บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบประสาทเป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของร่างกายในการตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่มาจากทั้งภายนอกและภายในร่างกาย ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับ

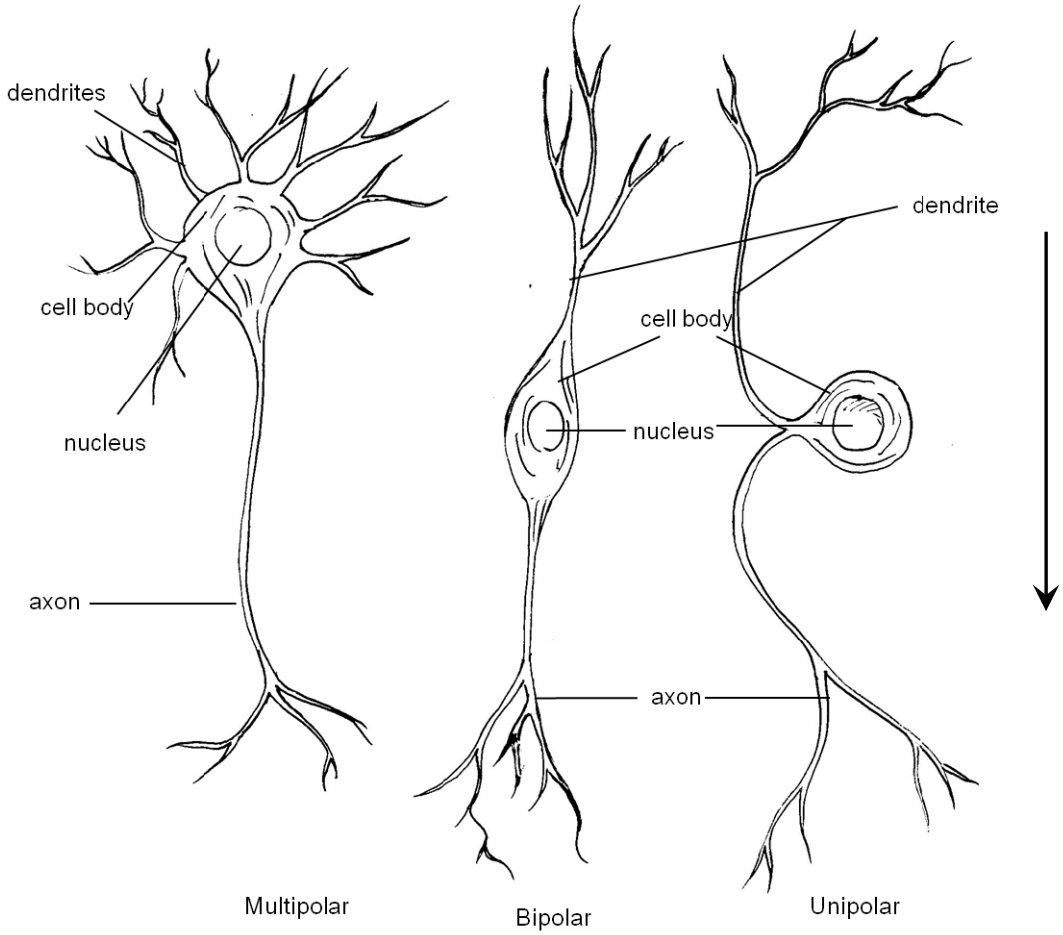
1. การรับความรู้สึกจากบริเวณส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย
2. การส่งคำสั่งมายังกล้ามเนื้อ
3. การทำงานร่วมกับระบบต่อมไร้ท่อ (Seeley et al. 2003)

ระบบประสาทในร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาท (neuron) มีลักษณะสำคัญซึ่งแตกต่างจากเซลล์ชนิดอื่น ๆ ในร่างกาย คือ มีแขนงที่ยื่นยาวออกจากตัวเซลล์ประสาทที่เรียกว่าใยประสาท (nerve fiber) แขนงดังกล่าวแบ่งเป็น 2 พวกคือ เด็นไดรท์ (dendrite) และแอกซอน (axon) โดยเด็นไดรต์ทำหน้าที่นำข้อมูลจากนอกเซลล์ประสาทเข้าไปในเซลล์ประสาท ส่วนแอ็กซอนทำหน้าที่ตรงกันข้ามคือนำกระแสประสาทออกไปจากตัวเซลล์ประสาท ในร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ประสาทมากมายประมาณสามสิบหมื่นล้านเซลล์ แต่ละเซลล์ยังต้องติดต่อกับเซลล์อื่น ๆ ซึ่งอาจมากถึง 60,000 เซลล์ บริเวณที่ติดต่อกันเรียกว่าจุดประสาน (synapse) เส้นใยประสาทจะอยู่รวมกันเป็นมัดเรียกว่า เส้นประสาท (nerve trunk) เส้นประสาท median บริเวณข้อมือประกอบด้วยใยประสาท ประมาณ 2,400 ใย

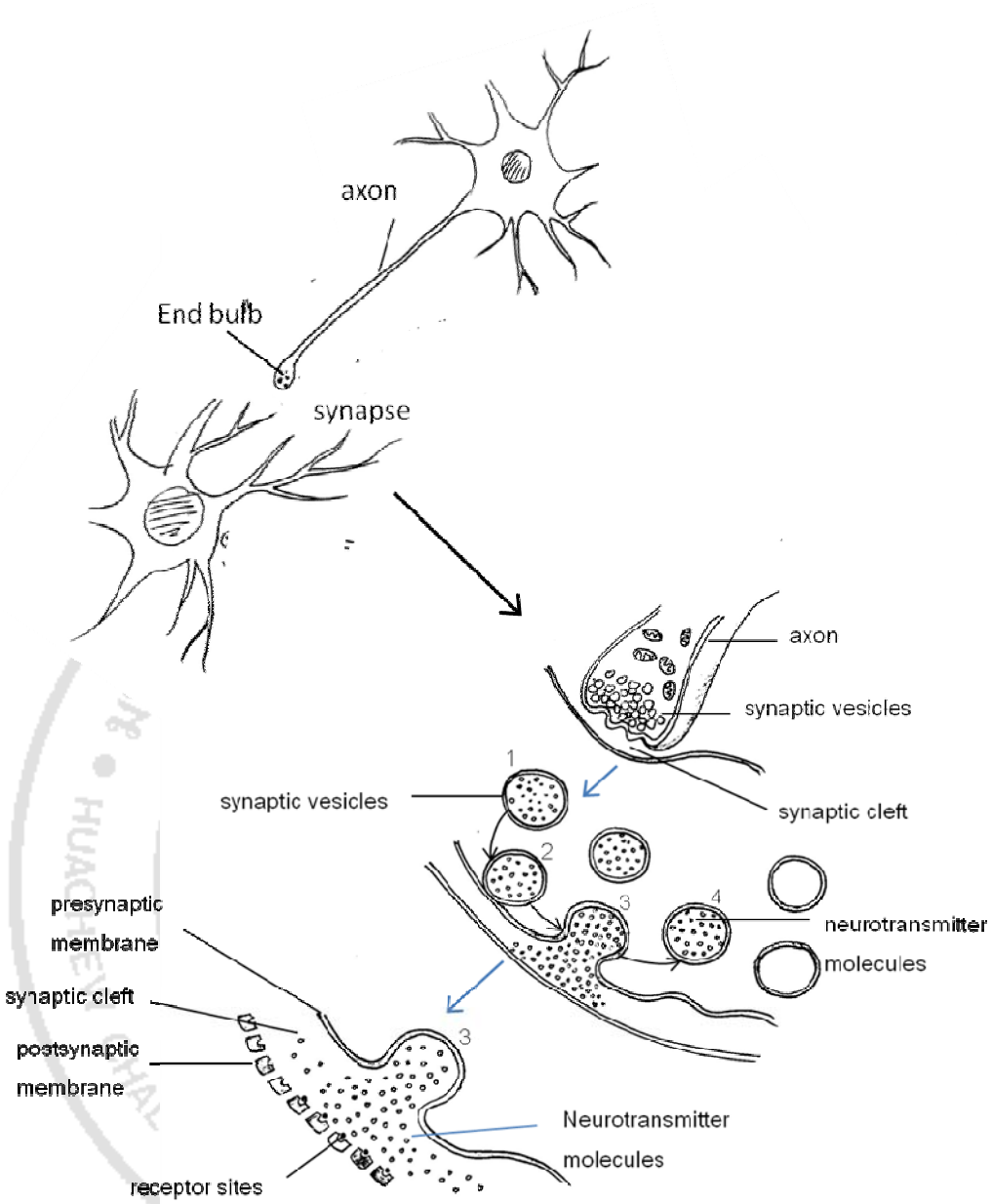
ระบบประสาทแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. ระบบประสาทส่วนกลาง (Central nervous system) คือ สมองและไขสันหลัง ประกอบด้วยตัวเซลล์ประสาทและเด็นไดรท์กับแอกซอน

2. ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system) คือ เส้นประสาทที่อยู่นอกสมองและไขสันหลัง ประกอบด้วยเด็นไดรท์และแอกซอนทั้งสิ้นโดยไม่มีตัวเซลล์อยู่เลย (ชูศักดิ์ เวชแพทย์. 2538)



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์ประสาท เซลล์ประสาทแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ multipolar neuron, bipolar neuron และ unipolar neuron ทิศทางของลูกศรแสดงถึงทิศของกระแสประสาท (ดัดแปลงจาก Carola et al. 1992)



ภาพที่ 2.2 แสดงจุดประสานของเซลล์ประสาท เซลล์ประสาททำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังเซลล์อื่น ๆ ในรูปของสารเคมี เรียกการติดต่อส่งข่าวสารเช่นนี้ว่า synaptic transmission ซึ่งจะเกิดขึ้นได้ต้องส่งกระแสประสาทไปยังบริเวณรอยเชื่อมต่อระหว่าง axon กับ dendrite ของเซลล์ประสาทถัดไปหรือกับตัวเซลล์ โดยเซลล์ประสาทที่ส่งข้อมูลออกเรียกว่า presynaptic neuron ส่วนเซลล์ประสาทที่รับการกระตุ้นเรียกว่า postsynaptic neuron ตรงปลายสุดของ axon จะมีลักษณะเป็นปุ่ม ภายในมีเม็ดซึ่งบรรจุสารสื่อประสาท เมื่อถูกกระตุ้นเม็ดบรรจุสารสื่อประสาทจะเชื่อมกับเยื่อเซลล์ส่วน presynaptic membrane เพื่อปล่อยสารสื่อประสาทออกไปสู่ synaptic cleft (ดัดแปลงจาก Carola et al. 1992)

ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะระบบประสาทส่วนปลายซึ่งเกี่ยวข้องกับเส้นประสาทที่จะวัดความเร็วการนำกระแสประสาท

ระบบประสาทส่วนปลาย

ระบบประสาทส่วนปลายหมายถึงระบบประสาทนอกสมองและไขสันหลังประกอบด้วยเส้นประสาท 2 ชนิด คือ เส้นประสาทรับความรู้สึก (sensory nerve) ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งกระแสประสาทไปยังสมองและเส้นประสาทสั่งการ (motor nerve) จะทำหน้าที่รับคำสั่งจากสมองไปยังอวัยวะที่สมองสั่งการได้ซึ่งมีทั้งอยู่นอกอำนาจจิตใจ (involuntary control) และใต้อำนาจจิตใจ (voluntary control) ระบบประสาทส่วนปลายประกอบด้วยเส้นประสาทที่มาจากสมอง 12 คู่ แยกเป็นทางซีกซ้ายและซีกขวา เพื่อรับส่งความรู้สึกและคำสั่งตั้งแต่ลำคอขึ้นไป เรียกว่าเส้นประสาทสมอง (cranial nerve) และเส้นประสาทที่ออกจากไขสันหลัง มีทั้งสิ้น 31 คู่ จากลำคอลงมาแยกออกไปทางซีกซ้ายขวาของร่างกาย เรียกว่าเส้นประสาทไขสันหลัง (spinal nerve) ทำหน้าที่รับส่งความรู้สึกและคำสั่งตั้งแต่บริเวณลำคอลงไปตลอดทั้งร่างกายจนถึงปลายมือปลายเท้า

เส้นประสาทไขสันหลัง

เส้นประสาทไขสันหลังเกิดจากการรวมตัวของ dorsal (sensory nerve) และ ventral nerve roots (motor nerve) เส้นประสาทไขสันหลังชนิด motor nerve จะให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ ส่วน sensory nerve รับความรู้สึกจากผิวหนังและเนื้อเยื่อบริเวณต่าง ๆ เข้ามาสู่ไขสันหลังและสมอง เส้นประสาทไขสันหลังแต่ละเส้นจะไปเลี้ยงผิวหนังเฉพาะที่ เรียกบริเวณผิวหนังที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทไขสันหลังแต่ละเส้นว่า dermatome (Marieb. 1995)

เส้นประสาทไขสันหลังมีจำนวนทั้งหมด 31 คู่ แบ่งเป็น

ระดับคอ (Cervical spinal nerve)	8	คู่
ระดับอก (Thoracic spinal nerve)	12	คู่
ระดับเอว (Lumbar spinal nerve)	5	คู่
ระดับก้น (Sacral spinal nerve)	5	คู่
ระดับหาง (Coccygeal spinal nerve)	1	คู่

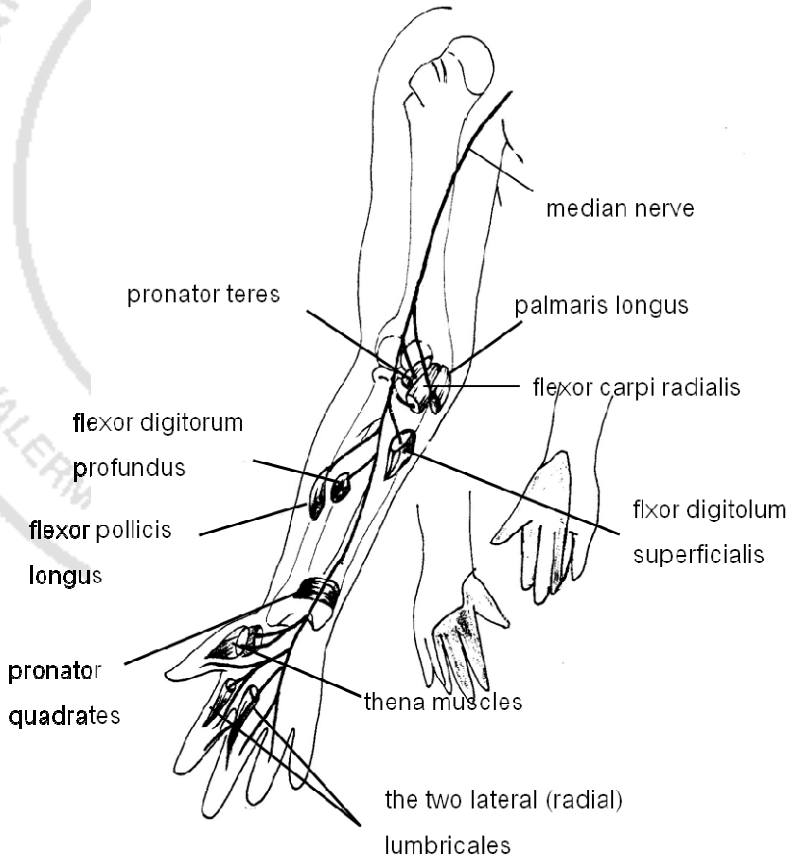
เส้นประสาทไขสันหลังระดับคอที่ 1 ถึง 4 ($C_1 - C_4$) จะมารวมกันเป็นร่างแหประสาท (plexus) ชื่อว่า cervical plexus หลังจากรวมกันแล้วจะแตกแขนงออกไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณคอและหัวไหล่ รวมทั้งกล้ามเนื้อคอด้วย มีแขนงที่สำคัญชื่อว่า phrenic nerve ไปควบคุมกล้ามเนื้อกระบังลมซึ่งมีความสำคัญในการหายใจ

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ C_5-T_1 รวมกันเป็น brachial plexus แล้วแตกแขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและผิวหนังของแขนและมือ ซึ่งมีเส้นประสาทสำคัญ ๆ ดังนี้

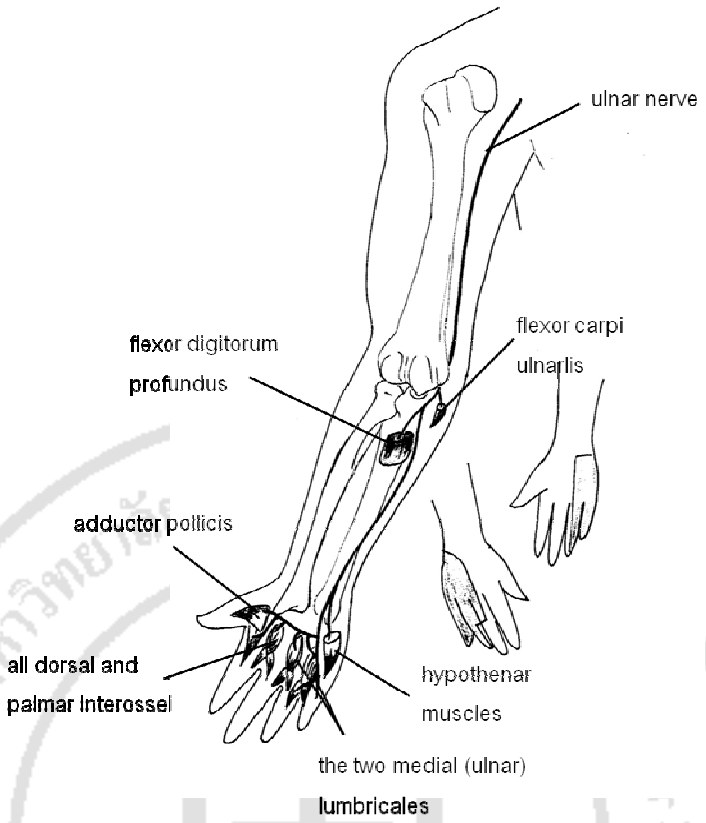
1. Median nerve เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหน้ากล้ามเนื้อฝ่ามือด้าน นิ้วโป้ง 3 นิ้วครึ่ง ถ้าถูกกดจะทำให้เกิดอาการชาบริเวณ thenar ของมือ ปลายนิ้วชี้และนิ้วกลาง แต่ถ้าเส้นประสาทถูกตัดขาดบางส่วนจะทำให้มีการเจ็บปวดมากที่มือ มีต้นกำเนิดมาจากร่างแหประสาทแขน (brachial plexus) เส้นประสาทmedian เกิดจาก medial cord และ lateral cord ของร่างแหประสาทแขน โดยมีเซลล์ประสาทต้นกำเนิดอยู่ที่ไขสันหลังระดับ $C_6 – T_1$ ทางเดินเริ่มจากต้นแขนและต่อเนื่องลงมาตามแขน เข้าสู่ปลายแขนและเข้าสู่มือโดยผ่าน capal tunnel โดยที่ปลายแขนให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อต่างๆ ดังนี้ pronator teres, flexor carpi radialis, palmaris longus, flexor digitorum superficialis, flexor pollicis longus, flexor digitorum profundus และ pronator quadrates ส่วนที่มือให้แขนง sensory ไปเลี้ยงฝ่ามือและนิ้วมือ $3^1/_2$ นิ้วทางด้าน radial (นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้และครึ่งหนึ่งของนิ้วกลาง) และแขนง motor ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ abductor pollicis brevis, flexor pollicis brevis, opponens pollicis และ lumbricales ที่ 1 และ 2 (รูปที่ 2.3) (มีชัย ศรีใส. 2546)

2. Radial nerve เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อต้นแขนและปลายแขนด้านหลัง คือ extensor muscle (ด้านนิ้วหัวแม่มือ) และผิวหนังด้านนอกของต้นแขนและปลายแขน เส้นประสาทนี้ถ้าถูกกดหรือตัดขาดจะทำให้เกิดอาการข้อมือตก (wrist drop) เนื่องจากกล้ามเนื้อปลายแขนด้านหลังไม่ทำงาน ต้นกำเนิดของเส้นประสาทเป็นแขนงออกจาก posterior cord และมีเซลล์ต้นกำเนิดอยู่ที่ไขสันหลังระดับ C_5 - C_8 และ T_1 ทางเดินเส้นประสาทเริ่มจากบริเวณต้นแขน ซึ่ง radial nerve นี้อยู่หลังต่อหลอดเลือดแดง brachial แล้วอ้อมรอบ spiral groove ของกระดูก humerus ที่บริเวณข้อศอก เส้นประสาทนี้แตกแขนงเป็น superficial radial ซึ่งเป็นแขนง sensory และ deep radial ซึ่งเป็นแขนง motor บริเวณต้นแขนให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ triceps brachii, anconeous, brachioradialis และ extensor carpi radialis longus และให้แขนง sensory ไปเลี้ยงผิวหนังด้านหลังของแขนและปลายแขน บริเวณปลายแขนให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ extensor carpi radialis brevis, supinator, extensor digitorum, extensor digiti minimi, extensor carpi ulnaris, abductor pollicis longus, extensor pollicis brevis และ extensor indicis และให้แขนง sensory ไปเลี้ยงด้านหลังของมือและ $3^1/_2$ นิ้วทางด้าน radial (นิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และครึ่งหนึ่งของนิ้วกลาง)

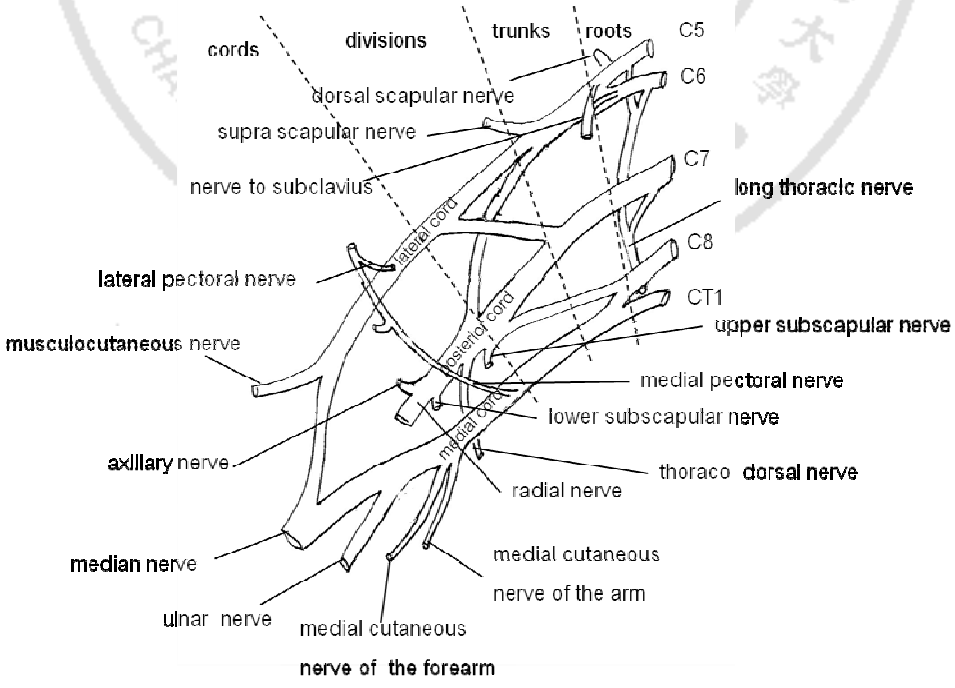
3. Ulnar nerve เส้นประสาทนี้ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อของนิ้วก้อยและกล้ามเนื้อมัด เล็ก ๆ ของฝ่ามือ ถ้าเส้นประสาทนี้ถูกกดหรือตัดขาดจะทำให้นิ้วมืองอเรียกว่า claw hand ต้นกำเนิดของเส้นประสาทเป็นแขนงจาก medial cord ของ brachial plexus โดยมีเซลล์ประสาทต้นกำเนิดอยู่ที่ $C_8 – T_1$ ทางเดินของเส้นประสาทเริ่มจากต้นแขนอยู่ทางด้านในของหลอดเลือดแดง brachial บริเวณข้อศอก ผ่าน elbow tunnel เข้าสู่ปลายแขนและเข้าสู่ฝ่ามือโดยผ่านช่องที่เรียกว่า Guyon's canal ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ปลายแขนได้แก่ flexor digitorum profundus (ครึ่งทางด้าน ulnar) และ flexor carpi ulnaris ส่วนที่มือให้แขนง sensory ไปเลี้ยงบริเวณ hypothenar ของมือและนิ้วมือ $1^1/_2$ นิ้ว ทางด้าน ulnar (นิ้วก้อยและครึ่งหนึ่งของนิ้วนาง) และให้แขนง motor ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ abductor digiti minimi, flexor digiti minimi, opponens digiti minimi, palmar interossei, dorsal interossei, lumbricales ที่ 3, 4 และ adductor pollicis (มีชัย ศรีใส. 2546)



ภาพที่ 2.3 แสดงตำแหน่งของเส้นประสาท median บริเวณผิวหนังและกล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยเส้นประสาท median (ดัดแปลงจาก Seeley et al. 2000)



ภาพที่ 2.4 แสดงตำแหน่งของเส้นประสาท ulnar บริเวณผิวหนังและกล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยเส้นประสาท ulnar (ดัดแปลงจาก Seeley et al. 2000)



ภาพที่ 2.5 Brachial plexus และแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงแขน (ดัดแปลงจาก Rana. 2011)

เส้นประสาทไขสันหลังระดับอก จะให้แขนงไปตามช่องกระดูกซี่โครงเรียกว่า intercostals nerve ทำหน้าที่รับความรู้สึกและควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อระหว่างกระดูกซี่โครง (intercostals muscle)

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ T_{12} ถึง L_3 จะรวมกันเป็น lumbar plexus ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและรับความรู้สึกจากส่วนล่างของหน้าท้องด้านหน้าและด้านในของต้นขา ทางด้านหน้าของต้นขาจะมีเส้นประสาทชื่อ femoral nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อต้นขาด้านหน้าคือ quadriceps femoris muscle แขนงของ lumbar plexus คือ

1. Iliohypogastric nerve เส้นประสาทนี้จะแยกเป็นแขนง iliac และ hypogastric โดยแขนง iliac ไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณด้านข้างของส่วนก้น ส่วนแขนง hypogastric ไปเลี้ยงผิวหนังที่อยู่เหนือต่อกระดูกหัวหน่าว

2. Ilioinguinal nerve ให้แขนงไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณต้นขา และแขนง anterior scrotal ซึ่งไปเลี้ยงบริเวณอวัยวะสืบพันธุ์เพศชาย หรือแขนง anterior labial ในเพศหญิงเพื่อเลี้ยงอวัยวะสืบพันธุ์เพศหญิง

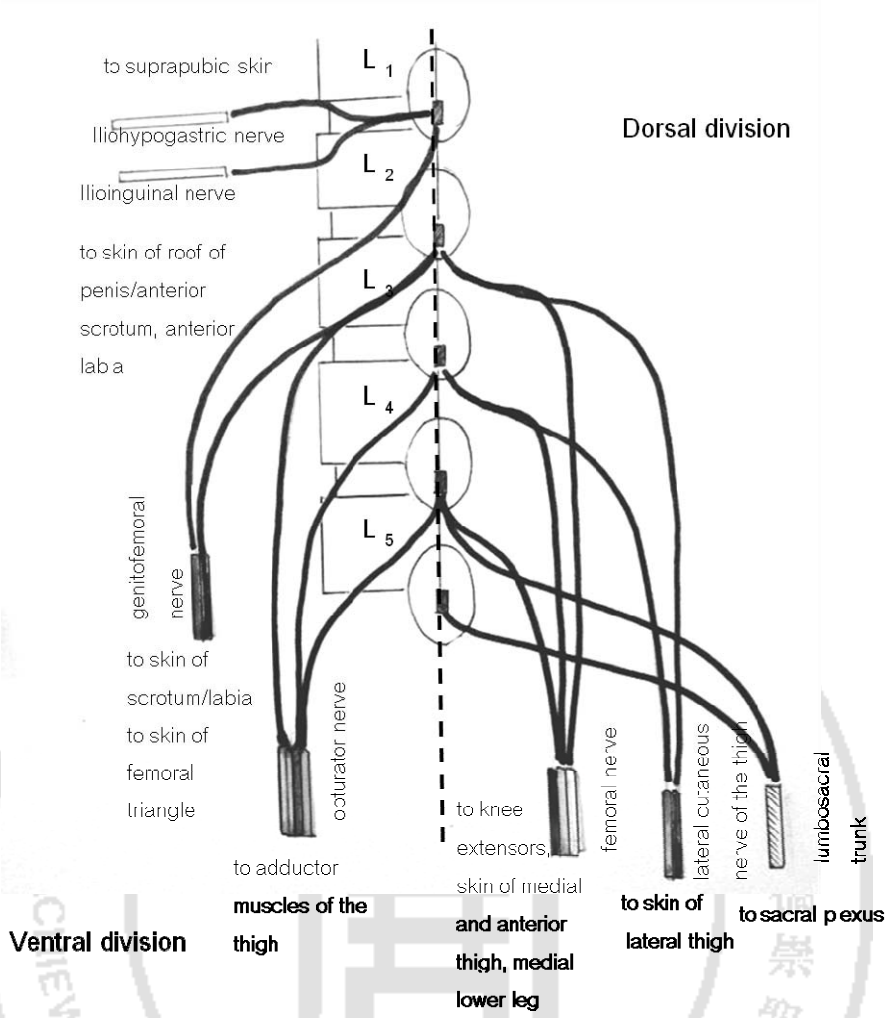
3. Lateral femoral cutaneous nerve ส่วนใหญ่จะไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณด้านหน้าและด้านข้างของต้นขา

4. Femoral nerve เป็นแขนงที่ใหญ่ที่สุดของ lumbar plexus ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ iliacus และ pectineus

5. Genitofemoral nerve ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ cremaster แล้วออกไปเลี้ยง scrotum ในเพศชายหรือ labia majora ในเพศหญิง

6. Obturator nerve ให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ gracilis, adductor brevis, pectineus, obturator externus และ adductor magnus

7. Accessory obturator nerve ไปเลี้ยงสะโพกและกล้ามเนื้อ pectineus



ภาพที่ 2.6 เส้นประสาทที่แตกแขนงมาจาก lumbar plexus (ดัดแปลงจาก Rana. 2011)

เส้นประสาทไขสันหลังระดับ L_4, L_5 และ S_1 ถึง S_3 รวมกันเป็น sacral plexus ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อสะโพกและขา โดยมีทั้งหมด 12 แขนง ซึ่งมี 5 แขนงไปเลี้ยงโครงสร้างที่อยู่ในอุ้งเชิงกราน ส่วนที่เหลือไปที่บริเวณก้นและขา แขนงที่ไปเลี้ยงอุ้งเชิงกราน คือ

1. Pudendal nerve เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยง perineum, อวัยวะเพศ และทวารหนัก
2. Nerve to piriformis เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อบริเวณสะโพก
3. Nerve to levator ani เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อที่ยึดจากกระดูก pubis, ischium และ ilium ไปเกาะที่กระดูก coccyx กล้ามเนื้อนี้ทำหน้าที่เป็นพื้นรองรับอวัยวะภายในช่องท้องทุกชนิด ไม่ให้ร่วงหล่นออกมาจากช่องท้อง
4. Nerve to external anal sphincter muscle เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อหูรูดชั้นนอกของทวารหนัก

5. Pelvic splanchnic nerve เป็นแขนงประสาทที่นำ preganglionic fiber ของ parasympathetic ไปยัง inferior hypogastric plexus

ส่วนแขนงที่ไปเลี้ยงบริเวณก้นและขา คือ

1. Superior gluteal nerve เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ gluteus medius, gluteus minimus และ tensor fasciae latae

2. Inferior gluteal nerve เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ gluteus maximus

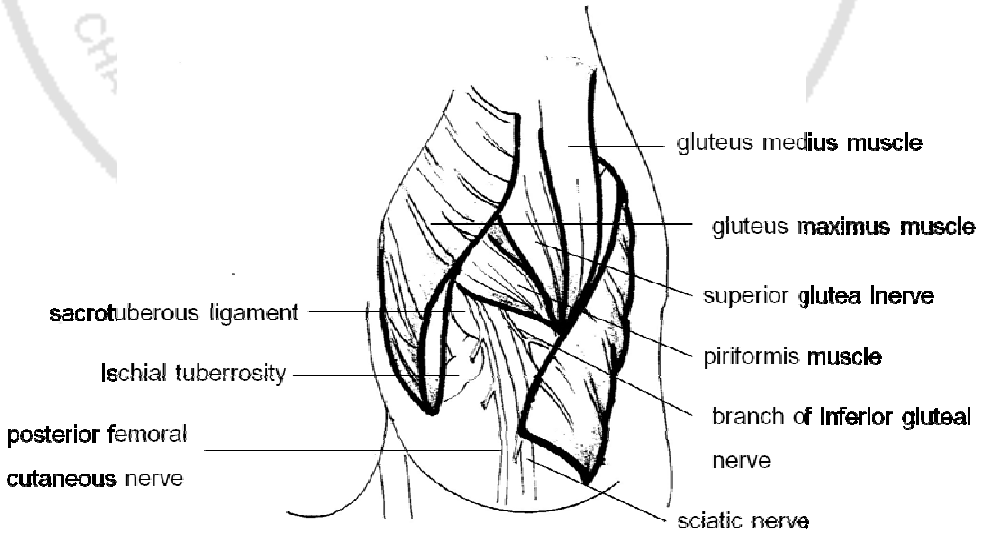
3. Nerve to obtulator internus เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ superior gemellus และ obtulator internus

4. Nerve to quadrates femoris เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ inferior gemellus และ quadrates femoris รวมทั้ง hip joint ด้วย

5. Posterior femoral cutaneouse nerve เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณก้น อวัยวะเพศและด้านหลังของต้นขา

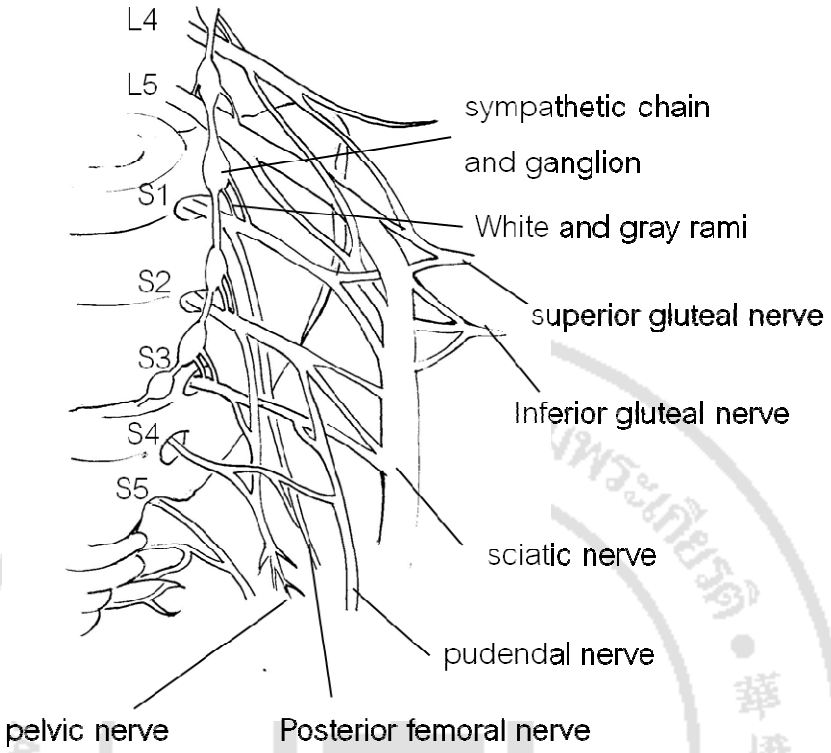
6. Perforating cutaneous nerve เป็นแขนงประสาทที่ไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณส่วนล่างของก้น

7. Sciatic nerve เป็นเส้นประสาทที่ใหญ่ที่สุดของร่างกายให้แขนงไปเลี้ยงกล้ามเนื้อด้านหลังต้นขา แล้วแตกแขนงที่บริเวณข้อพับหลังเข่าให้เป็น common peroneal nerve เลี้ยงกล้ามเนื้อด้านข้างและด้านหน้าปลายขา (วิไล ชินธเนศ. 2554)



ภาพที่ 2.7 กล้ามเนื้อที่เลี้ยงโดยเส้นประสาทจาก sacral plexus

(ดัดแปลงจาก Chase et al. 2012)



ภาพที่ 2.8 แขนงของเส้นประสาทที่ไปเลี้ยงบริเวณอุ้งเชิงกราน
(ดัดแปลงจาก Chase et al. 2012)

ในการวัดความเร็วการนำกระแสประสาทในครั้งนี้เลือกวัดที่เส้นประสาท median และ ulnar เนื่องจากเป็นเส้นสำคัญที่ทำหน้าที่เลี้ยงแขนทั้งสองข้าง ซึ่งความเร็วการนำกระแสประสาทเป็นสิ่งที่มีความไวสูงในการประเมินการทำหน้าที่ของระบบประสาทส่วนปลาย และใช้ทดสอบหน้าที่ของไมอีลิน โดยปกติความเร็วการนำกระแสประสาทของเส้นประสาท median และ ulnar จะมีค่าอยู่ในช่วง 50 – 67.3 และ 52 - 74 เมตร/วินาที ตามลำดับซึ่งเป็นค่าที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างชาวอเมริกัน (Dellsa et al. 1994)

กลไกการส่งกระแสประสาทไปตามใยประสาท

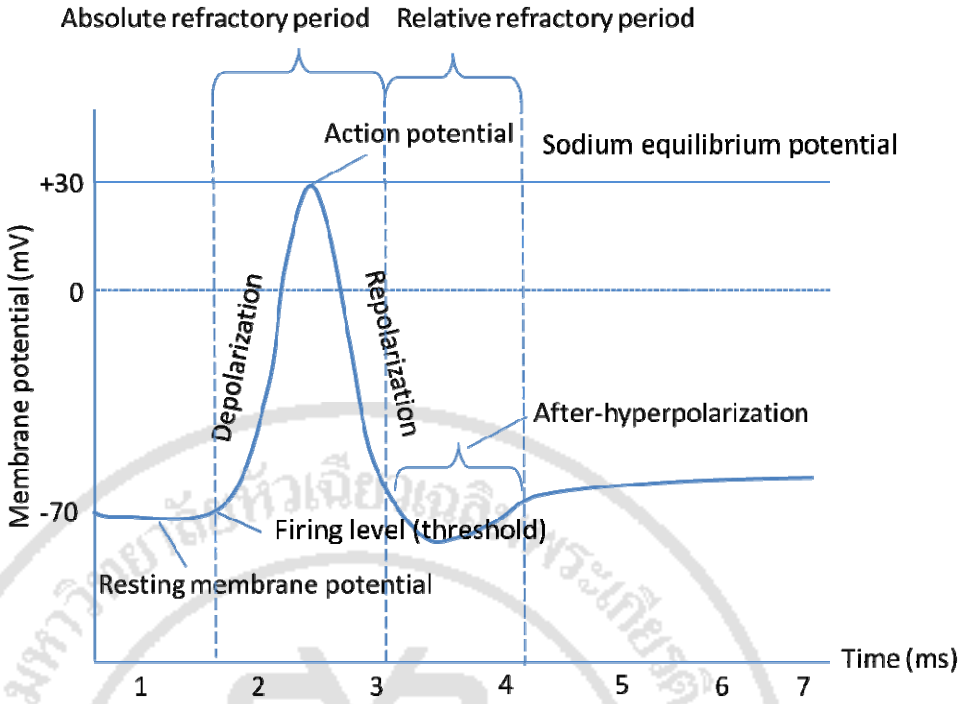
ใยประสาทจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าขณะพัก (resting membrane potential) เพื่อเตรียมการสำหรับการกระตุ้น เมื่อใยประสาทถูกกระตุ้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าไปจากเดิม

เรียกว่า แอ็คชั่นโพเทนเชียล สามารถแบ่งกลไกของการเกิดกระแสประสาทออกเป็น 2 แบบ คือ การเกิดแอ็คชั่นโพเทนเชียลและการแผ่กระจาย

การมีศักย์ไฟฟ้าระหว่างเยื่อเซลล์ประสาทขณะพัก แสดงว่ามีความแตกต่างของความเข้มข้นของไอออนภายในและภายนอกเซลล์ประสาท ความแตกต่างนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการกระจายของ K^+ และ Na^+ ทั้งสองข้างเยื่อเซลล์ไม่เท่ากัน เซลล์ประสาทขณะพักนั้นมีความเข้มข้นของ K^+ ภายในเซลล์มากกว่าภายนอกเซลล์ ส่วน Na^+ นั้นมีความเข้มข้นนอกเซลล์มากกว่าภายในเซลล์ โดยปกติความต่างศักย์ระหว่างเยื่อเซลล์ขณะพักเท่ากับ -70 mV เนื่องจากการทำงานของ Na^+ - K^+ pump ซึ่งทำหน้าที่ปั๊ม 3 Na^+ ออกนอกเซลล์โดยแลกกับ 2 K^+ เข้าสู่ภายในเซลล์ ไอออนทั้งสองชนิดเป็นบวก ไอออนบวกจะเคลื่อนผ่านออกจากเซลล์มากกว่าเคลื่อนเข้า และ voltage-gated sodium และ potassium ion channels จะยอมให้ Na^+ K^+ และ Cl^- ผ่านแต่ไม่ยอมให้โปรตีนผ่านได้ จากเหตุผลนี้ทำให้ในเซลล์มีความเป็นลบมากกว่าด้านนอกเซลล์

สิ่งกระตุ้นที่ทำให้เกิดแอ็คชั่นโพเทนเชียลมีมากมาย เช่น ไฟฟ้า พลังงานกล หรือสารเคมี เมื่อสิ่งกระตุ้นเหล่านี้มากระตุ้นเซลล์ประสาทจะทำให้ sodium channel เปิด ดังนั้น Na^+ จึงเคลื่อนเข้าสู่ภายในเซลล์ ภายในเซลล์จึงมีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเรียกเหตุการณ์นี้ว่า depolarization ซึ่งเมื่อถึง excitatory threshold จึงเกิดแอ็คชั่นโพเทนเชียลตามมา หลังจากนั้น Na^+ channels จะปิดอย่างรวดเร็ว แล้ว K^+ channels จึงเปิดให้ K^+ เคลื่อนออกนอกเซลล์ประสาท ศักย์ไฟฟ้าของเซลล์จึงเป็นบวกลดลงเรียกช่วงนี้ว่า repolarization หลังจากนั้น Na^+ - K^+ pump จะทำหน้าที่ปั๊ม Na^+ ออกนอกเซลล์และปั๊ม K^+ กลับเข้าไปภายในเซลล์เพื่อรักษาความเข้มข้นของไอออนให้กลับมาสู่สภาวะเดิม

การที่กระแสประสาทจะเดินทางไปตามใยประสาทได้นั้นจะต้องมีการแผ่กระจายของ electrical currents คือขณะเมื่อ Na^+ เคลื่อนเข้าไปภายในเซลล์บริเวณจุดที่ถูกกระตุ้น ศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณนั้นเรียกว่า local currents ซึ่งจะมีผลต่อเยื่อเซลล์บริเวณถัดไปทำให้มี depolarization และไปกระตุ้น voltage-sensitive sodium channels ที่บริเวณใหม่ถัด ๆ ไปอีก จึงทำให้ Na^+ เคลื่อนเข้าสู่เซลล์และเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับข้างต้นทำให้กระแสประสาทแผ่กระจายออกไปเรื่อย ๆ เมื่อกระแสประสาทเคลื่อนไปยังจุดอื่นเยื่อเซลล์บริเวณเดิมจะเกิด repolarization และกลับไปมีศักย์ไฟฟ้าเท่าขณะพักคือ -70 มิลลิโวลท์ แล้วใยประสาทก็จะสามารถถูกกระตุ้นใหม่ได้อีก (Guyton and Hall.2006)



ภาพที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ประสาทขณะเกิดกระแสประสาท การเกิดแอ็คชั่นโพเทนเชียลจะมีเหตุการณ์เกิดขึ้น 3 เหตุการณ์ต่อเนื่องกันคือ มีศักย์ไฟฟ้าขณะพัก ต่อมาศักย์ไฟฟ้าจะเป็นบวกเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง firing level ทำให้ Na^+ channelsเปิดให้ Na^+ ผ่านเข้าเซลล์ได้เยื่อเซลล์เป็นบวกมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุด sodium equilibrium potential หลังจากนั้น K^+ จะเคลื่อนออกจากเซลล์ทำให้ศักย์ไฟฟ้าลดลงเรียกว่า repolarization ถ้าศักย์ไฟฟ้าลดลงมาก ๆ จนต่ำกว่าระยะพักเรียกเหตุการณ์ดังกล่าวว่า after hyperpolarization (ดัดแปลงจาก Marieb. 1995)

ในการส่งกระแสประสาทไปตามใยประสาทนั้น ใยประสาทที่มีขนาดใหญ่จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าใยประสาทที่มีขนาดเล็ก ใยประสาทที่มีเยื่อมัยอีลิน (myelin sheath) หุ้มจะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าใยประสาทที่ไม่มีเยื่อมัยอีลินหุ้ม ลักษณะการนำกระแสประสาทในใยประสาทที่มีเยื่อมัยอีลินหุ้มจะเป็นแบบกระโดด (saltatory conduction) ซึ่งเป็นการนำกระแสประสาทแบบเร็ว นั่นคือจะมีการนำกระแสประสาทแบบการกระโดดข้ามไปตาม nodes of Ranvier ที่เป็นเช่นนี้เพราะคุณสมบัติของเยื่อมัยอีลินมีความต้านทานต่อการไหลของกระแสไฟฟ้าสูง ดังนั้นแอ็คชั่นโพเทนเชียลที่เกิดขึ้นจะเกิดได้เฉพาะบริเวณที่ไม่มีเยื่อมัยอีลินหุ้ม คือ nodes of Ranvier กระแสประสาทจึงแพร่กระจายแบบกระโดด ส่วนการนำกระแสประสาทอีกแบบเรียกว่า local current เป็นการนำกระแสประสาทแบบค่อยแพร่ไป เกิดเป็นลำดับต่อกันไปไม่มีการกระโดด

ข้ามเกิดในใยประสาทที่ไม่มีเยื่อมัยอีลิน (non-myelinated axon) และเยื่อเซลล์กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle membrane) ดังนั้นจึงนำกระแสประสาทได้ช้ากว่าเมื่อเทียบกับแบบกระโดด ใยประสาทสามารถนำกระแสประสาทได้ 2 ทิศทาง เมื่อมีการกระตุ้นตรงกลางของใยประสาท แต่ในร่างกายของคนปกติกระแสประสาทจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวคือ กระแสประสาทของเส้นประสาทยนต์ (motor nerve) จะเคลื่อนที่จากส่วนบนลงล่าง คือ จากไขสันหลังลงสู่กล้ามเนื้อลาย ส่วนเส้นประสาทนำความรู้สึก (sensory nerve) จะเคลื่อนที่จากส่วนล่างไปยังส่วนบน คือ จาก peripheral nerve ไปยังไขสันหลังทางปมประสาทรากด้านหลังของไขสันหลัง (dorsal root ganglion) ทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทนี้เรียกว่า orthodromic conduction ถ้ามีทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นประสาทยนต์และเส้นประสาทนำความรู้สึกตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาจะเรียกว่า antidromic conduction (ราตรี สุดทรวง และ วีระชัย สิงหนิยม. 2545)

ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วการนำกระแสประสาท

1. ขนาดของใยประสาท ความเร็วการนำกระแสประสาทขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเยื่อเซลล์ และที่ไหลไปตาม axoplasm ของเซลล์ประสาท จะเห็นได้ว่าการจะนำกระแสประสาทได้เร็วหรือช้านั้นขึ้นอยู่กับเวลาที่เยื่อเซลล์ปล่อยหรือได้รับประจุไฟฟ้า เวลานี้เรียกว่า ค่าคงตัวเวลา (time constant) เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังสมการ

ค่าคงตัวเวลา (วินาที) = ความต้านทานของ axoplasm (โอห์ม) x ความจุไฟฟ้าของเยื่อเซลล์ (ฟารัด)

ถ้าค่าคงตัวเวลามีค่าน้อยจะทำให้กระแสประสาทนำไปได้เร็ว ดังนั้นใยประสาทขนาดใหญ่จึงนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าใยประสาทขนาดเล็ก เพราะแอ็กซอนของใยประสาทขนาดใหญ่มีพื้นที่หน้าตัดมาก ความต้านทานจึงน้อย ส่วนการนำกระแสประสาทไปตามใยประสาทที่ไม่มีเยื่อมัยอีลินหุ้ม จะนำไปได้ช้าเนื่องจากใยประสาทมีขนาดเล็ก และผนังของเยื่อเซลล์มีความจุไฟฟ้ามาก ทำให้มีค่าคงตัวเวลามากเป็นผลให้นำกระแสประสาทได้ช้า (ชูศักดิ์ เวชแพทย์. 2538)

2. ชนิดของใยประสาท ชนิดของใยประสาทแบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ แบ่งตามลำดับตัวอักษร A, B, C และ แบ่งตามลำดับ I-IV

2.1 แบ่งตามลำดับตัวอักษร A, B, C ได้แก่

2.1.1 Aα มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12 – 20 μm ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้ตำแหน่งและหารทรงตัวของร่างกาย ระบบประสาทยนต์

2.1.2 Aβ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 – 12 μm ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับสัมผัส แรงกดและการสั่นสะเทือน

2.1.3 Aγ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 – 6 μm ทำหน้าที่นำกระแสประสาทที่ muscle spindles

2.1.4 Aδ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2– 5 μm ทำหน้าที่นำความรู้สึกเจ็บปวด อุณหภูมิ

2.1.5 B มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 μm ทำหน้าที่เป็น preganglionic neuron ในระบบประสาท sympathetics

2.1.6 C มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3 – 1.3 μm ทำหน้าที่นำความรู้สึกเจ็บปวด นำสัญญาณ reflex และเป็น postganglionic neuron ในระบบประสาท sympathetic (มีชัย ศรีใส, 2546)

2.2 แบ่งตามลำดับ I-IV ได้แก่

2.2.1 Group Ia มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 17 μm ทำหน้าที่นำ impulse จาก muscle spindles เทียบได้กับชนิด Aα fiber

2.2.2 Group Ib นำ impulse จาก golgi tendon organ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 16 μm เทียบได้กับชนิด Aα fiber

2.2.3 Group II นำ impulse เกี่ยวกับการรับสัมผัสจากผิวหนัง เส้นขน ซึ่งมีตัวรับเป็นพวก Krause's end bulb, Meissner's corpuscle, Pacinian corpuscle, root hair plexus มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 μm เทียบได้กับชนิด Aβ, Aγ fibers

2.2.4 Group III นำ impulse เกี่ยวกับอุณหภูมิ ความเจ็บปวดที่เกิดขึ้นเร็วบอกตำแหน่งได้ชัด เช่นการถูกหนามตำ ของมีคมบาด (pricking pain) การสัมผัส สัมผัสหยาบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 μm เทียบได้กับชนิด Aδ fiber

ตั้งแต่ Group I-III มีเยื่อมัยอีลินหุ้มจึงนำกระแสประสาทได้เร็ว

2.2.5 Group IV ไม่มีเยื่อมัยอีลินหุ้ม ทำหน้าที่นำ impulse เกี่ยวกับความเจ็บปวดที่มีลักษณะปวดแบบตื้อ ๆ อาการคัน สัมผัสหยาบ และอุณหภูมิ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5-2 μm เทียบได้กับชนิด C fiber (Guyton and Hall. 2006)

3. ตำแหน่งของใยประสาท การนำกระแสประสาทของใยประสาทส่วนปลายที่อยู่ปลายระยางจะช้ากว่าส่วนต้น ๆ ประมาณ 5 – 10 %

4. อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของใยประสาทลดลงการนำกระแสประสาทจะลดลง โดยทั่วไปแล้วความเร็วจะลดลง 1.5 – 2.5 เมตร/วินาที/องศาเซลเซียส

5. อายุ พบว่าในเด็กทารกแรกเกิดจะมีความเร็วการนำกระแสประสาทเพียงครึ่งหนึ่งของผู้ใหญ่ พออายุ 1 ปี ความเร็วจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 80 % ของผู้ใหญ่ เมื่ออายุ 3 – 5 ปี จะมี

ความเร็วเท่ากับผู้ใหญ่ เมื่อย่างเข้าสู่วัยชราความเร็วจะลดลง คือเมื่ออายุ 60 – 80 ปี ความเร็วจะลดลงประมาณ 10 เมตร/วินาที (ราตรี สุดทรวง และ วีระชัย สิงหนิยม. 2545)

จะเห็นว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเร็วการนำกระแสประสาทว่าจะมากหรือน้อยขึ้นกับขนาดของใยประสาทและชนิดของใยประสาทว่ามีเยื่อมัยอีลินหุ้มหรือไม่ ถ้าใยประสาทขนาดใหญ่ความเร็วการนำกระแสประสาทจะมาก แต่ถ้าใยประสาทขนาดเล็กความเร็วการนำกระแสประสาทจะน้อย มีการศึกษาใน หนู แมว สุนัข พบว่าขนาดของใยประสาทแปรตามขนาดของร่างกายเมื่อเทียบกับสัตว์ในตระกูลเดียวกัน ดังนั้นสัตว์ที่มีขนาดตัวใหญ่ ขนาดใยประสาทก็ใหญ่ด้วยสามารถนำกระแสประสาทได้เร็ว สัตว์ที่มีขนาดตัวเล็กใยประสาทก็จะเล็กตาม การนำกระแสประสาทก็จะช้าตามไปด้วย (Takano et al. 1991) ในทารกแรกเกิดความเร็วการนำกระแสประสาทจะน้อยกว่าผู้ใหญ่เนื่องจากใยประสาทยังเจริญไม่เต็มที่และมีขนาดเล็ก (Hursh.1939; Gasser and Grundfest. 1939; Thomas and Lambert. 1960) เมื่อเข้าสู่วัยชราความเร็วการนำกระแสประสาทจะลดลงเนื่องจากใยประสาทมีขนาดเล็กลง และคุณสมบัติของเยื่อหุ้มเซลล์เปลี่ยนแปลงไป (Huang et al. 2009)

มีการศึกษา อายุ เพศ ความสูง และน้ำหนัก ว่ามีผลอย่างไรต่อความเร็วการนำกระแสประสาท โดยศึกษาในกลุ่มตัวอย่างชาวไต้หวันจำนวน 101 คน เป็นเพศชาย 50 คน เพศหญิง 51 คน ซึ่งผ่านการตรวจสุขภาพว่าไม่มีโรคทางระบบประสาท เบาหวาน ไทรอยด์ และไม่อยู่ระหว่างการตั้งครรภ์ พบว่าเส้นประสาท median และ ulnar ของผู้สูงอายุมีค่า latencies ยาว ค่า amplitudes และค่าความเร็วการนำกระแสประสาทน้อย ส่วนเพศ ความสูงและน้ำหนักไม่มีความสัมพันธ์กับความเร็วการนำกระแสประสาท (Huang et al. 2009) และเมื่อวัดความเร็วการนำกระแสประสาทที่เส้นประสาท sural ในอาสาสมัครปกติ 25 คน อายุ 40-70 ปี ก็ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของค่าดังกล่าวกับความสูงเช่นเดียวกัน นอกจากนี้ยังไม่สัมพันธ์กับค่าดัชนีมวลกายด้วย (Saeed and Akram. 2008) ซึ่งตรงกันข้ามกับบางรายงานวิจัยที่บอกว่าความเร็วการนำกระแสประสาทจะลดลงเมื่อค่าดัชนีมวลกายเพิ่มขึ้น (Awang et al. 2006)

แต่มีบางรายงานที่พบว่าความสูงมีความสัมพันธ์กับความเร็วการนำกระแสประสาท เช่น การศึกษาของ Takano et al (1991) ซึ่งทำการศึกษาที่เส้นประสาท ulnar ในนักศึกษาแพทย์ชาวญี่ปุ่นจำนวน 650 คน คละเพศพบว่าคนสูงมีค่าความเร็วการนำกระแสประสาทมากกว่าคนเตี้ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Soudmand et al (1982) ที่พบว่าความเร็วการนำกระแสประสาทที่ peroneal และ sural นั้นแปรผกผันกับความสูง แต่ถ้าวัดที่เส้นประสาท median กลับพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน

เห็นได้ว่าการศึกษาทางด้านค่าดัชนีมวลกายยังมีอยู่น้อยมาก ซึ่งไม่พบการศึกษาดังกล่าวในประชากรไทย ส่วนอายุและส่วนสูงผลการศึกษายังไม่แน่นอนและยังมีการโต้แย้งกันอยู่ว่าความสัมพันธ์กับความเร็วการนำกระแสประสาทจะเป็นไปในทิศทางใด จึงจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาต่อเนื่องไปในอนาคต

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกายต่อค่าความเร็วการนำกระแสประสาทในแต่ละประเทศ

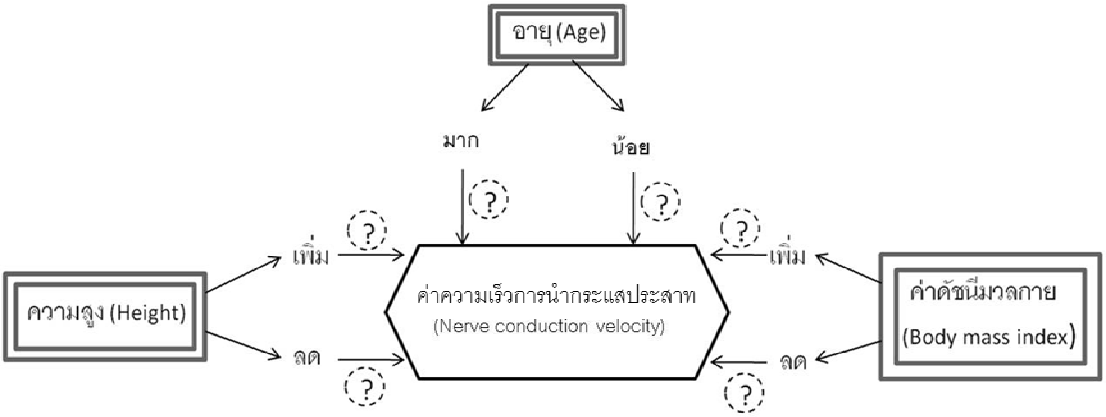
ประเทศ	ชนิดของเส้นประสาท	ปัจจัยด้านต่าง ๆ				ผู้วิจัย
		อายุ	น้ำหนัก	ส่วนสูง	ค่าดัชนีมวลกาย	
ไต้หวัน	Median	แปรผกผัน	ไม่มีผล	ไม่มีผล	-	Huang et al. 2009
	ulnar	แปรผกผัน	ไม่มีผล	ไม่มีผล	-	
ปากีสถาน	sural	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ไม่มีผล	ไม่มีผล	Saeed and Akram. 2008
มาเลเซีย	common peroneal	แปรผกผัน	-	ไม่มีผล	แปรผกผัน	Awong et al. 2006
	sural	แปรผกผัน	-	ไม่มีผล	แปรผกผัน	
	median	แปรผกผัน	-	ไม่มีผล	แปรผกผัน	
	ulnar	แปรผกผัน	-	ไม่มีผล	แปรผกผัน	
ญี่ปุ่น	ulnar	-	-	แปรผกผัน	-	Takano et al. 1991
อเมริกา	Common peroneal	-	-	แปรผกผัน	-	
	sural	-	-	แปรผกผัน	-	
	median	-	-	ไม่มีผล	-	

- หมายถึง ไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยดังกล่าวในงานวิจัยนั้น

กรอบแนวคิดในการวิจัย

มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อความเร็วการนำกระแสประสาทไม่ว่าจะเป็นขนาดและชนิดของเส้นประสาท รวมถึงอายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกาย การวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยทางด้านอายุ ส่วนสูง และค่าดัชนีมวลกายว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรต่อความเร็วการนำกระแสประสาท โดยการหาความสัมพันธ์ของความเร็วการนำกระแสประสาทระหว่างกลุ่มที่มีอายุต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษา

ว่าเมื่ออายุมากขึ้นความเร็วการนำกระแสประสาทจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง รวมทั้งศึกษาปัจจัยทางด้านความสูงและค่าดัชนีมวลกายระหว่างคนอ้วน (ค่าดัชนีมวลกายมาก) และคนผอม (ค่าดัชนีมวลกายน้อย) ว่าความเร็วการนำกระแสประสาทเป็นอย่างไรมีความสัมพันธ์กันหรือไม่



ภาพที่ 2.10 กรอบแนวคิดในการทำวิจัย

HUACHIEW CHALERMPRAKIET UNIVERSITY 華僑崇聖大學