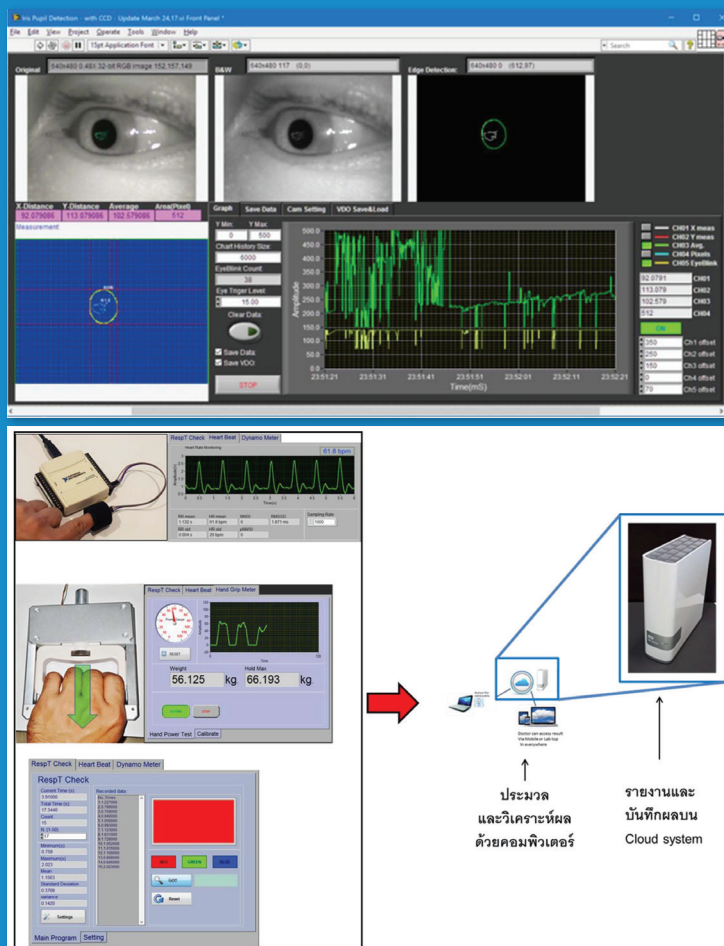




สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

นวัตกรรม

เครื่องมือประเมินภาวะสุขภาพด้วยการประยุกต์ใช้
ความรู้ธีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ



ดร.เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ

นวัตกรรม

เครื่องมือประเมินภาวะสุขภาพด้วยการประยุกต์ใช้
ความรู้สรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

นวัตกรรม

เครื่องมือประเมินภาวะสุขภาพด้วยการประยุกต์ใช้
ความรู้สรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

ดร.เกษรา รัชพงษ์ศิริ

รองศาสตราจารย์

ภาควิชากายภาพบำบัด

คณะสหเวชศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2565

หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2563 (ครั้งที่ 1)

เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ.

นวัตกรรมเครื่องมือประเมินภาวะสุขภาพด้วยการประยุกต์ใช้ความรู้สรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ.

1. กายบริหาร – สรีรวิทยา. 2. สมรรถภาพของร่างกาย.
3. สรีรวิทยาระบบประสาทและระบบกล้ามเนื้อและโครงกระดูก.

QT256

ISBN 978-616-314-759-2

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-823-0

ลิขสิทธิ์ของรองศาสตราจารย์ ดร.เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม 2565

จำนวน 30 เล่ม (ฉบับพิมพ์เพิ่ม)

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) เดือนมกราคม 2565

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: unipress@tu.ac.th

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนกันยายน 2564 จำนวน 30 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม 2565 จำนวน 30 เล่ม (ฉบับพิมพ์เพิ่ม)

ราคาเล่มละ 240.- บาท

สารบัญ

คำนำ	(9)
กิตติกรรมประกาศ	(10)
บทนำ	(11)
บทที่ 1 สรีรวิทยาและพยาธิสรีรวิทยาของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ	1
1. สรีรวิทยาของเซลล์ประสาท	2
1.1 ลักษณะและองค์ประกอบของเซลล์ประสาท	3
1.2 ระบบประสาทและชนิดของเส้นใยประสาท	6
1.3 สภาวะอิออนที่เยื่อหุ้มเซลล์	8
1.4 ลักษณะเฉพาะของเซลล์ประสาท	9
1.5 พยาธิสภาพและการบาดเจ็บของเส้นประสาท	13
2. สรีรวิทยาของเซลล์กล้ามเนื้อ	16
2.1 ระบบกล้ามเนื้อและชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ	16
2.2 ลักษณะและองค์ประกอบของเซลล์กล้ามเนื้อลาย	18
2.3 สภาวะอิออนที่เยื่อหุ้มเซลล์	20
2.4 ลักษณะเฉพาะของเซลล์กล้ามเนื้อ	23
2.5 พยาธิสภาพและการบาดเจ็บของเซลล์กล้ามเนื้อ	30
3. การทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ	39
3.1 การเคลื่อนไหวของร่างกาย	39
3.2 ระบบประสาทสั่งการ	40
3.3 ปฏิกริยาอัตโนมัติ	41
บทที่ 2 สรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ	51
1. การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการออกกำลังกาย	52
1.1 ความหมายและประเภทการออกกำลังกาย	52
1.2 การแบ่งชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อที่ตอบสนองต่อการออกกำลังกาย	53
1.3 การตอบสนองทางสรีรวิทยาต่อการออกกำลังกาย	55

2. หลักพื้นฐานการออกกำลังกายและการฝึก	60
2.1 หลักพื้นฐานทั่วไปในการออกกำลังกาย	60
2.2 หลักพื้นฐานการฝึกให้เกิดความแข็งแรง	61
2.3 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ในการออกกำลังกาย	63
3. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย	65
3.1 ปัจจัยทั่วไป	65
3.2 ปัจจัยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการฝึกให้เกิดความแข็งแรง	71
4. สมรรถภาพทางกาย	72
4.1 ความหมายและวัตถุประสงค์	72
4.2 ข้อปฏิบัติเพื่อรับการทดสอบสมรรถภาพทางกาย	72
4.3 การทดสอบสมรรถภาพของกล้ามเนื้อ	73
บทที่ 3 ชีวพลังงานศาสตร์กับสรีรวิทยาการออกกำลังกาย	83
1. ชีวพลังงานศาสตร์	84
1.1 พลังงาน	84
1.2 เมตาบอลิซึม	84
1.3 แหล่งพลังงาน	86
1.3.1 ระบบฟอสฟาเจน	86
1.3.2 ระบบแอนแอโรบิก	87
1.3.3 ระบบแอโรบิก	88
1.4 การใช้แหล่งพลังงานในขณะพักและออกกำลังกาย	89
1.5 ประเภทการออกกำลังกายกับการใช้พลังงาน	90
2. การออกกำลังกายกับการเปลี่ยนแปลงภายในร่างกาย	90
2.1 หลักการออกกำลังกายตามระบบการใช้พลังงาน	94
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการออกกำลังกาย	96
2.3 หลักการเลือกสารอาหารเพื่อสร้างพลังงานสำรอง	97

บทที่ 4 นวัตกรรมสุขภาพกับสรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาท
และกล่ามเนื้อ: ตัวอย่างที่ 1
101

การสร้างเครื่องประเมินความล้าทางสายตาและค่าเวลาปฏิกิริยาการตัดสินใจ
ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- | | |
|-----------------------------------|-----|
| 1. ความสำคัญและที่มา | 102 |
| 2. วัตถุประสงค์ | 103 |
| 3. แนวคิดและสมมุติฐาน | 104 |
| 4. ทบทวนวรรณกรรม | 106 |
| 5. หลักการออกแบบ | 109 |
| 6. ขั้นตอนการสร้าง | 111 |
| 7. ลักษณะและการทำงานของเครื่องมือ | 112 |
| 8. วิธีใช้เครื่องมือ | 119 |
| 9. ทดสอบประสิทธิภาพ | 123 |
| 10. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ | 132 |
| 11. สรุปและการนำไปใช้ | 135 |

บทที่ 5 นวัตกรรมทางสุขภาพกับสรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาท
และกล่ามเนื้อ: ตัวอย่างที่ 2
139

การสร้างเครื่องวัดสมรรถภาพทางกายด้วยตนเอง วิเคราะห์และแสดงผลด้วย
โปรแกรมคอมพิวเตอร์

- | | |
|--|-----|
| 1. ความสำคัญและที่มา | 140 |
| 2. วัตถุประสงค์ | 142 |
| 3. แนวคิดและสมมุติฐาน | 142 |
| 4. ทบทวนวรรณกรรม | 143 |
| 5. หลักการออกแบบ | 150 |
| 6. ขั้นตอนการสร้าง | 152 |
| 7. ลักษณะและการทำงาน ส่วนที่ 1 | 152 |
| 7.1 เครื่องมือและโปรแกรมวัดอัตราการเต้นหัวใจ | 152 |
| 7.2 วิธีใช้งาน | 155 |
| 7.3 ทดสอบประสิทธิภาพ | 155 |

8. ลักษณะและการทำงาน ส่วนที่ 2	158
8.1 เครื่องมือและโปรแกรมวัดแรงบีบมือ	158
8.2 วิธีใช้งาน	160
8.3 ทดสอบประสิทธิภาพ	161
9. ลักษณะและการทำงาน ส่วนที่ 3	163
9.1 เครื่องมือและโปรแกรมวัดค่าเวลาปฏิกิริยาตอบสนองต่อการตัดสินใจ	163
9.2 วิธีใช้งาน	166
9.3 ทดสอบประสิทธิภาพ	169
9.4 การประเมินความพึงพอใจของอาสาสมัคร	172
10. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	172
11. สรุปและการนำไปใช้	173
บรรณานุกรม	175
ดัชนี	180

คำนำ

การที่บุคคลใดบุคคลหนึ่งมีสุขภาพที่แข็งแรงเป็นปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งเสริมให้บุคคลนั้นประสบความสำเร็จในทุกๆ ด้าน และการมีสุขภาพดีนั้นเป็นเรื่องที่ทุกคนปรารถนา การออกกำลังกายช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงให้เกิดขึ้นกับระบบต่างๆ ภายในร่างกาย การออกกำลังกายอย่างถูกต้องตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ จะช่วยเสริมสร้างสมรรถภาพทางกาย ส่งเสริมทำให้การฝึกกีฬาเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และเกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอและเหมาะสม จะช่วยสร้างเสริมระบบภูมิคุ้มกันและช่วยป้องกันโรคต่างๆ ดังพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตร ที่ทรงมีพระราชจริยาวัตรด้านการออกกำลังกาย และได้พระราชทานพระราชดำรัสแก่ข้าราชการบริพารว่า

“การออกกำลังกายนั้น ถ้าทำน้อยไปร่างกายและจิตใจก็จะเฉา
ถ้าทำมากเกินไปร่างกายและจิตใจก็ชา”

ปัจจุบันความเจริญด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างมาก นำไปสู่การประยุกต์ความรู้ทางสรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อกับหลักในการออกแบบสร้างเครื่องมือทางวิศวกรรม พัฒนาสร้างเป็นนวัตกรรมเครื่องมือทางสุขภาพ มีการแสดงขั้นตอนการออกแบบและตัวอย่างวงจรอิเล็กทรอนิกส์ปรากฏภายในเล่ม สำหรับเป็นต้นแบบการค้นคว้าให้นักประดิษฐ์รุ่นใหม่สามารถใช้ในการสร้างสรรค์ผลงาน เพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดเกี่ยวกับภาวะสุขภาพและสมรรถภาพทางกายเบื้องต้นในแต่ละบุคคลและสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ในคนกลุ่มใหญ่ได้ต่อไป

ดร.เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ

กิตติกรรมประกาศ

คุณประโยชน์ และคุณความดีของตำราเล่มนี้ ผู้เขียนขอมอบให้ คุณพ่อสง่า และคุณแม่ เอ็นดู พงศ์สัมพันธ์ ผู้เป็นแรงบันดาลใจในการเขียนตำราเล่มนี้ ทั้งความห่วงใย และเป็นผู้อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในทุกด้านของผู้เขียน

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนความรู้ทั้งด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต

ขอขอบคุณ คุณพรชัย รักษ์พงษ์ศิริ ให้คำปรึกษาด้านวิศวกรรม การออกแบบสำหรับการสร้างเครื่องมือ

ขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ “ทุนวิจัยเพื่อพัฒนาสิ่งประดิษฐ์” ตามสัญญาเลขที่ สป 9/2559 และ สป 9/2560

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณพระเจ้า ผู้ประทานชีวิตและให้สติปัญญากับผู้เขียน และเป็นกำลังใจสำคัญที่สุดให้ “สามารถผจญปัญหาทุกสิ่งได้ โดยพระองค์ผู้ทรงเสริมกำลังใจ” และให้ตำราเล่มนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ดร.เกษรา รักษ์พงษ์ศิริ

บทนำ

ระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นระบบที่สำคัญของร่างกาย ในการทำงานเชื่อมโยงให้เกิดการตอบสนองของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย สรีรวิทยาและพยาธิสรีรวิทยาของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เป็นการทำงานของระบบประสาทที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณให้เกิดการตอบสนองเป็นการหดตัวของกล้ามเนื้อ หากเกิดการบาดเจ็บต่อเส้นประสาท นอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงแล้ว ก็อาจส่งผลทำให้เกิดความไม่สมดุลกับอวัยวะอื่นๆ ภายในร่างกายด้วย นอกจากนี้ ยังได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบต่างๆ ในร่างกาย ที่ตอบสนองต่อการออกกำลังกาย ตลอดจนประยุกต์ใช้ความรู้ทางสรีรวิทยาของการออกกำลังกาย เพื่อวางแผนการออกกำลังกายและการฝึกฝน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของผู้ฝึก

การประยุกต์ความรู้กับการสร้างนวัตกรรมสุขภาพทางสรีรวิทยาการออกกำลังกายของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ สามารถใช้เป็นดัชนีชี้วัดเกี่ยวกับภาวะสุขภาพของร่างกายเบื้องต้น อีกทั้งนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัย โดยใช้ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์สุขภาพร่วมกับการออกแบบทางวิศวกรรม โดยออกแบบอุปกรณ์ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงขนาดรูปร่างตามต้นแบบ “iris RT” โดยใช้วิธี Image processing และตรวจจับความถี่ในการกะพริบตาแสดงบนคอมพิวเตอร์ เพื่อประกอบในการวิเคราะห์ความล้า ร่วมกับการวัดค่าเวลาปฏิกิริยาที่ตอบสนองการตัดสินใจแบบ choice reaction time และออกแบบเครื่องมือวัดสมรรถภาพทางกายด้วยตนเองต้นแบบ “FIBER-FIT” สามารถวัดอัตราการเต้นหัวใจ แรงบีบมือและค่าเวลาปฏิกิริยาที่ตอบสนองต่อการตัดสินใจที่ออกแบบให้อยู่ในเครื่องวัดเดียวกัน เครื่องมือต้นแบบทั้งสองสามารถแสดงข้อมูลและวิเคราะห์ ตลอดจนบันทึกและเก็บลงบนสื่อบันทึกข้อมูลกลางคลาวด์ (Cloud) สามารถเรียกการแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และอุปกรณ์พกพา เช่น โทรศัพท์มือถือ หรือคอมพิวเตอร์แท็บเล็ต ผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบออนไลน์ระบบอินเทอร์เน็ต รายงานผลให้ทราบทางอุปกรณ์สื่อสารต่างๆ เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล คอมพิวเตอร์ Notebook โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต

สรีรวิทยาและพยาธิสรีรวิทยาของระบบประสาท และกล้ามเนื้อ

(Physiology and pathophysiology of
neuromuscular system)

สรีรวิทยาของเซลล์ประสาท

- ลักษณะและองค์ประกอบของเซลล์ประสาท
- ระบบประสาทและชนิดของเส้นใยประสาท
- สภาวะอิออนที่เยื่อหุ้มเซลล์
- ลักษณะเฉพาะของเซลล์ประสาท
- พยาธิสภาพและการบาดเจ็บของเส้นประสาท

สรีรวิทยาของเซลล์กล้ามเนื้อ

- ระบบกล้ามเนื้อและชนิดของเซลล์กล้ามเนื้อ
- ลักษณะและองค์ประกอบของเซลล์กล้ามเนื้อลาย
- สภาวะอิออนที่เยื่อหุ้มเซลล์
- ลักษณะเฉพาะของเซลล์กล้ามเนื้อ
- พยาธิสภาพและการบาดเจ็บของเซลล์กล้ามเนื้อ

สรีรวิทยาของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ

- การเคลื่อนไหวของร่างกาย
- ระบบประสาทสั่งการ
- ปฏิกิริยาอัตโนมัติ

ในร่างกายของเรามีเซลล์จำนวนหนึ่ง มีคุณสมบัติแตกต่างจากเซลล์ทั่วไป คือ เซลล์พวกนี้สามารถถูกกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองได้ง่าย เรียกคุณสมบัตินี้ว่า “excitability” หรือ “irritability” เซลล์ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ในร่างกายของเรา เช่น เซลล์ประสาท เซลล์กล้ามเนื้อ เป็นต้น

1. สรีรวิทยาของเซลล์ประสาท

เนื้อประสาทหรือเซลล์ประสาทเป็นเนื้อเยื่อในร่างกายมนุษย์ที่ทำหน้าที่ในการรับรู้ และตอบสนองต่อสิ่งที่มากระตุ้น ที่มีความซับซ้อนและมีการพัฒนาอย่างมากตั้งแต่ยังเป็นตัวอ่อน (embryo) และต่อเนื่องจนถึงวัยเจริญพันธุ์ (maturation) เพื่อทำหน้าที่ควบคุม ประสานงาน และทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบกับการทำงานของอวัยวะอื่นๆ โดยแสดงออกมาในรูปของพฤติกรรมต่างๆ เช่น การรับรู้ การเรียนรู้ ความจำ การควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกาย เป็นต้น

เซลล์ประสาท (neuron) หลายร้อยล้านเซลล์ประกอบขึ้นเป็นระบบประสาท ซึ่งเป็นระบบที่มีวิวัฒนาการที่ซับซ้อนที่สุดในร่างกายมนุษย์ ทำหน้าที่ควบคุมและทำงานร่วมกันกับอวัยวะอื่นๆ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องของกระบวนการในการดำรงชีวิตได้อย่างปกติสุข หน้าที่ของเซลล์ประสาทที่สำคัญคือ ส่งกระแสประสาทที่เรียกว่า “nerve impulse” เพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมที่มากระตุ้น ที่เห็นได้ชัดคือมีการตอบสนองโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อ เนื่องจากเซลล์ประสาทเป็นส่วนหนึ่งของระบบประสาทที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเชื่อมโยงให้การทำงานของอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย เพราะฉะนั้นถ้าเกิดการบาดเจ็บต่อเส้นประสาทนอกจากจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของกล้ามเนื้อลดลงแล้ว ก็อาจส่งผลให้ระบบต่างๆ ของร่างกายเกิดความไม่สมดุลกันด้วย

1.1 ลักษณะและองค์ประกอบของเซลล์ประสาท

1.1.1 เซลล์ประสาท (nerve cell หรือ neuron) ประกอบด้วยองค์ประกอบหลักๆ ได้แก่

ตัวเซลล์ (cell body; soma): ประกอบด้วย ไซโตพลาสซึม (cytoplasm) และ นิวเคลียส (nucleus) ภายใน cytoplasm มีองค์ประกอบอื่นๆ ที่สำคัญ เช่น neurofibrils, mitochondria, ribosome, lysosomes, Nissl bodies, Golgi complexes เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อการคงอยู่และเจริญเติบโตของตัวเซลล์ประสาท โดยทำหน้าที่เผาผลาญโปรตีน ทำให้เซลล์และส่วนประกอบของเซลล์สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ อย่างไรก็ตามตัวเซลล์ประสาทสามารถสร้างโปรตีนได้ด้วยตัวมันเองและนำไปเป็นส่วนประกอบต่างๆ ของเซลล์ ตลอดจนสามารถขนย้ายโปรตีนจากตัวเซลล์ (cell body) ไปส่วนแขนงที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกจากตัวเซลล์ไปยังอวัยวะเป้าหมายหรือแอกซอน (axon) หรือจาก axon ย้อนกลับไป cell body เพื่อให้เกิดกระบวนการเผาผลาญเป็นพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่างๆ ของเซลล์ได้

นิวเคลียส (nucleus) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเซลล์ ภายในมีกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (deoxyribonucleic acid; DNA) เป็นกรดนิวคลีอิกที่มีคำสั่งพันธุกรรมที่ถูกใช้ในพัฒนาการและการทำหน้าที่ของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด เมื่อเซลล์มีการแบ่งตัว จะมีการเปลี่ยนแปลงและสร้าง DNA ขึ้นใหม่ เป็นผลให้เกิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรม ภายใน nucleus มี nucleolus ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสร้างโปรตีน ภายในบรรจุด้วย กรดไรโบนิวคลีอิก (ribonucleic acid; RNA) ซึ่งถูกสร้างจากโปรตีนและส่งออกไปยัง cytoplasm เพื่อทำหน้าที่ถ่ายทอดความเฉพาะเจาะจงทางพันธุกรรมของมนุษย์

แขนงของเซลล์ประสาท (cell process): ได้แก่ ส่วนของ cytoplasm ของเซลล์ประสาทที่ยื่นออกไป ส่วนที่ทำหน้าที่รับข้อมูลในรูปของคลื่นประสาท (nerve impulse) เข้าสู่เซลล์คือ “เดนไดรต์” (dendrite) และส่วนที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลออกจากตัวเซลล์ไปยังอวัยวะเป้าหมายคือ “axon” เนื่องจาก axon ไม่สามารถสร้างโปรตีนได้ ดังนั้นจึงต้องอาศัยองค์ประกอบต่างๆ ใน cytoplasm เพื่อการดำรงชีวิต ส่วนของ nerve fiber หรือ axon หมายถึงบริเวณตั้งแต่ cone-shape ที่เรียกว่า “แอกซอน ฮิลล็อก” (axon hillock) และส่วนที่ยื่นยาวซึ่งจะแตกแขนงออกไปเชื่อมต่อ หรือ ซินแนปส์ (synapse) กับเซลล์อื่นๆ เช่น เชื่อมกับเซลล์ประสาทตัวอื่น กับเซลล์กล้ามเนื้อกับต่อมต่างๆ เพื่อทำหน้าที่ส่งกระแสออก (efferent) จากตัวเซลล์ประสาทไปยังเซลล์เหล่านั้น เป็นที่น่าสังเกตว่าบริเวณปลายของ synapse จะมีลักษณะที่โป่งออกในกระเปาะภายในมีถุงบรรจุ neurotransmitter หลายชนิดทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาท นำกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งทำให้เกิดเป็นคลื่นประสาทต่อกันไปเรื่อยๆ

1.1.2 เนื้อแทรกระหว่างเซลล์ (Interstitial cell): เป็นเซลล์ที่แทรกอยู่ระหว่างเซลล์ประสาท ทำหน้าที่ลำเลียงให้อาหาร และทำลายสิ่งแปลกปลอมต่างๆ บางครั้งอาจเรียกว่าเป็น “เกลียเซลล์” (glia cell) interstitial หรือ glia cell ในระบบประสาท แบ่งออกเป็น

1. อีเพนไดมาเซลล์ (ependyma cell) เป็นเซลล์บุผิวบริเวณช่องโพรงสมองและไขสันหลัง

2. นิวโรเกลีย (neuroglia) มีลักษณะแตกต่างกันไปทั้งที่พบในระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย ได้แก่

- แอสโตรเกลีย (astroglia): มีลักษณะเป็นแฉกคล้ายดาว มีรยางค์ยื่นออกไปพันรอบหลอดเลือดทำหน้าที่เป็นผนังที่คอยคัดเลือกสารที่เป็นประโยชน์จากระบบไหลเวียนเลือดเข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง เรียกว่า “บลิ๊ดเบรนแบรริเออร์” (blood brain barrier)

- โอลิโกเดนโดรเกลีย (oligodendroglia): เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างและคงสภาพของเยื่อไมอีลินของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนกลาง

- ไมโครเกลีย (microglia): เจริญมาจากเซลล์เม็ดเลือดขาว แมคโครฟาจ (macrophage) ทำหน้าที่ทำความสะอาดโดยเก็บกินและย่อยสลายเซลล์ที่ตายแล้ว

- ชวานเซลล์ (schwann cell): เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างเยื่อไมอีลินของเซลล์ประสาทในระบบประสาทส่วนปลาย

- แคปซูลาร์เซลล์ (capsular cells): เป็นเซลล์ที่ทำหน้าที่ห่อหุ้มป้องกันตัวเซลล์ของเซลล์ประสาท พบทั่วไปในปมประสาท หรือ แกงเกลีย (ganglion) ของระบบประสาทส่วนปลาย

1.1.3 เนื้อเยื่อเกี่ยวพันหรือเนื้อประสาน (connective tissue): ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยประสาทและคงสภาพแวดล้อมภายในเซลล์ เป็นเนื้อเยื่อที่ไม่ได้ทำหน้าที่นำสัญญาณประสาท แต่มีหน้าที่ห่อหุ้มใยประสาทและคงสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ ภายในเซลล์ แบ่งออกเป็นเยื่อหุ้มใยประสาทในระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย

ในระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่เยื่อหุ้มสมองและไขสันหลัง (meninges) แบ่งได้เป็น 3 ชั้น ได้แก่

1. ชั้นนอก คือ ดูรา มาเทอร์ (Dura mater) มีลักษณะเป็นเนื้อประสานแบบเส้นใย โดยเฉพาะจะพบเส้นใย collagen มาก ส่วนที่หุ้มสมองจะยึดติดแน่นไปกับกะโหลกศีรษะ แต่บริเวณไขสันหลังจะมีช่องติดกับ vertebral canal เรียกว่า “Epidural space”

2. ชั้นกลาง คือ อะแรคนอยด์ (Arachnoid) มีลักษณะเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ ประสานรวมกันแบบร่างแห บริเวณใต้ผนังเซลล์ของชั้นนี้จะมีลักษณะเป็นช่องว่าง กั้นระหว่างชั้นกลางกับชั้น

ในที่สุด ภายในช่องนี้มีน้ำไขสันหลังบรรจุอยู่ (cerebrospinal fluid) ทำหน้าที่ป้องกันอันตรายแรงกระแทกที่กระทำต่อไขสันหลัง เรียกช่องดังกล่าวว่า “subarachnoid space”

3. ชั้นในคือ เพีย มาเทอร์ (Pia mater) อยู่ติดกับเนื้อสมองและไขสันหลัง มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆ ผนังชั้นในสุดของชั้นนี้จะติดกับเนื้อประสาท และมีชั้นนอกติดกับชั้น arachnoid ซึ่งเป็นที่อยู่ของหลอดเลือดมากมาย

ในระบบประสาทส่วนปลาย ทำหน้าที่เป็น capsule หุ้มส่วนต่างๆ ของเนื้อประสาท ได้แก่

- ชั้นนอก คือ อีพินิวเรียม (Epineurium) หุ้มรอบๆ เนื้อประสาทป้องกันมัดเส้นประสาท (bundle) จากอันตรายภายนอก
- ชั้นกลาง คือ เพอรินิวเรียม (Perineurium) ทำหน้าที่ห่อหุ้มกลุ่มเส้นประสาท (fascicle) ประกอบด้วยเนื้อประสาทที่ยื่นรยางค์ออกมา (cell process) ประสานกันทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเซลล์มีลักษณะเป็น “tight junction” ทำหน้าที่คัดเลือกสารที่เหมาะสมให้แพร่ผ่านระดับชั้นของเซลล์
- ชั้นใน คือ เอ็นโดนิวเรียม (Endoneurium) ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นประสาทแต่ละเส้นรวมตัวเป็นปลอก คือ endoneurial tube โดยปลอกด้านนอก (extraneural) ถูกหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ของเซลล์ schwann ส่วนปลอกด้านใน (intraneural) ติดกับเยื่อหุ้มไมอีลิน

1.1.4 เยื่อไมอีลิน (myelin sheath): เส้นประสาทที่ axon ถูกหุ้มด้วยไมอีลินชีท (myelin sheath) สามารถนำกระแสประสาทได้เร็วกว่า axon ของเส้นประสาทที่ไม่มี myelin sheath หุ้ม แต่ความเร็วในการนำกระแสประสาทก็ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นประสาท ความหนาของ myelin sheath ตลอดจนอุณหภูมิในขณะนั้นๆ เป็นต้น

ในระบบประสาทส่วนกลาง: เซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง myelin sheath คือ Oligodendroglia ซึ่งสร้างเป็นท่อนๆ หุ้ม nerve fiber รอยต่อระหว่างท่อนคือ node of Ranvier และส่วนของ myelin sheath ที่อยู่ระหว่าง nodes เรียกว่า internode แต่ละ internode จะถูกสร้างโดยเซลล์ Oligodendroglia 1 เซลล์ ที่ล้อมรอบ axon และสร้าง myelin sheath เป็นปลอกกรอบๆ หลาย nerve fiber ที่อยู่ใกล้เคียงกัน ถ้าเกิดการบาดเจ็บกับเส้นประสาทส่วนกลาง การฟื้นตัวจะเกิดขึ้นยาก เนื่องจากมักจะเกิดการสะสมของ glia cell ต่างๆ บริเวณแผล ทำให้รบกวนกระบวนการสร้างเซลล์ใหม่

ในระบบประสาทส่วนปลาย: เซลล์ที่ทำหน้าที่สร้าง myelin sheath คือ Schwann cells ในการสร้าง myelin sheath นั้น อาจใช้ Schwann cells เพียง 1 เซลล์ หรือหลายเซลล์ต่อ axon ของ nerve fiber แต่ละเส้น ถ้าเกิดการบาดเจ็บของเส้นประสาทส่วนปลาย สามารถเกิดกระบวนการซ่อมแซมและฟื้นตัวของเส้นประสาทได้ ซึ่งความสมบูรณ์ของการฟื้นตัว ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการเช่น ชนิดของการบาดเจ็บ ตำแหน่งที่ได้รับบาดเจ็บ ชนิดของเส้นใยประสาท เป็นต้น

1.2 ระบบประสาทและชนิดของเส้นใยประสาท (nerve fiber)

เซลล์ประสาทหลายร้อยล้านเซลล์ประกอบขึ้นเป็นระบบประสาทโดย เซลล์ประสาทหรือเส้นประสาทแต่ละเส้นมีต้นกำเนิดจาก anterior และ posterior roots ของเส้นประสาทไขสันหลัง บริเวณช่องระหว่างหมอนรองกระดูกสันหลังชั้นที่ติดกัน (intervertebral foramen) แขนงที่อยู่ด้านหลัง (posterior branches) คือเส้นประสาทขาเข้า (afferent nerves) เป็นเส้นประสาทที่ทำหน้าที่เป็นปลายประสาทรับความรู้สึก ซึ่งรับสัญญาณข้อมูลจากตัวรับความรู้สึก (sensory nerves) ต่างๆ เช่น ผิวหนัง, เอ็นกล้ามเนื้อ, เอ็นข้อต่อ และกล้ามเนื้อ เข้าสู่ระบบประสาทส่วนกลาง ส่วนแขนงที่อยู่ด้านหน้า (anterior branches) คือเส้นประสาทขาออก (efferent nerves) ทำหน้าที่เป็นปลายประสาทสั่งการ (motor nerve) ส่งสัญญาณจากสมองไปมีผลยังอวัยวะเป้าหมาย เช่น กล้ามเนื้อ ระบบประสาทแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ระบบประสาทส่วนกลาง (central nervous system) ประกอบด้วย สมอง และ ไขสันหลัง
2. ระบบประสาทรอบนอก (peripheral nervous system) ประกอบด้วยเส้นประสาทสมอง 12 คู่ และเส้นประสาทไขสันหลัง 31 คู่

1.2.1 แบ่งตามลักษณะการหุ้มของ myelin sheath ได้แก่

กลุ่มใยประสาท A (A-fiber)

- เป็นใยประสาทที่ axon ถูกหุ้มด้วยเยื่อไมอีลิน (myelinated nerve fiber)
- นำคลื่นประสาทได้เร็วที่สุดประมาณ 12-120 เมตร/วินาที
- เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-20 ไมครอน
- แบ่งย่อยออกได้อีกเป็น A-beta, A-gamma และ A-delta

กลุ่มใยประสาท B (B-fiber)

- เป็นใยประสาทที่ axon ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม (non-myelinated fiber)

- นำคลื่นประสาทได้เร็วประมาณ 8-15 เมตร/วินาที
- เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 3 ไมครอน

กลุ่มใยประสาท C (C-fiber)

- เป็นใยประสาทที่ axon ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม (non myelinated fiber)
- นำคลื่นประสาทได้เร็วประมาณ 0.5-2 เมตร/วินาที
- เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.4-1.2 ไมครอน

1.2.2 แบ่งตามขนาดของเส้นประสาท

Group I: เป็นเส้นประสาทที่ใหญ่ที่สุด มีความเร็วในการนำกระแสประสาทสูงที่สุด เช่น เส้นประสาทที่นำสัญญาณเข้าสู่เซลล์กล้ามเนื้อ (muscle spindle) เพื่อให้กล้ามเนื้อหดตัว ได้แก่ A-alpha fiber

Group II: เป็นเส้นประสาทที่ใหญ่รองลงมา ดังนั้นจึงมีความเร็วรองลงมาเช่นกัน เช่น เส้นประสาทที่นำสัญญาณเข้าสู่เซลล์ผิวหนังเพื่อรับแรงกด สัมผัส (mechanoreceptor) ได้แก่ A-beta fiber

Group III: เป็นเส้นประสาทขนาดเล็ก เช่น เส้นประสาทที่นำสัญญาณเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเจ็บปวดแบบรวดเร็ว (fast pain) ได้แก่ A-delta fiber

Group IV: เป็นเส้นประสาทขนาดเล็กที่สุด มีความเร็วในการนำกระแสประสาทต่ำที่สุด เช่น เส้นประสาทที่นำสัญญาณเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความเจ็บปวดแบบช้า (slow pain) ได้แก่ C-fiber

1.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการนำกระแสประสาท

การนำกระแสประสาทหรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

1. **ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นประสาท** เส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่จะนำกระแสประสาทได้ไวกว่าเส้นประสาทขนาดเล็ก

2. **เยื่อไมอีลิน** เส้นประสาทที่มี myelin sheath หุ้ม จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าเส้นประสาทที่ไม่มี myelin sheath หุ้ม

3. **อุณหภูมิ** อุณหภูมิสูงจะช่วยให้การนำกระแสประสาทเร็วขึ้น

1.3 สภาวะไอออนที่เยื่อหุ้มเซลล์

ในภาวะปกติ เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาท จะมีความต่างศักย์ขณะพัก เรียกว่า “resting membrane potential” อยู่ที่ประมาณ -70 มิลลิโวลต์ (mv.) การที่ความต่างศักย์ดังกล่าวมีค่าเป็นลบ เนื่องจากคุณสมบัติเบื้องต้นของค่าไอออนที่อยู่ภายในและนอกเซลล์ กล่าวคือ ภายในเซลล์จะมีประจุลบและโปแตสเซียมไอออน (K^+) มาก ส่วนภายนอกเซลล์จะมีจำนวน โซเดียมไอออน (Na^+) มาก

บันทึกขวนคิด

ในภาวะปกติเยื่อหุ้มเซลล์จะยอมให้ K^+ ผ่านเข้าออกมากกว่า Na^+ ถึง 50–100 เท่า จึงทำให้ K^+ มีแนวโน้มเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ และ Na^+ มีแนวโน้มเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ ทำให้ความต่างศักย์ที่เยื่อหุ้มเซลล์มีค่าเป็นลบจำนวนมาก

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เช่น มีสิ่งเร้ามากระตุ้นเซลล์ประสาทจนถึง threshold จะเกิดศักย์ไฟฟ้าขนาดใหญ่เรียกว่า “action potential” ทำให้มีการส่งสัญญาณประสาทเกิดขึ้น ความต่างศักย์มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากช่องสัญญาณโซเดียม (Na^+ channel) เปิด ทำให้ Na^+ เคลื่อนที่เข้าเซลล์มากขึ้น ตามความเข้มข้นไอออน (concentration gradient) ผลดังกล่าวทำให้ภายในเซลล์มีประจุบวกมากขึ้น เรียกว่าเกิด “depolarization” เมื่อหยุดกระตุ้น จะทำให้ Na^+ channel เริ่มปิด แต่ K^+ channel เปิดแทน ทำให้ K^+ เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ ตามความเข้มข้นของไอออน ทำให้ประจุบวกภายในเซลล์ลดลง เรียกว่าเกิด “repolarization” หาก K^+ เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ไปเรื่อยๆ ผลดังกล่าวจะทำให้ความต่างศักย์ภายนอกและภายในเซลล์ มีค่าเป็นลบมากขึ้นกว่าความต่างศักย์ขณะพักของเยื่อหุ้มเซลล์ เราเรียกเหตุการณ์เช่นนี้ว่าเกิด “hyperpolarization” หลังจากนั้นความต่างศักย์ก็จะกลับไปสู่ความต่างศักย์ปกติคือ อยู่ในจุดเริ่มต้นหรือในขณะพักของเยื่อหุ้มเซลล์ คือ -70 mv. อีกครั้ง ดังนั้น ในขณะที่เกิด action potential จะมีการเคลื่อนที่ผ่านของ Na^+ และ K^+ ตลอดเวลา ทำให้เมื่อเกิดศักย์ไฟฟ้าที่จุดหนึ่ง จะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสประสาทที่จุดถัดไปเรื่อยๆ เสมือนว่ามีคลื่นประสาทวิ่งไปเรื่อยๆ ตาม axon ของเซลล์ประสาท

1.3.1 ระยะพักของเซลล์ประสาท

เมื่อเกิดคลื่นประสาทเกิดขึ้น ณ จุดใดๆ บนเส้นประสาทแล้วจะไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดคลื่นประสาทตรงจุดนั้นได้ใหม่ในช่วงหนึ่ง เรียกว่า “ระยะดื้อ” หรือ “ระยะพัก” (refractory period) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะ คือ