วนนี้ว่า tapetum corpus callosum จึงทำหน้าที่ถ่ายทอดข้อมูลระหว่างสมองทั้งสองข้างให้กันละกัน (interhemispheric transfer) ที่สำคัญได้แก่

    - Learning
    - Memory
    - Higher tactile information

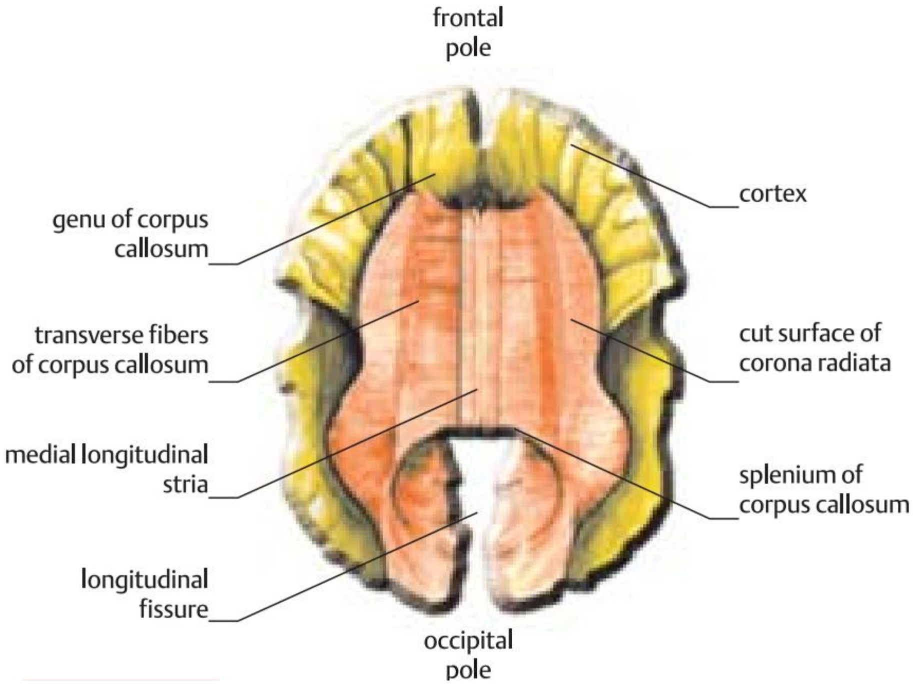
   Anterior commissure เป็นกลุ่มเส้นใยประสาทขนาดเล็ก ที่มีเส้นใยประสาทอัดกันแน่นเชื่อมระหว่างสมองทั้ง 2 ซีก อยู่หน้าต่อ fornix ทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง olfactory structures และ temporal lobes ทั้ง 2 ข้าง เชื่อมต่อกันในแต่ละชั้น ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 9 แสดงภาพสมองข้างขวาทางด้านใน ที่เห็นส่วนประกอบของ Corpus callosum ที่มา: (RS., 2010.)

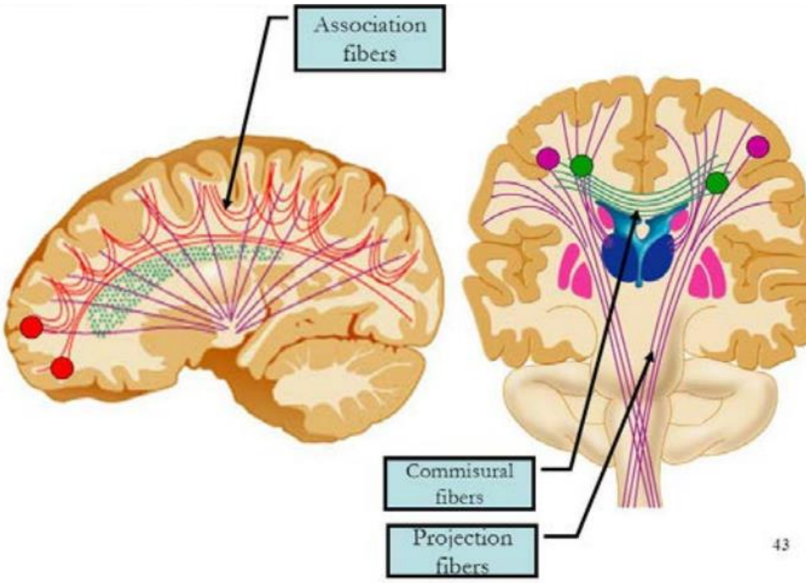


รูปที่ 10 แสดงภาพสมองข้างขวาทางด้านใน ที่เห็นส่วนประกอบของ Corpus callosum ที่มา: (Greenstein, 2000)

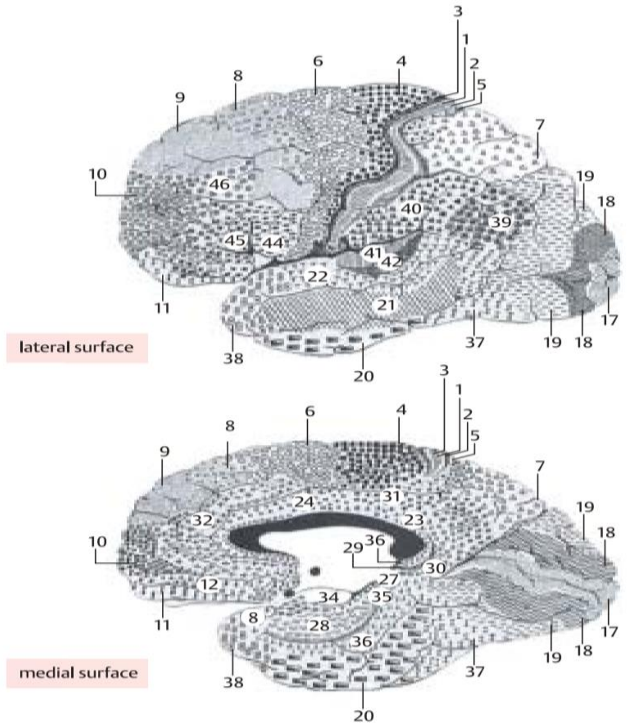


รูปที่ 11 แสดงภาพด้านบนของ corpus callosum ที่มา: (Greenstein, 2000)

รูปที่ 12 แสดง การเชื่อมโยงของสมองในส่วน white matter ที่มา: (AL-Kafajy, 2016)



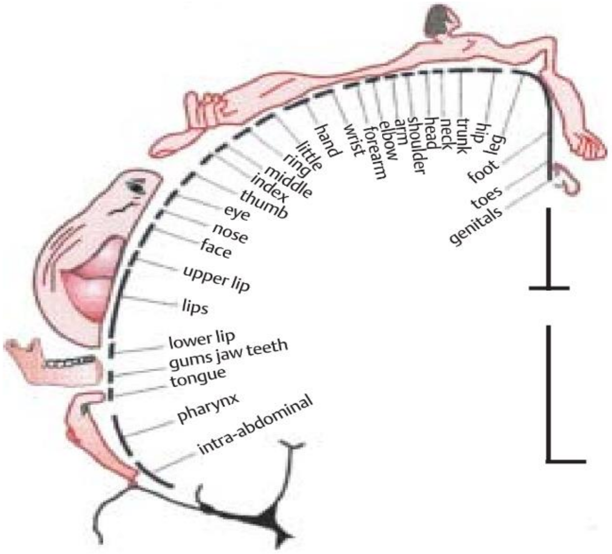
ตำแหน่งที่อยู่และหน้าที่ของ areas ต่าง ๆ ของ cerebral cortex



รูปที่ 13 แสดงตำแหน่งของ Brodmann ต่าง ๆ ทางด้าน lateral และ medial surface ของสมองซีกขวา ที่มา: (Greenstein, 2000)

Brodmann ได้แบ่ง cerebral cortex ออกเป็น area ต่างๆ จำนวน 52 areas โดย อาศัยความแตกต่างของการเรียงตัวของตัวเซลล์ประสาทในชั้นต่างๆ ตลอดจนความแตกต่างของเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 13

Somesthetic หรือ general sensory area (primary sensory projection cortex) พบอยู่ใน postcentral gyrus คือ Brodmann area 3,1,2 ทำหน้าที่รับ general sensation impulses ที่มาจากร่างกายซีกตรงข้ามโดยผ่านมาตาม posteromedial ventral thalamic nucleus, posterolateral ventral thalamic nucleus และ posterior limb ของ internal capsule โดยที่ส่วนล่างสุดของ area รับ sensory impulse ที่มาจากใบหน้า ช่องปาก ช่องคอ ซึ่งผ่านมาตาม posteromedial ventral thalamic nucleus ส่วนที่เหนือขึ้นมารับ impulse จากแขน ศีรษะ คอ ลำตัวและขา ตามลำดับ impulse จากเท้าและอวัยวะเพศจะเข้าสู่ area ที่อยู่ paracentral lobule ซึ่งอยู่ที่ medial surface จะสังเกตเห็นว่า area ที่รับ impulse จากบริเวณใบหน้า มือและนิ้ว มีขนาดใหญ่กว่าบริเวณอื่น แสดงว่าที่ใบหน้า มือและนิ้ว รับความรู้สึกหลายชนิดและเป็นความรู้สึกที่ละเอียดอ่อนใช้เซลล์ประสาทจำนวนมากกว่าในการทำให้เกิดความรู้สึกนั้น ๆ ถ้ามี พยาธิสภาพ (lesion) ที่ area นี้จะทำให้ร่างกายที่อยู่ด้านตรงข้างหมดความรู้สึกเกี่ยวกับ touch, pressure, proprioception และ two point discrimination ส่วน pain และ temperature ยังมีอยู่เนื่องจาก thalamus ทำหน้าที่ perception ได้ ฉะนั้น somesthetic area จึงรับความรู้สึกของร่างกายซีกตรงข้าม ซึ่งบริเวณของตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายที่ส่งความรู้สึกผ่านขึ้นมาที่สมองส่วน postcentral gyrus หรือ Brodmann area 3,1,2 เรียกว่า sensory homunculus ดังแสดงในรูปที่ 14



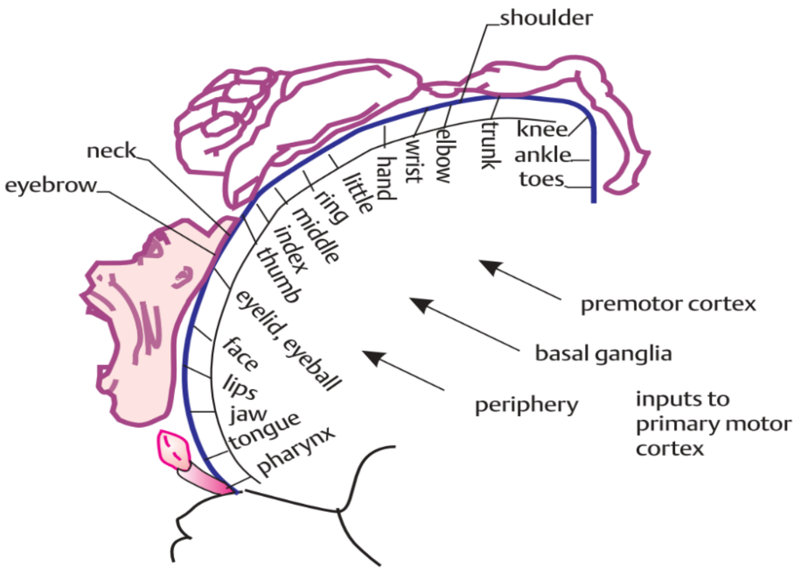
รูปที่ 14 แสดงภาพ sensory homunculus ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของตำแหน่งร่างกายตรงบริเวณ somesthetic หรือ Brodmann area 3,1,2 ที่มา: (Greenstein, 2000)

Auditory area (primary auditory receptive cortex) คือ Brodmann area 41, 42 อยู่ที่ superior transverse temporal gyri ซึ่งประกอบเป็นขอบเขตด้านล่างของ lateral fissure โดย superior transverse temporal gyri มีอยู่ประมาณ 2-3 gyri ส่วนของ gyrus ที่อยู่หน้าสุดมีลักษณะนูนเด่นกว่าเพื่อนเรียก convolution of Heschl auditory area ทำหน้าที่รับ auditory impulse ที่มาจาก medial geniculate bodies ทั้งซ้ายและขวา ซึ่งมาตาม sublentiform part ของ internal capsule ทำหน้าที่รับความรู้สึกเกี่ยวกับการได้ยินเสียงถ้ามี lesion ที่ area นี้จะทำให้การได้ยินเสียงลดลงถ้า lesion เกิดทั้งข้างซ้ายและขวา หูจะหนวก

Visual area (primary visual receptive cortex) คือ Brodmann area 17 อยู่ที่ขอบทั้งสองของครึ่งหลังของ calcarine sulcus และที่ ventral side ของครึ่งหน้าของ calcarine sulcus ส่วน visual impulse จาก lateral geniculate body เข้าสู่ visual area ทาง geniculocalcarine tract ส่วน macular หรือ contralateral visual project สู่ posterior limit ของ calcarine area lesion ที่ area นี้จะทำให้เกิด contralateral homonymous hemianopia

Motor area (primary motor projection cortex) คือ Brodmann area 4 อยู่ที่ precentral gyrus เซลล์ประสาทใน motor area ส่ง motor impulses ไปควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลายของร่างกายที่อยู่ซีกตรงข้าม โดยที่ area ที่อยู่ล่างสุดส่ง motor impulse ไปควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อลิ้น กล้ามเนื้อเกี่ยวกับการเคี้ยวอาหาร กล้ามเนื้อที่เกี่ยวกับการกลืนการพูด การแสดงออกของความรู้สึกที่ใบหน้าและกล้ามเนื้อคอ ส่วนที่เหนือขึ้นไป ควบคุมการทำงานของนิ้วมือ ไหล่ ลำตัว ต้นขา ส่วนที่ควบคุมการทำงานของขาและเท้าอยู่ที่ paracentral lobule ที่ medial surface จะสังเกตเห็นว่า motor area ที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อใบหน้าและนิ้วมือมีขนาดใหญ่ เนื่องจากการทำงานที่บริเวณนี้เป็นการทำงานที่ละเอียดอ่อนสลับซับซ้อนและหลายแบบต้องใช้เซลล์ประสาทจำนวนมากในการทำงาน

เซลล์ประสาทใน motor area ให้ axons รวมกันเป็น corticospinal tract และ corticobulbar tract หรือ รวมกันเรียกว่า pyramidal system ส่วนของ corticobulbar tract จะสิ้นสุดที่ cranial nerve nuclei ส่วน corticospinal tract พอมาถึงระดับล่างของ medulla oblongata ประมาณ 80 เปอร์เซนต์ ของ fibers จะพาดข้ามไปยังฝั่งตรงข้าม (decussate) กลายเป็น lateral corticospinal tract ส่วน fibers ที่ decussate กันจะเรียกว่า pyramidal decussation หรือ motor decussation พบที่ ventral surface ของ medullar oblongata ส่วน fibers อีกประมาณ 20 เปอร์เซนต์ จะไม่พาดข้ามไปฝั่งตรงข้าม จะกลายเป็น ventral corticospinal tract และจะอยู่ใน anterior horn cells ของไขสันหลังข้างเดียวกับที่ แต่ lateral corticospinal tract หลังจากพาดข้ามมาจากฝั่งตรงข้ามแล้วจะไปสิ้นสุดที่ anterior horn cells ด้านเดียวกับที่พาดมาอยู่แล้ว ฉะนั้น motor area จึงควบคุมการทำงานของร่างกายซีกตรงข้าม ซึ่งบริเวณของตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายที่ถูกควบคุมโดยสมองบริเวณนี้ เรียกว่า motor homunculus ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงภาพ motor homunculus ที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของตำแหน่งร่างกายตรงบริเวณ motor area หรือ Brodmann area 4 ที่มา: (Greenstein, 2000)

Premotor area คือ Brodmann area 6 อยู่หน้าต่อ motor area เมื่อกระตุ้นที่ area นี้ด้วยกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกายเหมือนกับการกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า ที่ area 4 และ area 6 เชื่อมโยงกับ area 4 ด้วย short association fibers โดย premotor area มี connection กับ ventral anterior และ ventral lateral nuclei ของ thalamus ซึ่งส่วนของ thalamus ทั้งสองข้างเชื่อมโยงกันกับ corpus striatum และ cerebellum area นี้ ทำหน้าที่เกี่ยวกับ motor function และไม่ได้เป็นส่วนของ pyramidal system แต่เป็นส่วนขอว extrapyramidal system เป็น area ที่เกี่ยวข้องกับการทำให้เกิด motor skill และการทำให้เกิด motor complex character มากกว่าที่การทำงานของ motor area

ในสัตว์ทดลองพบว่าเมื่อทำลาย premotor area จะทำให้เกิด spasticity แต่ถ้าทำลาย motor area ทำให้เกิด flaccid paralysis จึงทำให้เข้าใจว่า premotor area มี suppressor influence ต่อ stretch reflexes ของไขสันหลัง เวลาที่ทำให้เกิด lesion ที่ cerebral cortex lesion มักจะกินบริเวณที่กว้างพอที่จะไปทำลายทั้ง motor และ premotor areas พร้อมกันทำให้เกิด spastic paralysis

Cortical eye field เป็นบริเวณที่ควบคุม conjugate eye movement แยกเป็น 2 ส่วน คือ frontal eye field และ occipital eye field

Frontal eye field อยู่ที่ด้านล่างของ area 8 ทำหน้าที่ควบคุม voluntary conjugate eye movement ถ้ากระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้าที่บริเวณนี้ ทำให้มีการเคลื่อนไหวลูกตา 2 ข้าง พร้อมกันไปทางด้านตรงข้ามที่กระตุ้น ถ้าทำลายบริเวณนี้ลูกตาทั้ง 2 ข้าง จะเหล่กลับมาด้านเดียวกันกับที่ถูกทำลาย

Occipital eye field อยู่ที่ area 17, 18, 19 ซึ่งมีเส้นใยประสาทติดต่อกันกับ superior colliculus ใน midbrain และติดต่อได้โดยทางอ้อมกับ นิวเคลียสของ oculomotor, trochlear และ abducens ทำหน้าที่ควบคุม involuntary conjugate eye movement กระตุ้นโดยการมองเห็นวัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ไปมา

Broca's area คือ Brodmann area 44, 45 อยู่ท่ posterior part ของ inferior frontal gyrus หน้าต่อ motor area สำหรับลิ้นและกล่องเสียง ถ้ามี lesion ทำให้เกิด expressive aphasia (motor aphasia) ผู้ป่วยทราบว่าตนเองต้องการจะพูดอะไร แต่พูดออกมาเป็นคำทั้ง ๆ ที่กล้ามเนื้อเกี่ยวกับการพูดยังดีอยู่

Gustatory area (Brodmann area 43) อยู่ที่ parietal operculum ทำหน้าที่รับรู้เกี่ยวกับรสอาหาร

Olfactory receptive area อยู่ที่ uncus และ parahippocampal gyrs ของ temporal lobe ทำหน้าที่รับรู้กลิ่น

Prefrontal area (frontal association area) คือส่วนของ frontal lobe ทั้งหมดที่อยู่หน้าต่อ frontal eye field, premotor area และ motor area บริเวรนี้มีการเชื่อมโยงกับ dorsomedial nucleus ของ thalamus และมี long association fibers จาก lobes ต่างๆ ทั้งหมดของ cerebral cortex มาสิ้นสุด โดย area นี้มีความสำคัญสำหรับการทำให้มีความคิดอ่านที่ดี (abstract thinking) การมองกาลไกล (foresight) มีการตัดสินใจที่สมเหตุสมผล (mature judgement) การรู้กาลเทศะ และการมีศิลป (tract-fulness) การสามารถถอดกลั้นและรู้จักระงับอารมณ์ (forbearance) ถ้ามี lesion ที่ prefrontal area อาจเนื่องมาจากเกิดเนื้องอกหรือเกิด atrophy เนื่องจาก syphilis จะทำให้บุคคลนั้นขาดความรับผิดชอบในสิ่งที่ตนได้กระทำลงไป เป็นคนสกปรก เลอะเทอะ มอมแมม พูดจาสามหาว หยาบคาย ทำตัวเหมือนตัวตลกและรู้สึกอิ่มเอิบปราบปลื้มอยู่ตลอดเวลา

Prefrontal leucotomy เป็นการตัด white matter ที่เชื่อมโยงระหว่าง prefrontal area กับ dorsomedial nucleus ของ thalamus เป็นวิธีการลดความวิตกกังวลและความไม่สบายใจในสมัยก่อนที่ยังไม่มียาที่ช่วยทำหน้าที่นี้ได้

Somesthetic association area (Brodmann area 5, 7) อยู่หลังต่อ postcentral gyrus มีการติดต่อกับ somesthetic area ด้วย association fibers ทำหน้าที่แปลข้อมูลที่มาจาก area 3, 1, 2 ว่าคืออะไร (stereognosis) ถ้ามี lesion ที่ area นั้นทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถบอกได้ว่า sensory stimuli นั้นคืออะไร (tactile agnosia และ cortical astereognosis) นอกจากผู้ป่วยไม่สามารถรู้ตัวหรือบอกได้ว่าส่วนต่างๆ ของร่างกายอยู่ในตำแหน่งใด มีการสับสนระหว่างส่วนของร่างกายซีกซ้ายและซีกขวา (proprioceptive agnosia)

Visual association area (Brodmann area 18, 19) คือส่วนของ cortex ที่อยู่ล้อมรอบ visual area ที่ medial และ lateral aspects ของ occipital lobe ติดต่อกับ area 17 ด้วย association fibers ทำหน้าที่แปลว่าสิ่งที่มองเห็นคืออะไร และมีหน้าที่ในการมองตามวัตถุ (following eye movement) ถ้าเกิด lesion ที่ area นี้ทำให้ไม่สามารถบอกได้ว่าสิ่งที่เห็นนั้นคืออะไร (visual agnosia)

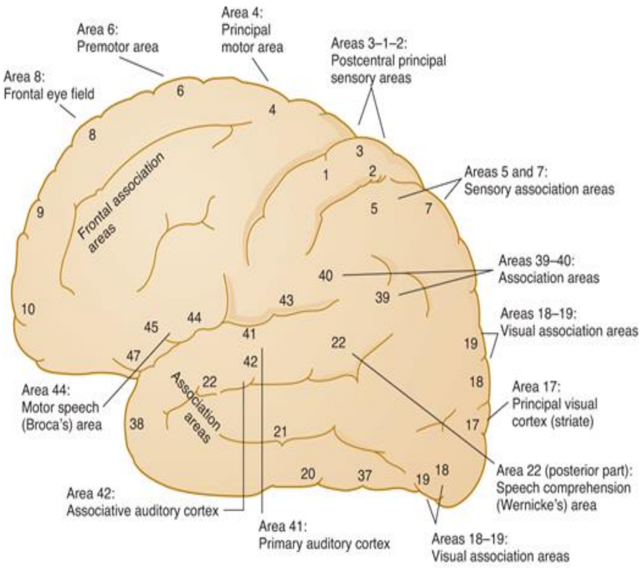
Auditory association area (Brodmann area 42) ทำหน้าที่แปลว่าสิ่งที่ได้ยินคืออะไร ถ้ามี lesion ทำให้ไม่สามารถเข้าใจสิ่งที่ยินคือ ฟังไม่รู้เรื่อง (sensory aphasia, word deafness) ผู้ป่วยสามารถพูดได้ตัวว่พูดอะไรไปบ้าง เนื่องจากไม่สามารถเข้าใจคำพูดของตนเอง เช่นเดียวกับที่ไม่เข้าใจคำพูดของผู้อื่น

Wernicke's area (Brodmann area 22) เป็น area ที่อยู่ล้อมรอบส่วนปลายของ lateral fissure โดย area 40 คือ supramarginal gyrus ส่วน area 39 คือ angular gyrus และ area 22 คือ superior temporal gyrus ฉะนั้น Wernicke's area คือส่วน parietotemporal area มีการเชื่อมโยงกับ auditory association area, visual association area และ sensory association area ถ้ามี lesion ที่ supramarginal gyrus (area 40) ผู้ป่วยพูดไม่ได้ทั้ง ๆ ที่ motor speech area (Broca's area) หรือสมองส่วนที่หาคำพูดหรือสร้างคำพูดยังดีอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากว่าผู้ป่วยไม่เกิดความคิดอ่านเนื่องจากข้อมูลที่ได้มาจึงไม่รู้ว่าจะพูดอะไร เรียก sensory aphasia ถ้ามี lesion ที่ angular gyrus (area 39) ใน Dominant hemisphere ผู้ป่วยไม่สามารถนำเอาข้อมูลจากสมองส่วนต่างๆ ที่มีการเชื่อมโยงกันนั้นมาทำให้เกิดความเข้าใจในภาษาหนังสือได้ ผู้ป่วยจะอ่านหนังสือแล้วไม่เข้าใจความหมาย อ่านแต่ไม่เข้าใจ (visual agnosia หรือ word blindness) อ่านหนังสือไม่ออกเนื่องจากไม่เข้าใจในภาษาหนังสือ อ่านไม่ได้ (alexia) เขียนหนังสือตามไม่ได้ (agraphia) ไม่เข้าใจตัวเลขคำนวณง่าย ๆ ไม่ได้ (acalculia) บอกซ้ายขวาไม่ได้เวลาถูกสัมผัส (Right-left disorientation) lesion ที่ posterior part ของ temporal lobe ผู้ป่วยไม่สามารถนึกชื่อเฉพาะซึ่งเคยทราบมาก่อนได้ เรียก amnesia aphasia

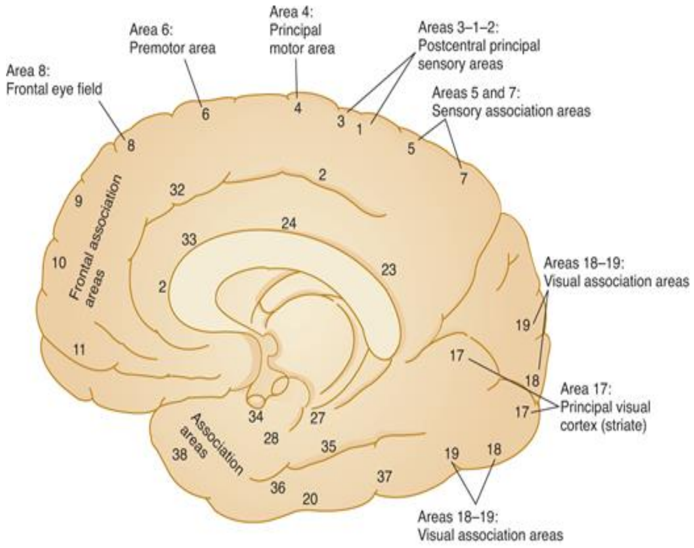
Association area มีหน้าที่นำเอาข้อมูลจาก sensory stimuli มาสร้างเป็นภาพพจน์ขึ้นและให้เข้าใจความหมายของ stimuli นั้น ๆ ขบวนการเช่นนี้เรียกว่าทำให้รู้หรือเข้าใจ (knowing = gnosis) ซึ่งการที่จะสามารถเข้าใจและเห็นภาพพจน์ได้ จะต้องอาศัยการนำเอาความรู้ในอดีตมาเปรียบเทียบกับสิ่งที่พบเห็นในปัจจุบัน ตัวอย่างเช่น การที่เราสามารถจำเพื่อนเก่าของเราได้ในฝูงชน เนื่องจาก visual association ของเรายังทำงานได้ดีอยู่ เป็นต้น

Supplementary motor area อยู่ที่ medial surface ของ frontal lobe ส่วนที่อยู่หน้าต่อ motor area ถ้ากระตุ้นที่ area นี้ด้วยกระแสไฟฟ้าจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของส่วนต่าง ๆ ของร่างกายถ้าทำลาย area

ทั้งซ้ายและขวา จะทำให้เกิดการ disturbance ของ posture และ tonus ของกล้ามเนื้อ แต่ไม่ทำให้เกิดอัมพาต จากที่กล่าวมาข้างต้นถึงตำแหน่งที่สำคัญของ Brodmann สรุปได้ ดังแสดงในรูปที่ 16 และตารางที่ 1



A



B

รูปที่ 16 แสดง Brodmann area ต่าง ๆ ของสมอง A: ทางด้านข้าง B: ด้านใน ที่มา: (Waxman, 2013.)

ตารางที่ 1 สรุปตำแหน่งสำคัญ หน้าที่ และการเชื่อต่อกับส่วนอื่น ๆ ของสมอง

	Brodmann Area	Name	Function	Connection
Frontal lobe	4	Primary motor cortex	Voluntary muscle activation	Contributes to corticospinal tract
	6	Premotor cortex		
	8	Frontal eyes field	Eye movement	Sends projections to lateral gaze center (papramedium pontine reticular formation)
	44,45	Broca’s area	Motor aspects of speech	Projects to Wernicke’s area via arcuate fasciculus

Parietal lobe	3,1,2	Primary sensory cortex	Somatosensory	Input from VPL, VPM
Occipital lobe	17	Stria cortex = primary visual cortex	processing of visual stimuli	Input from lateral geniculate only projects to area 18,19
	18,19	Extrastriate = visual association cortex	Processing of visual stimuli	Input from area 17
Temporal lobe	41, 42	Primary auditory cortex	Processing of auditory stimuli	Input from medial geniculate
	42	Associative auditory cortex		
	22	Wernicke's area	Language comprehension	Inputs from auditory association cortex, visual association cortex, Broca's area (via arcuate fasciculus)

ที่มา: (Waxman, 2013.)

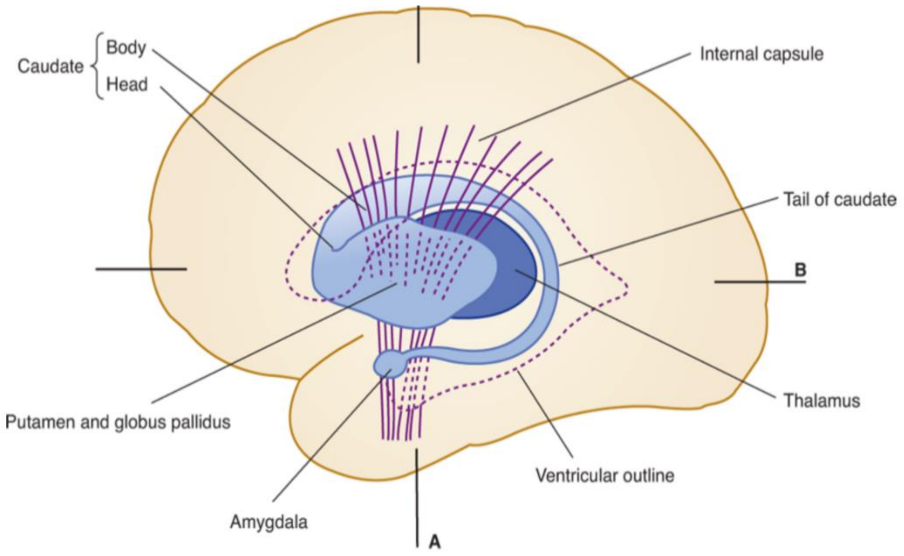
Basal ganglia ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18

เป็นกลุ่มของเซลล์ประสาทที่อยู่ในส่วนลึกของสมองใหญ่ เจริญมาจากส่วนของ telencephalon มีส่วนของ internal capsule แยก basal ganglion ออกจาก diencephalon ประกอบด้วยกลุ่มของ nucleus ดังนี้

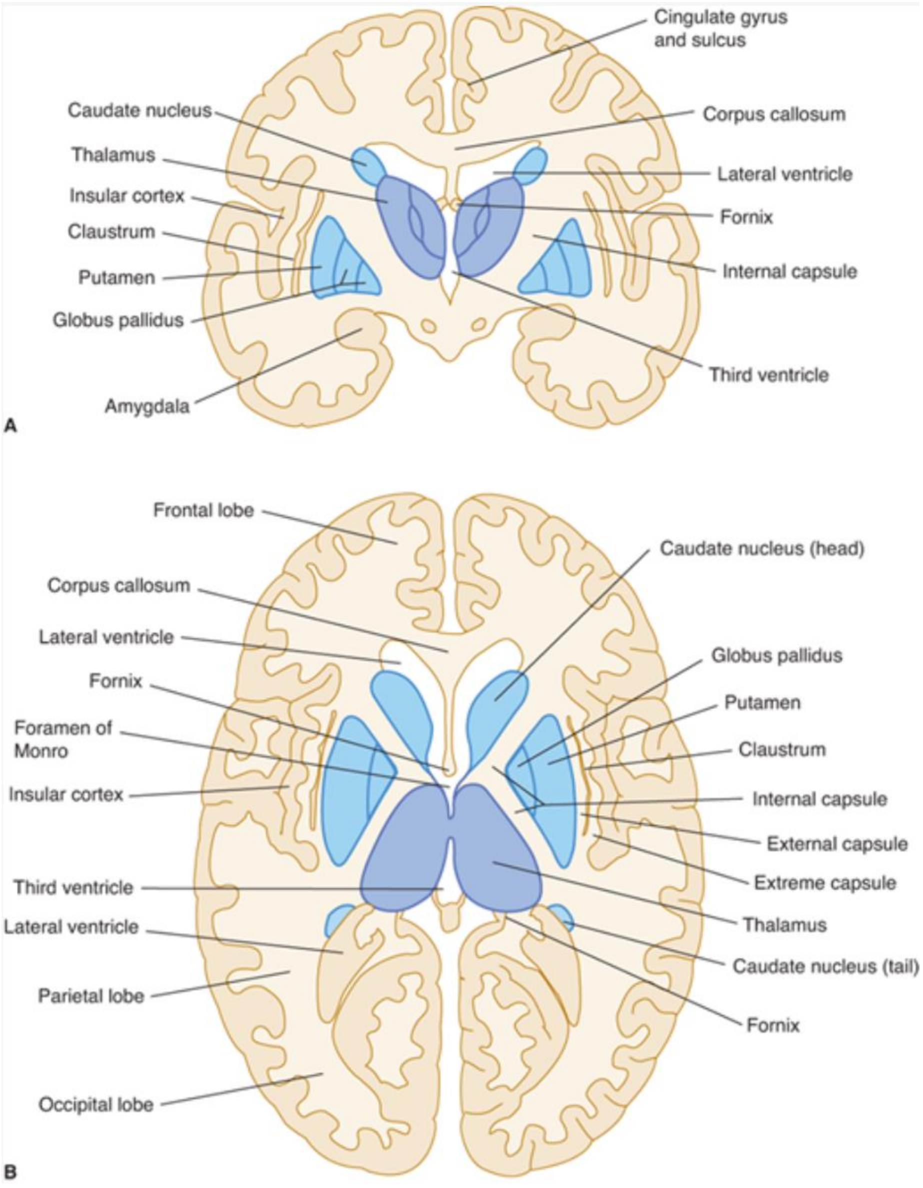
- caudate nucleus เป็นกลุ่มเซลล์ประสาทขนาดใหญ่ ทางด้านหน้าของ caudate nucleus มีขนาดใหญ่แล้วเรียวโค้งสัมพันธ์โดยตลอดกับ lateral ventricle แยกจาก dorsal thalamus ซึ่งอยู่ด้านในด้วยร่อง sulcus terminalis ทำให้แบ่ง caudate nucleus ออกเป็น 3 ส่วนคือ head, body และ tail โดย head จะรวมกับ lentiform nucleus ส่วน tail ไปสิ้นสุดที่ amygdaloid nucleus ดังแสดงในรูปที่ 17
- lenticular (lentiform) nucleus รูปร่างเหมือน lens แบ่งเป็น putamen และ globus pallidus โดย putamen เป็นกลุ่มเซลล์ประสาทขนาดใหญ่ที่สุดและอยู่ด้านนอกที่สุดของ basal ganglion วางตัวอยู่ระหว่าง external capsule และ external (lateral) medullary lamina ส่วนใหญ่ของ putamen 0 จะอยู่ลึกต่อ insular cortex และแยกจาก cortex นี้ด้วย extreme capsule ส่วน globus palidus อาจเรียกว่า pallidum เซลล์ประสาทกลุ่มนี้ถือว่าเป็น paleostriatum เนื่องจาก globus pallidus อยู่

ด้านในต่อ putamen จึงแยกจากกันด้วยใยสีขาวที่เรียกว่า external medullary lamina ทั้ง caudate และ putamen รวมกันมีลักษณะรูปร่างคล้ายเลนซ์ จึงรวมกันเรียว่า lenticular nucleus

- Amygdaloid nucleus เป็นกลุ่ม nucleus ที่อยู่ลึกสุดในชั้นลึกของ telencephalon อยู่ตรงปลายของ inferior horn ของ lateral ventricle จรดกับส่วนหางของ caudate nucleus ฝังตัวลงไปใน uncus ของ temporal lobe เป็นกลุ่มเซลล์ประสาทที่เจริญก่อนส่วนอื่น ๆ ของสมองส่วน basal ganglion ปัจจุบันพบว่า amygdala มีใยประสาทเกี่ยวโยงกับ caudate และ putamen หน้าที่สำคัญของเซลล์ประสาทกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับระบบ limbic system ดังแสดงในรูปที่ 18
- Claustrum อยู่ข้าง ๆ lentiform nucleus เป็นกลุ่มเซลล์ประสาทที่เจริญมาจากชั้นลึกของ insular cortex และ lenticular nucleus มีแถบใยสีขาวเรียก extreme capsule กั้นระหว่าง claustrum กับ insular cortex ซึ่งอยู่ด้านนอกและ external capsule กั้นระหว่าง claustrum และ lenticular nucleus ซึ่งอยู่ทางด้านในหน้าที่ของเซลล์ประสาทกลุ่มนี้ยังไม่ทราบแน่นอน ดังแสดงในรูปที่ 18



รูปที่ 17 แสดงภาพของส่วนประกอบของสมองส่วน basal ganglia และแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง basal ganglia, thalamus และ internal capsule ที่มา: (Waxman, 2013.)

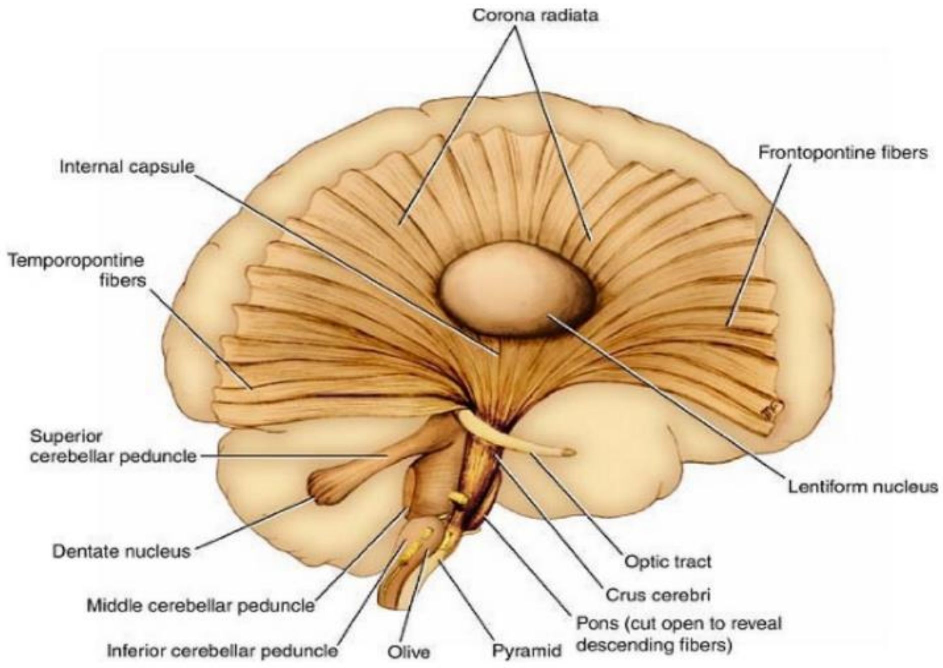


รูปที่ 18 A: แสดงภาพตัดในแนวหน้าหลังของสมองทั้งสองซีกแสดงตำแหน่งของ basal ganglion และสมองส่วน thalamus B: แสดงภาพตัดขวางของสมองทั้งสองซีกและแสดงตำปหน่งของ basal ganglion ที่มา: (Waxman, 2013.)

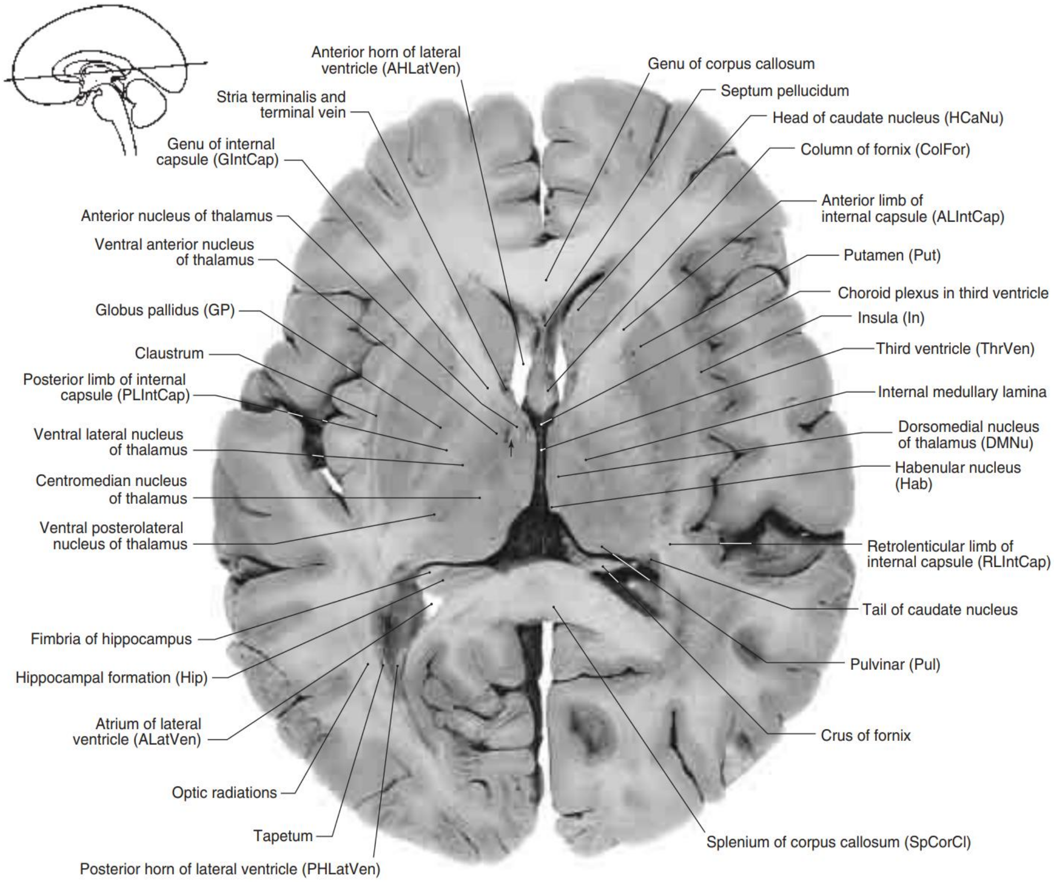
Internal capsule ดังแสดงในรูปที่ 19,20

เป็นกลุ่มของ fibre tracts ขนาดใหญ่มีทั้ง afferent เป็นวิถีประสาทขาขึ้นเพื่อนำข้อมูลไปยังสมอง เรียกว่า ascending tract และ efferent fibers เป็นวิถีประสาทขาลงจากสมองเรียกว่า descending tract แบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

- Anterior limb เป็นส่วนของวิถีประสาทขาขึ้นหน้าที่เกี่ยวกับการนำความรู้สึกต่าง ๆ ของร่างกายขึ้นไปยังสมอง
- Genu เป็นที่มีองค์ประกอบทั้งวิถีประสาทขาขึ้นและขาลงจากสมอง
- Posterior limb เป็นส่วนที่มีองค์ประกอบคือวิถีประสาทขาลงจากสมอง ทำให้หน้าที่ในการนำคำสั่งจากสมองไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบประสาทส่วนปลาย



รูปที่ 19 แสดงภาพส่วนของ internal capsule ของสมองซีกขวาที่ต่อมาจากส่วนของ corona radiata แล้วผ่านบริเวร midbrain เปลี่ยนชื่อเป็น cerebral peduncle ซึ่งสมองส่วน lentiform nucleus จะอยู่ข้างต่อ internal capsule ทีมา: (Haines, 2004)



รูปที่ 20 แสดง ภาพตัดขวางของสมอง 2 ซีกเพื่อแสดงตำแหน่งของ internal capsule แต่ละส่วน ที่มา: (Haines, 2004)

Diencephalon เป็นส่วนที่ถูกสมองคลุมไว้ทั้งหมด แบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 21, 22 และ 23 ได้แก่

1. Epithalamus
2. Thalamus, metathalus
3. Subthalamus
4. Hypothalamus

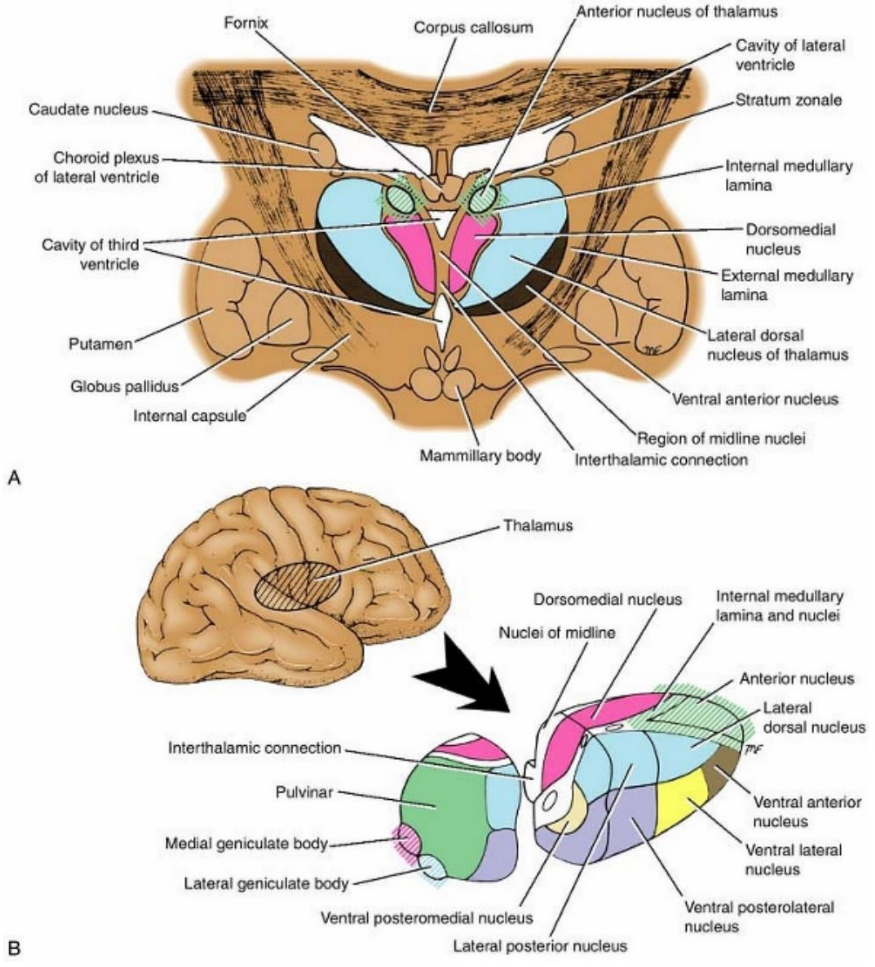
1. Epithalamus ประกอบด้วย pineal body, habenular, stria medullaris thalami, habenular commissure บางครั้งรวม posterior commissure ด้วย

Pineal gland เป็นต่อมขนาดเล็กที่หลงเหลืออยู่ไม่มีการเจริญเติมโตอย่างเต็มที่ ประกอบด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีเลือดมาเลี้ยงมาก คล้าย ๆ รูปทรงกรวยที่มีก้านวางติดกับส่วนไดเอนเซฟฟาลอน โดยวางตัวในแนวยื่นตัวไปทางด้านหลังต่อสมองส่วน midbrain ดังแสดงในรูปที่ 11 ส่วนฐานของก้าน pineal gland จะติดกับโพลงสมองที่เรียกว่า 3rd ventricle ส่วนบนที่ฐานของก้าน pineal gland จะมีส่วนที่มาจาก habenular commissure

และส่วนล่างของฐานจะมีองค์ประกอบที่มาจาก posterior commissure นอกจากนี้ pineal gland ถูกแบ่งออกเป็น lobes โดย connective tissue septa ที่ยื่นเข้าไปในแยกสารที่อยู่ข้างในในรูปแบบของ capsule ซึ่งใน pineal glandจะมีเซลล์อยู่ 2 ชนิด คือ pinealocytes และ glial ลักษณะของต่อม pineal จะมีการสะสมความแข็งขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออายุเพิ่มขึ้นและภายในส่วนของต่อม pineal จะไม่มีเซลล์ประสาทอยู่ แต่จะมีเส้นใยประสาทของ adrenergic sympathetic จาก superior cervical sympathetic ganglia ที่ผ่านเข้ามาในต่อมนี้เพื่อทำงานร่วมกันของทั้งสองส่วนนี้ สารคัดหลั่งที่หลั่งจาก pineal gland ที่รู้จักกันดี คือ serotonin, norepinephrine, melatonin, thyrotropin releasing hormone เป็นต้น ตัวที่สำคัญคือ melatonin ที่สังเคราะห์มาจาก serotonin มีความสำคัญต่อการปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของแสงสว่างระหว่างเวลากลางวันกับกลางคืน โดยแสงสว่างจะขัดขวางการส่งสัญญาณประสาทไปยัง pineal gland ในเวลากลางคืน นอกจากนี้ pineal gland ยังยับยั้งการทำงานของอวัยวะสืบพันธ์ ในสัตว์เลื้อยคลาน pineal gland จะตอบสนองต่อความเข้มของแสง กระตุ้นการสร้าง melanin pigment โดยการเพิ่มปริมาณของ cutaneous pinealocyte เป็นการปรับสีของผิวให้กลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม สรุป ความมือเพิ่ม pineal secretion เพิ่มการหลั่ง melatonin ผลิตในเด็กมากแต่ลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ช่วงวัยรุ่นและจะลดลงอย่างมากเมื่ออายุลดลง เมื่ออายุ 40 ปี

Habenular nucleus เป็นกลุ่มเซลล์ประสาทเล็กที่รวมตัวกันทางด้านในค่อนไปทางด้านหลังของทาลามัสได้รับเส้นประสาทขาเข้าจาก amygdaloid nucleus ของ temporal lobe ผ่าน stria medullaris thalami โดยบางส่วนของ stria medullaris thalami จะพาดข้ามไปฝั่งตรงข้ามเพื่อไปรวมกับ stria medullaris thalami ฝั่งตรงข้ามจึงเป็นส่วนหนึ่งของ habenular commissure โดย axon จาก habenular nucleus จะผ่านเข้าไปยัง interpeduncular nucleus ที่บริเวณหลังคาของ interpeduncular fossa ซึ่งประกอบด้วย tectum และ reticular formation ของ midbrain และทาลามัส โดยหน้าที่ของ habenular nucleus น่าจะเกี่ยวข้องกับการประมวลผลของระบบการรับความรู้สึกด้านดมกลิ่น การรับความรู้สึกของอวัยวะภายใน และการรับความรู้สึกทั่วไปของร่างกาย ส่วนเส้นประสาทขาเข้าจากบริเวณอื่นของสมองจะผ่านเข้ามาทาง hippocampal formation ที่เรียกว่า fornix ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10

2. Thalamus ด้านบนจะมี stria medullaris thalami และ roof of 3rd ventricle ด้านล่างจะแยกจาก hypothalamus ด้วยร่องตื้น ๆ คือ hypothalamus sulcus, thalamus ทั้ง 2 ข้าง จะติดต่อกันโดย messa intermedia (interthalamic connection) ส่วนที่เป็น metathalamus คือ medial และ lateral geniculate body ดังแสดงในรูปที่ 17



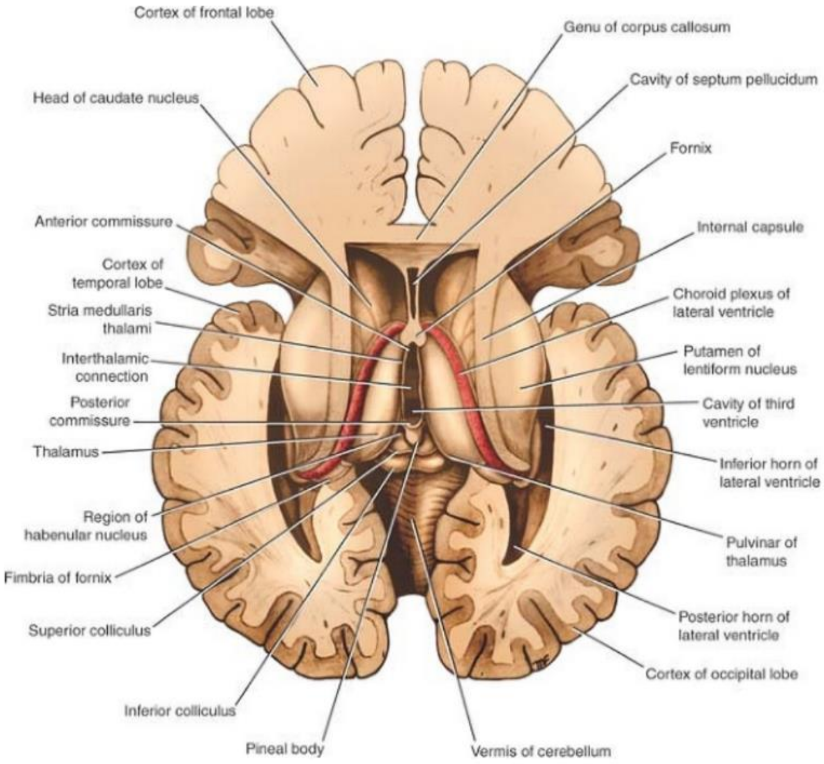
รูปที่ 21 แสดงนิวเคลียสของสมองส่วนทาลามัส A: เป็นภาพตัดขวางที่ตัดผ่านทางด้านหน้าของทาลามัส B: เป็นภาพวาดที่แสดงตำแหน่งของทาลามัสในสมองซีกขวาและแสดงตำแหน่งของนิวเคลียสต่าง ๆ ภายในทาลามัส ที่มา: (RS., 2010.)

3. Subthalamus มีรูปร่างคล้ายกับเลนส์นูน อยู่ทางด้าน ventral surface ของ thalamus โดยวางตัวอยู่ระหว่าง thalamus และ tegmentum ของสมองส่วน midbrain จะสัมพันธ์กันกับสมองส่วน hypothalamus โครงสร้างของ subthalamus จะค่อนข้างซับซ้อน และมีการศึกษาเกี่ยวกับหน้าที่ของ subthalamus ค่อนข้างน้อย เซลล์ประสาทที่พบใน subthalamus จะเป็นจุดสิ้นสุดของ

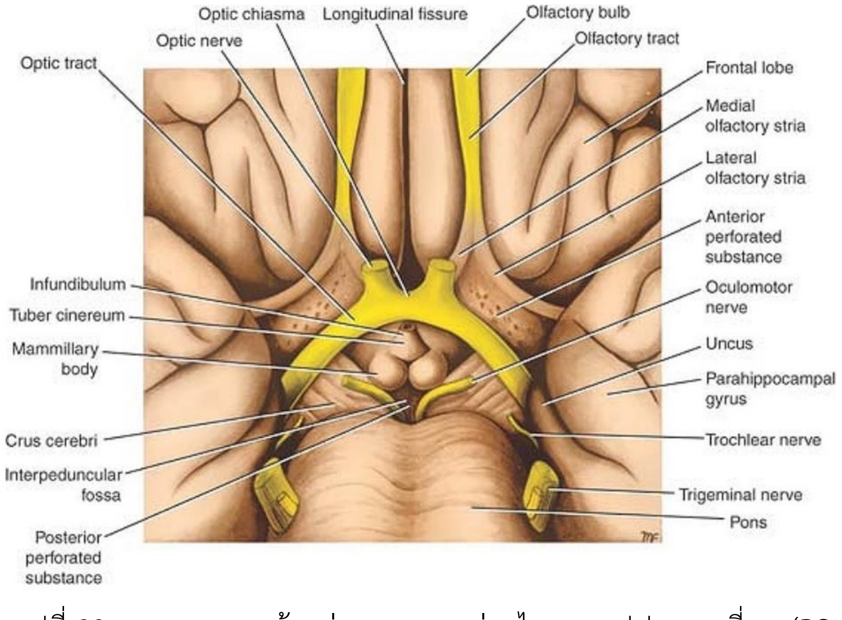
เส้นประสาทที่มาจากสมองส่วน red nucleus และ substantia nigra (ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะเชื่อมต่อกับสมองส่วน **corpus striatum** โดยจะมีบทบาทเกี่ยวข้องกับการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ)

4. Hypothalamus มีเนื้อที่ประมาณร้อยละ 0.5 ของปริมาตรของสมองทั้งหมด เป็นส่วนหนึ่งของ diencephalon ที่ยื่นออกมาจาก optic chiasma เข้าไปยังของของ mammillary bodies อยู่ใต้ thalamus และเป็นพื้นให้กับโพลงสมองส่วนของ 3rd ventricle นอกจากนี้ยังรวมไปถึงส่วนที่ยื่นไปทางด้านหน้าด้วยเพราะเป็นส่วนหนึ่งที่ยื่นออกไปจาก optic chiasma ไปยัง **lamina terminalis** และ **anterior commissure** ซึ่งก็คือส่วนของ **preoptic area** บริเวณส่วนต้นของ **hypothalamus** จะรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่ง **tegmentum** ของสมองส่วน **midbrain** ของทางด้านข้างจะเป็นส่วนของ **internal capsule** ดังรูปที่ 22 หน้าที่ของ hypothalamus คือควบคุมความสมดุลของร่างกายผ่านระบบประสาทอัตโนมัติและระบบการทำงานของต่อมไร้ท่อ และมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการแสดงออกของอารมณ์ แลพฤติกรรมการกินอาหาร การดื่ม การสืบพันธ์ และก้าวร้าวรุกราน ทำหน้าที่จำเป็นสำหรับปรับพฤติกรรมต่าง ๆ ให้เหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกร่างกาย ทำหน้าที่สำคัญในการประสานให้เกิดความสัมพันธ์ของพฤติกรรมจำเป็นต่อการรักษาและคงไว้ซึ่ง
เผ่าพันธ์ หากทำลาย suprachiasmatic nucleus ทั้งสองข้างของ hypothalamus จะทำให้ circadian rhythm of spontaneous motor activity ของการกินและการดื่มหมดไป รวมทั้งวงจรการนอนหลับและการตื่นหมดไปด้วย เปรียบเสมือน biological clock ประกอบด้วย

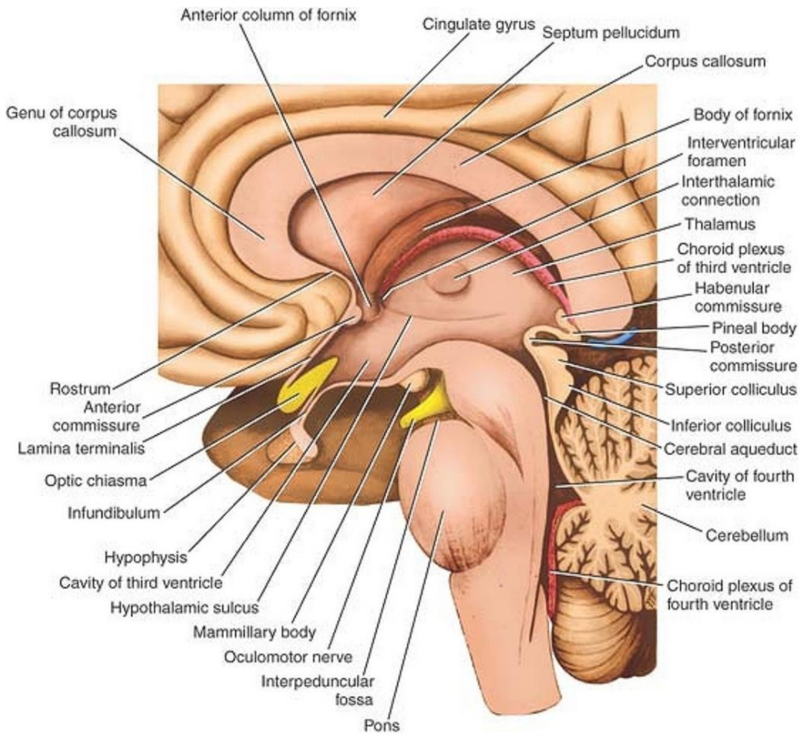
- Optic chiasma
- The tuber cinereum and Infundibulum
- Mammillary bodies



รูปที่ 22 แสดงภาพตัดขวางของสมองมองจากมุมบนเพื่อแสดงภาพรวมของสมองส่วนบนแสดง บางส่วนของสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน ที่มา: (RS., 2010.)



รูปที่ 23 แสดงภาพทางด้านล่างของสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน ที่มา: (RS., 2010.)



รูปที่ 24 แสดงภาพตัดในแนวตั้งทางด้านในของสมองซีกขวาเพื่อแสดงตำแหน่งของ สมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอน
ที่มา: (RS., 2010.)

Symptoms and signs caused by cerebral hemispheric lesions

เนื่องจาก cerebral hemisphere มีขนาดใหญ่และประกอบด้วย neurons จำนวนมากมาย ดั้งนั้น lesion ที่มีขนาดเท่ากับ lesion ที่เกิดขึ้นที่ brainstem หรือ spinal cord จะก่อให้เกิด less pronounced deficits

การกำหนดหาตำแหน่งของ lesion จะยากกว่าการหา lesions ในส่วนอื่นของสมอง (brainstem & spinal cord) และการ recovery จะ more complete กว่า lesions ในส่วนอื่น แม้ว่าจะยังเหลือความผิดปกติของ motor & sensory อยู่บ้าง ที่เป็นเช่นนี้อาจจะเนื่องจากมี reorganized ของ cortex เพื่อทำหน้าที่แทนส่วนที่ถูกทำลายไป

เนื่องจากมันเป็น extensive multisynaptic arrays จึง susceptible ต่อ metabolic disturbance ดั้งนั้น กรณีที่ผู้ป่วยอาการดีขึ้นแล้วจาก cerebral lesion (sensory aphasia) แต่พอเป็น pneumonia พบว่าคนไข้กลับมาเป็น sensory aphasia อีก

ขอบเขต & quality จะกำหนดได้ไม่แน่ชัดเท่ากับ lesion ของ brainstem or peripheral nerves เช่น ผู้ป่วยที่เสีย ulnar n. จะบอกขอบเขตของบริเวณที่ชาได้ถูกต้อง แต่ผู้ป่วยที่เสีย primary somatosensory cortex จะมีความลำบากในการบอกตำแหน่งที่เสีย sensory นั้น ๆ ดังนั้นการสัมภาษณ์อย่างสั้น ๆ อาจไม่สามารถบอกตำแหน่งที่เสีย sensory นั้น ๆ ดั้งนั้นการสัมภาษณ์อย่างสั้น ๆ อาจไม่สามารถบอกตำแหน่ง lesion ในสมองถูกต้อง

Neurologic deficits ที่เกิดจาก hemispheric lesions มักจะไม่สม่ำเสมอ (more inconsistent) ดั้งนั้น การตรวจร่างกายอาจให้ผลต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับภาวะของร่างกาย และสิ่งกระตุ้น จึงต้องมีการตรวจร่างกายอาจให้ผลต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับภาวะของร่างกาย และสิ่งกระตุ้น จึงต้องมีการตรวจซ้ำหลายครั้งเพื่อความถูกต้องในการวินิจฉัยและรักษา

กรณีที่มี global deficits เช่น alexia ต้องวิเคราะห์ให้ละเอียดว่าอ่านหนังสือไม่ออก เพราะความผิดปกติของการมอง เช่น การมองไปทางซ้ายมองได้ไม่หมดทำให้มองเห็นตัวหนังสือไม่หมด (frontoparietal lesion) หรือว่าอ่านไม่ได้เพราะไม่เข้าใจตัวอหนังสือ (occipital lesion)

อาการแสดงแบบเดียวกันที่แสดงออกมาอาจรับผิดชอบโดย different cortical หรือ areas ที่เหมือนกันแต่คนละข้างของ hemisphere และยังมี individual variability อีกด้วย ดังนั้น การกำหนดตำแหน่งและขอบเขตของ lesion จากกลุ่มอาการที่คล้ายคลึงกัน จึงไม่อาจบอกได้แน่นอน เช่น กลุ่มอาการของผู้ป่วยที่มี cerebral lesions ที่มีอาการ aphasia อาจเป็ฯ global aphasia ที่เกดจากมี infarction of cortical area หรืออาจเป็นเฉพาะ motor (Broca' s) aphasia เป็นต้น

Lesion ที่เกิดบริเวณเดียวกันของแต่ละสมองก็อาจแสดงอาการออกมาไม่เหมือนกันขึ้นอู่กับระยะเวลาและลักษณะของการทำลายสมองส่วนนั้น เช่น กรณีที่สมองสูญเสีย neurons จาก infarction พบว่าอาการจะรุนแรงกว่า (severe deficits) สมองที่ถูกทำลายโดยเนื้องอกซึ่งเป็นอย่างช้า ๆ แม้จะเป็นสมองบริเวณเดียวกันก็ตาม ก้อนเนื้องงอกจะมีขนาดใหญ่ที่เดียวกว่าจะทำให้เกิดอการ aphasia ส่วน weakness มักจะพบไม่มากในกรณีของ infarction ในขณะที่จะพบได้รุนแรงในกรณีของ tumor ดังนั้นในการกำหนดตำแหน่งของ diffuse lesions จึงทำได้ยากแต่เมื่อเวลาผ่านไปนาน ๆ จนทันอาการ acute แล้วอาการแสดงออกอาจคล้ายกันในกรณีที่ถูกทำลายในสมองส่วนเดียวกัน

Lesions ที่ทำลายเฉพาะ cortex (เช่น hypoxic laminar necrosis) จะแสดงอาการต่างจาก lesion ที่ทำลายเฉพาะส่วน white matter (เช่น multiple sclerosis) ลักษณะอาการแสดงในกรณีที่เป็น cortical lesions คือ

- seizures
- multimodal motor and sensory deficits เช่น aphasia & apraxia

แม้ว่า lesion ทำลาย white matter ก็อาจมีอาการ aphasia แต่จะแสดงออกเมื่อ lesion นั้นลามไปถึง cortical lesion ลักษณะอาการแสดงในกรณีที่เป็น white matter lesions ได้แก่

- weakness
- spasticity
- visual field deficits
- pure motor syndromes

- Urinary incontinence

Lesions ที่เกิดใน internal capsule มักมีสาเหตุมาจาก vascular caused มักจะหลงเหลือบริเวณที่ทำหน้าที่นำ sensory tracts ไว้เสมอทำให้เกิดอาการ pure motor syndromes ส่วนของกล้ามเนื้อใบหน้าและกล้ามเนื้อเคลื่อนไหวลูกตามักถูกระทบ (affected) เสมองถ้ามี lesion ที่ genu or anterior part of the posterior limb แต่ถ้าส่วน posterior part ถูกทำลายจะทำให้เกิด weakness of arm และถ้าส่วนหลังสุดของ posterior limb ถูกทำลายก็จะมี weakness ของ leg & visual field defects

สรุปท้ายบท เนื่อหาจากการเรียนในหัวข้อนี้ จะทำให้นิสิตเข้าใจถึงโครงสร้าง หน้าที่ ของสมองใหญ่และสมองส่วนไดเอนเซฟฟาลอนได้เป็นอย่างดีทำให้สามารถนำไปต่อยอดในการศึกษาหัวข้อต่อไปคือระบบไหลเวียนเลือดระบบไหลเวียนน้ำหล่อเลี้ยงสมองและไขสันหลัง และระบบอื่น ๆ ของสมองและไขสันหลังต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถนำไปต่อยอดในการเรียนรายวิชากายภาพบำบัดทางระบบประสาท 1, 2 และ 3 เพราะจะทำให้นิสิตเชื่อมโยงความสัมพันธ์ทางคลินิกได้

เอกสารอ้างอิง

AL-Kafajy, A. A. (2016). *NEUROANATOMY*. Retrieved from

Greenstein, B. G. a. A. (2000). *Color Atlas of Neuroscience Neuroanatomy and Neurophysiology*. New York Library of Congress Cataloging.

Haines, D. E. (2004). *Neuroanatomy, An Atlas of Structures, Sections, and Systems*. Philadelphia: Pippncott Williams & Wilkins

RS., S. (2010.). *Clinical Neuroanatomy*. Philadelphia,: PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Waxman, S. G. (2013.). *Clinical neuroanatomy*. USA: McGraw-Hill Companies.