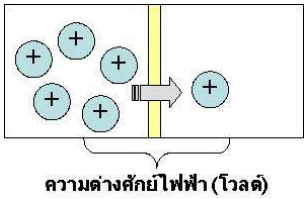
การทำงานของเซลล์ประสาท

เซลล์ประสาท (Neuron, Neurone)

เทคโนโลยีและเครื่องมือสื่อสารในปัจจุบันทำให้เราสามารถติดต่อสื่อสารระหว่างบุคคลกันได้อย่างรวดเร็วและทันต่อสถานการณ์มากขึ้น ในร่างกายของเราก็มีระบบสื่อสารระหว่างเซลล์ที่ทำงานได้รวดเร็วไม่แพ้กัน การสื่อสารภายในร่างกายนี้เองเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การติดต่อด้วยเครื่องมือสื่อสารระหว่างบุคคลเป็นไปได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ นับตั้งแต่

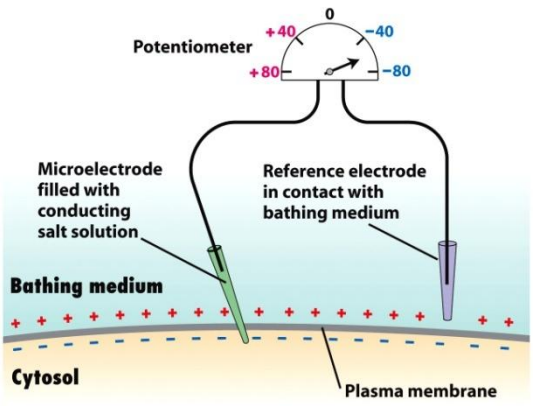
1. การรับรู้ข้อมูลจากสัญญาณภายนอกร่างกาย
2. นำข้อมูลมาประมวลผล แล้ว
3. แสดงการตอบสนอง ทั้งหมดนี้เกิดจากการทำงานของระบบอวัยวะภายในร่างกายของเรา คือ ระบบประสาท

ในระบบประสาท มีอวัยวะในระบบจำนวนมาก โดยที่แต่ละอวัยวะก็จะมีเซลล์หลายชนิดทำงานร่วมกัน โดยมี**หน่วยทำงาน (functional unit)** ของระบบ ได้แก่ เซลล์ประสาททำหน้าที่ส่งสัญญาณในรูปกระแสประสาทเพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ภายในร่างกายของเรา


ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

ความต่างศักย์ไฟฟ้า การทำงานของเซลล์ประสาท เป็นปรากฏการณ์ทางไฟฟ้ารูปแบบหนึ่ง ดังนั้นนักเรียนจึงจำเป็นต้องทาความรู้จักกับคำศัพท์ทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ซึ่งหมายถึง พลังงานในการย้ายประจุไฟฟ้าจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง

จากภาพตัวอย่าง หากเราต้องการย้ายประจุไฟฟ้าบวก ผ่านผนังจากด้านซ้ายไปด้านขวา เราจะต้องใช้พลังงานค่าหนึ่งในการทำงาน ซึ่งเราสามารถใช้เครื่องมือวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า เช่น โวลต์มิเตอร์ วัดค่าพลังงานนี้ออกมาได้เป็นหน่วย **โวลต์**



ภาพที่ 1 ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทในระยะพัก

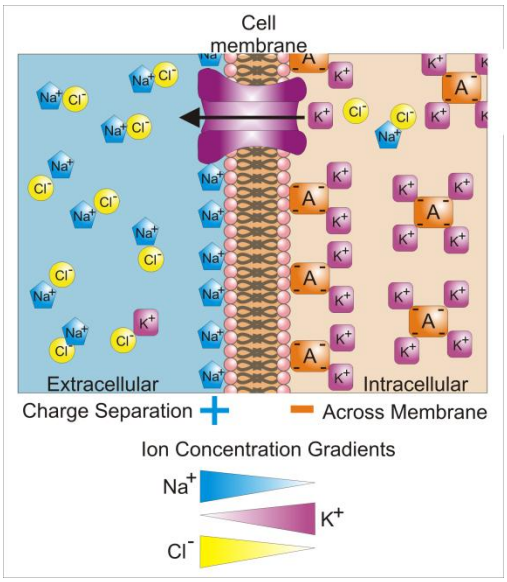
ในร่างกายของสัตว์ เซลล์ทุกชนิดแสดงความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยมีประจุไฟฟ้าบวกปริมาณมากภายนอกเยื่อหุ้มเซลล์ และมีประจุไฟฟ้าลบปริมาณมากภายในเซลล์ เมื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าจะได้**ค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ (membrane potential)** ที่มีค่าแตกต่างกันไปตามประเภทของเซลล์

ในกรณีของเซลล์ประสาทที่อยู่ใน **ระยะพัก (resting state)** จะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ประมาณ −70 มิลลิโวลต์ และเรียกค่านี้ว่า **ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ระยะพัก (resting membrane potential)**

เครื่องหมายลบที่อยู่หน้าตัวเลข 70 แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่วางขั้วไฟฟ้าภายในเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่วางขั้วอ้างอิงด้านนอกเซลล์

ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ (Membrane potential)

ข้อมูลที่กล่าวว่า เราจะพบประจุไฟฟ้าบวกปริมาณมากภายนอกเยื่อเซลล์ และพบประจุไฟฟ้าลบปริมาณมากภายในเซลล์ เป็นเรื่องที่ฟังแล้วอาจจะขัดกับความรู้เรื่องสมดุลที่ได้เคยเรียนมา เพราะถ้าเยื่อเซลล์เป็นเยื่อที่ยอมให้ประจุไฟฟ้าบวกผ่านอย่างอิสระแล้ว ประจุไฟฟ้าบวก ก็น่าจะผ่านจากทางด้านซ้ายไปด้านขวาจนกระทั่งประจุไฟฟ้าบวกทั้งสองด้านเท่ากัน เหตุการณ์เช่นเดียวกันนี้ก็ควรจะเกิดกับประจุไฟฟ้าลบ และทำให้ประจุไฟฟ้าลบทั้งสองด้านมีอยู่เท่ากันด้วยเช่นกัน



ภาพที่ 2 การกระจายของประจุไฟฟ้าอย่างไม่สม่ำเสมอระหว่างภายในและภายนอก cell membrane สัตว์

แสดงให้เห็นว่า เยื่อเซลล์ของเซลล์สัตว์มีสมบัติพิเศษบางอย่างที่ทำให้มีการกระจายของประจุไฟฟ้าอย่างไม่สม่ำเสมอ โดยประจุไฟฟ้าแต่ละชนิดจะกระจายตัวอยู่อย่างหนาแน่นที่ภายในและภายนอกเซลล์ได้แตกต่างกัน ดังตัวอย่างในภาพที่ 2

กรณีของประจุไฟฟ้าลบ

- มีคลอไรด์ไอออนอยู่ด้านนอกเซลล์มากกว่าภายในเซลล์
- มีโปรตีนที่มีประจุลบอยู่ภายในเซลล์เท่านั้น

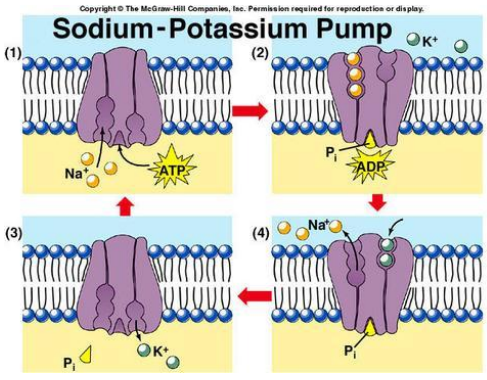
กรณีของประจุไฟฟ้าบวก

- มีโซเดียมไอออนที่ด้านนอกเซลล์มากกว่าภายในเซลล์
- มีโปแทสเซียมไอออนภายในเซลล์มากกว่าด้านนอกเซลล์

เหตุผลที่ทำให้ประจุไฟฟ้าแต่ละชนิดกระจายอยู่อย่างไม่สมดุลและทำให้เซลล์สามารถรักษาศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ไว้ได้ ได้แก่

1. เยื่อเซลล์ยอมให้ไอออนแต่ละชนิด โดยเฉพาะโซเดียมไอออน และโปแทสเซียมไอออน แพร่ผ่านเข้าออกได้แตกต่างกัน

2. เซลล์มีโครงสร้างพิเศษช่วยทำหน้าที่เคลื่อนย้ายไอออนสวนทางกับทิศทางการแพร่ตามปรกติ ได้แก่ **sodium-potassium pump** ซึ่งช่วยขนย้ายโซเดียมไอออนออกภายนอกเซลล์ 3 ไอออน พร้อมกับขนย้ายโปแ ทสเซียมไอออน เข้า



ภาพที่ 3 Sodium-potassium pump

ภายในเซลล์ 2 ไอออน (ดังภาพที่ 3) ทำให้มีโซเดียมไอออนมากที่ภายนอกเซลล์ และมีโปแตสเซียมไอออนมากที่ภายในเซลล์

3. เซลล์มีก้อนโปรตีนขนาดใหญ่ที่มีประจุเป็นลบอยู่ภายในเซลล์ ซึ่งโปรตีนเหล่านี้จะไม่สามารถผ่านเยื่อเซลล์ได้ จึงเป็นตัวบังคับให้ประจุสุทธิภายในเซลล์มีสภาพเป็นลบมากกว่าภายนอกเซลล์

การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์

ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ที่กล่าวมา เป็นสมบัติที่พบได้ในเซลล์ทุกชนิดของสัตว์ แต่เซลล์ประสาทเป็นเซลล์ที่มีสมบัติทางสรีรวิทยาแตกต่างจากเซลล์ชนิดอื่น ๆ ของร่างกาย คือ

1. เป็นเซลล์ที่สามารถเปลี่ยนแปลง **ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ (excitability)** เพื่อตอบสนองต่อตัวกระตุ้น ซึ่งอาจเป็นสารเคมี, แรงกล หรือ สัญญาณไฟฟ้า

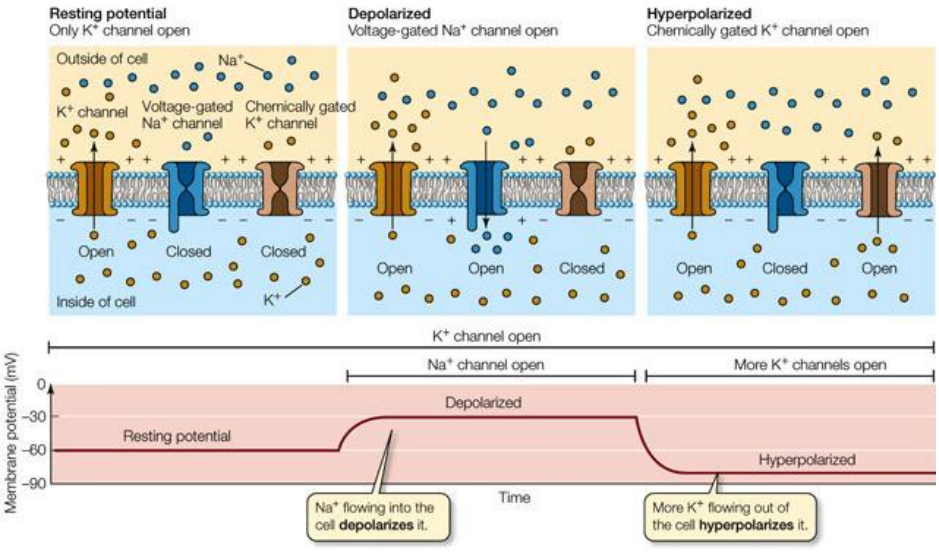
2. เป็นเซลล์ที่สามารถส่งต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ไปยังเซลล์อื่น (**conductivity**) ทำให้มีการนำกระแสประสาทเกิดขึ้น

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าเซลล์ประสาทที่อยู่ในระยะพักจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ประมาณ -70 มิลลิโวลต์ ซึ่งเรียกว่าเกิด**ภาวะมีขั้ว (polarization)**

การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทอาจเกิดเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป เรียกว่า **graded potential** ซึ่งพบได้ที่บริเวณ **synapse** ของเซลล์ประสาท

เกิดจากการที่ประจุบวกภายในเซลล์ ในที่นี้คือ โปแทสเซียมไอออน ไหลออก ทำให้ภายในเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบมากขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในระยะพัก เรียกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบนี้ว่า **hyperpolarization**

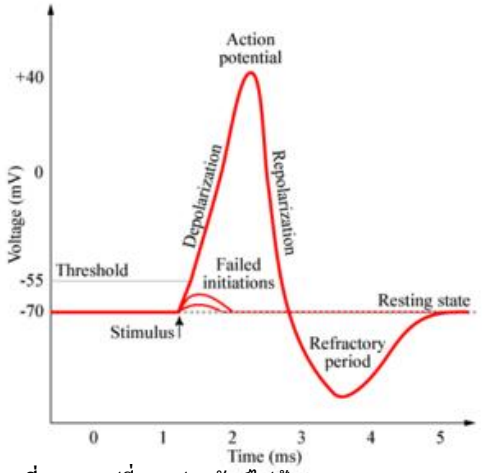
เกิดจากการที่ประจุบวกภายนอกเซลล์ ในที่นี้คือ โซเดียมไอออน ไหลเข้า ทำให้ภายในเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบน้อยลงเมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในระยะพัก เรียกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบนี้ว่า **depolarization**



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบ hyperpolarization และ depolarization

นอกจากนี้เมื่อมีประจุบวกไหลเข้าอย่างต่อเนื่องในปริมาณมาก จะทำให้เกิด depolarization อย่างต่อเนื่อง จนถึงค่าความต่างศักย์จำเพาะของเซลล์ หรือ ระดับ **threshold** จะทำให้เยื่อเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าต่อไปอย่างรวดเร็วและรุนแรง เรียกว่า **action potential**

ดังนั้นการเกิด action potential จึงเกิดแบบ **all-or-none** กล่าวคือ จะเกิด action potential ก็ต่อเมื่อเกิด depolarization ถึงระดับ threshold เท่านั้น และถ้าไม่ถึง threshold ก็จะไม่เกิด action potential



ภาพที่ 5 การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบ action potential

กระแสประสาท (Action potential)

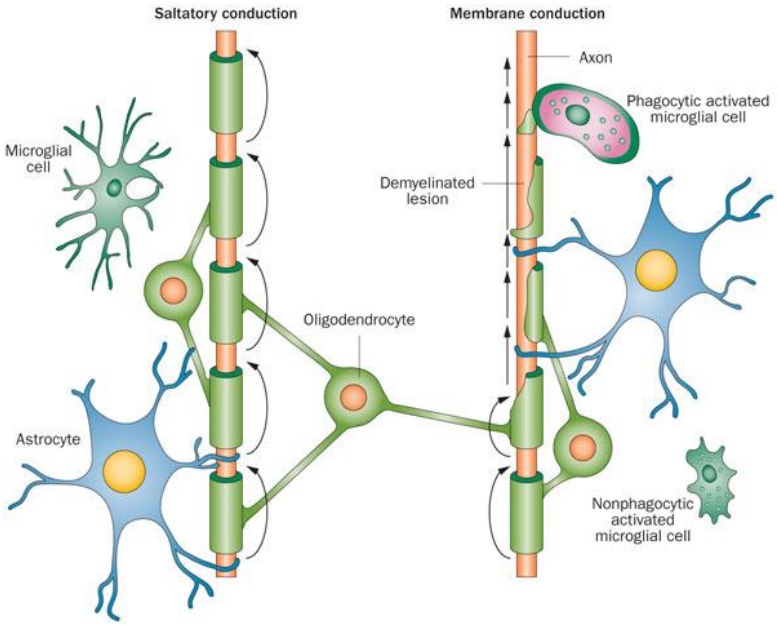
ในการเกิด action potential เมื่อมี depolarization จนมีค่าความต่างศักย์เป็นบวกสูงสุดแล้ว ประจุบวกภายในเซลล์ หรือ โปแทสเซียมไอออน จะเริ่มไหลออก ทำให้ภายในเซลล์กลับไปมีประจุสุทธิเป็นลบเทียบเท่ากับเซลล์ประสาทในระยะพักอีกครั้ง เรียกว่าเกิด **repolarization** และเมื่อโปแทสเซียมไอออนไหลออกอย่างต่อเนื่อง จะทำให้ภายในเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบมากกว่าเซลล์ประสาทในระยะพัก เรียกว่าเกิด **undershoot**

การเคลื่อนที่ของกระแสประสาท

Action potential ที่เกิดขึ้นบนเยื่อเซลล์ตำแหน่งหนึ่ง จะทำให้เยื่อเซลล์ตำแหน่งใกล้เคียงเกิด depolarization ได้และเมื่อ depolarization ถึง threshold ก็จะเกิดเป็น action potential ต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ ทำให้ดูเหมือนเป็นการเกิดเป็นกระแสประสาทส่งผ่าน axon ไป**แบบต่อเนื่อง (continuous conduction)**

เซลล์ประสาทบางชนิด axon มี myelin sheath หุ้ม ทำให้เยื่อเซลล์มีบริเวณที่สัมผัสกับของเหลวภายนอกไม่มากนัก เซลล์ประสาทจะส่ง action potential **แบบกระโดด (saltatory conduction)**

โดยจะเกิด depolarization ที่บริเวณรอยต่อของ **myelin sheath** หรือ **node of Ranvier** ซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับของเหลวนอกเซลล์ และมี ion channels หนาแน่น ไอออนจึงสามารถผ่านเข้าออกเยื่อหุ้มเซลล์ในบริเวณนี้ได้



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบ action potential อย่างต่อเนื่อง และ แบบกระโดด

การส่ง action potential ไปตาม axon เกิดได้อย่างรวดเร็วด้วยความเร็วสูงสุดถึง 100 เมตรต่อวินาที หรือ 360 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เทียบเท่ากับความเร็วของรถไฟความเร็วสูง ทำให้การส่งสัญญาณกระแสประสาทจากศีรษะถึงปลายเท้าของคนใช้เวลาน้อยกว่า 0.02 วินาที

การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท

ในธรรมชาติ สัตว์อาศัยอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และทางชีวภาพ ทำให้จาเป็นต้องมีกลไกในการรักษาสภาวะภายในร่างกายให้ค่อนข้างคงที่ หรือ เปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุดเรียกว่า ภาวะธำรงดุล หรือ homeostasis การตอบสนองของสัตว์ต่อสภาวะแวดล้อมทั้งกายภาพและชีวภาพเหล่านี้ เกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาท และ ระบบต่อมไร้ท่อ

การทำงานของระบบประสาท หรือ **nervous system** ช่วยให้สัตว์สามารถปรับตัวตอบสนองต่อสภาวะแวดล้อมได้ในระยะเวลาอันสั้นและผลการตอบสนองจะสิ้นสุดลงอย่างรวดเร็ว

ในระบบประสาท มีอวัยวะในระบบจำนวนมาก โดยที่แต่ละอวัยวะก็จะมีเซลล์หลายชนิดทำงานร่วมกัน เซลล์ที่สำคัญและถือว่าเป็น หน่วยทำงาน หรือ **functional unit** ของระบบประสาท คือ เซลล์ประสาท ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณในรูปกระแสประสาททำให้เกิดการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ภายในร่างกายของเราได้

เซลล์ประสาทสามารถเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ในการตอบสนองต่อตัวกระตุ้น และ สามารถส่งต่อการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ไปยังเซลล์อื่น ทำให้มีการนำกระแสประสาท หรือ **nerve impulse** เกิดขึ้น ในเนื้อหาตอนนี้ เราจะมาเรียนรู้กลไกการส่งกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังอีกเซลล์ประสาทหนึ่ง หรือ ส่งไปยังเซลล์อื่น เช่น เซลล์กล้ามเนื้อ

Synapse

บริเวณที่เซลล์ประสาทใช้ติดต่อสื่อสารกับเซลล์อื่นๆ เรียกว่า synapse เซลล์ประสาทที่ส่งสัญญาณไปยัง synapse เรียกว่า **presynaptic cell** ส่วนเซลล์ที่รับสัญญาณเรียกว่า **postsynaptic cell**

เซลล์ประสาทสามารถติดต่อสื่อสารกับเซลล์อื่นได้โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าผ่าน electrical synapse หรือสัญญาณสารเคมีผ่าน chemical synapse

การส่งกระแสประสาทผ่าน electrical synapse

การส่งกระแสประสาทผ่าน electrical synapse พบในเซลล์ประสาทที่อยู่ใกล้กันมากและเชื่อมต่อกันด้วย gap junction

เมื่อกระแสประสาท หรือ action potential ของ presynaptic cell เคลื่อนมายังบริเวณปลาย axon หรือ synaptic terminal action potential นั้นจะสามารถผ่านไปยัง postsynaptic cell ผ่านทางรอยต่อระหว่างเซลล์ชนิด gap junction ได้เลย

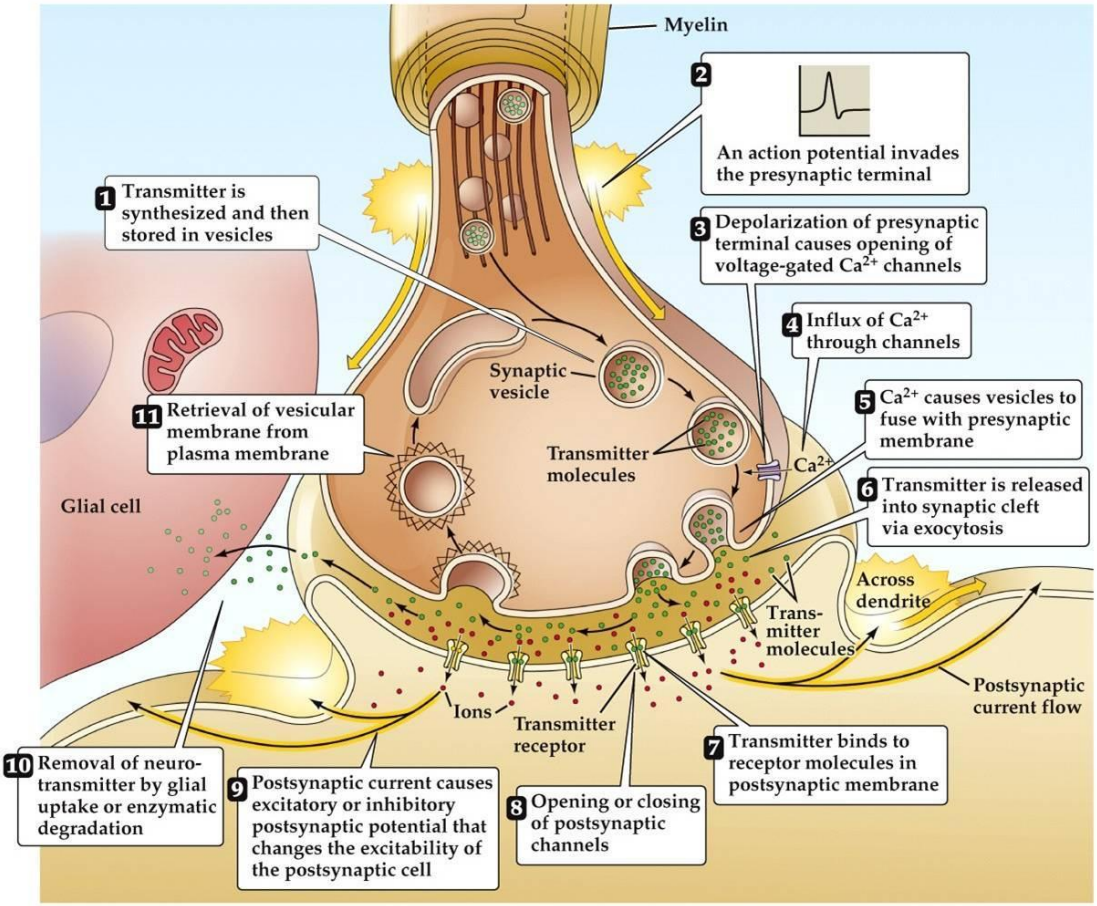
การส่งกระแสประสาทในลักษณะนี้ postsynaptic cell จะเกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เป็น action potential ต่อไปได้ทันที จึงมีความรวดเร็วกว่า และสัญญาณที่ส่งมาจะได้รับการถ่ายทอดไปแบบเดิมไม่

มีการเปลี่ยนแปลง การที่สัญญาณประสาทไม่ถูกเปลี่ยนแปลง ทาให้เซลล์ประสาทไม่สามารถเกิดการประมวลผลระดับเซลล์ได้ เราจึงพบการถ่ายทอดกระแสประสาทผ่าน electrical synapse ได้ค่อนข้างน้อยในสัตว์มีกระดูกสันหลัง โดยจะพบได้ที่บางส่วนของสมอง ตา และปมประสาท เท่านั้น

การส่งกระแสประสาทผ่าน chemical synapse

การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาทที่เราพบได้เป็นส่วนใหญ่ในร่างกาย เป็นการส่งกระแสประสาทผ่าน chemical synapse ซึ่งพบในเซลล์ประสาทที่ไม่มี gap junction ทั้งนี้เนื่องจากในความเป็นจริง เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จะอยู่เชื่อมต่อกับเซลล์อื่น ๆ เป็นจำนวนมาก เมื่อได้รับสัญญาณเหล่านี้มาพร้อม ๆ กัน เซลล์ประสาทจึงจำเป็นต้องมีการประมวลระดับเซลล์ เพื่อให้เกิดการตอบสนองที่เหมาะสมต่อไป

ในการถ่ายทอดกระแสประสาทผ่าน chemical synapse เมื่อกระแสประสาท หรือ action potential เคลื่อนมายังบริเวณปลาย axon ของ presynaptic cell action potential จะไม่สามารถเคลื่อนผ่านไปยัง postsynaptic cell ได้โดยตรง จึงต้องส่งสัญญาณผ่านสารเคมี แล้วให้สารเคมีนั้นเคลื่อนไปยัง postsynaptic cell เมื่อ postsynaptic cell ได้รับสารเคมีนั้นแล้วก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าในภายหลัง



***NEUROSCIENCE 5e*, Figure 5.3**
© 2012 Sinauer Associates, Inc.

ภาพที่ 7 การส่งกระแสประสาทผ่าน synapse

การถ่ายทอดกระแสประสาทผ่าน chemical synapse มีองค์ประกอบในการทำงานที่ควรทราบ ดังนี้

- Synaptic vesicle หมายถึงโครงสร้างคล้ายถุงที่ใช้บรรจุสารเคมีเพื่อส่งผ่าน synapse
- Neurotransmitter หรือ สารสื่อประสาท หมายถึงสารเคมีที่ใช้ในการถ่ายทอดสัญญาณระหว่างเซลล์ประสาท
- Receptor หมายถึงโครงสร้างที่เยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell ที่ทาหน้าที่เป็นตัวรับที่มีความจาเพาะต่อสารเคมีที่ presynaptic cell ส่งออกมา
- Ion channel หมายถึงโครงสร้างบนเยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell ที่ทาหน้าที่เป็นช่องให้ประจุผ่านเข้าออกเซลล์ได้และเป็นส่วนหนึ่งของ receptor

เรามาเริ่มดูกลไกการถ่ายทอดกระแสประสาทผ่าน chemical synapse ด้วยการติดตามจากตัวอย่างการส่งกระแสประสาทโดยอาศัยสารสื่อประสาทชนิด acetylcholine

เมื่อกระแสประสาท หรือ action potential เคลื่อนมายังบริเวณปลาย axon ของ presynaptic cell action potential จะชักนำให้เยื่อเซลล์บริเวณปลาย axon เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์แบบ depolarization ที่บริเวณปลาย axon นี้ จะมีสารสื่อประสาทบรรจุอยู่ในถุง synaptic vesicle

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบ depolarization จะทำให้เกิดการนำแคลเซียมไอออนเข้าสู่เซลล์ และแคลเซียมจะไปกระตุ้นให้ synaptic vesicle เคลื่อนมาที่เยื่อเซลล์บริเวณ synapse และมีผลต่อเนื่องทำให้เกิดการปลดปล่อยสารสื่อประสาทจากถุง synaptic vesicle ผ่านกระบวนการ exocytosis ทำให้สารสื่อประสาทลอยออกไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์

ที่เยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell จะมี receptor ซึ่งเป็นตัวรับที่จำเพาะต่อสารสื่อประสาทของ presynaptic cell อยู่ ซึ่ง receptor ของสารสื่อประสาททุกชนิด นอกจากจะทำหน้าที่เป็นตัวรับสารเคมีแล้ว ยังทาหน้าที่เป็น ion channel ควบคุมการผ่านเข้าออกของประจุด้วย

เมื่อมีการจับกันอย่างจำเพาะเกิดขึ้นระหว่างสารสื่อประสาทและ receptor จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของ receptor และเกิดการเปิดช่องให้ประจุผ่านเข้าออกเซลล์ได้

เมื่อ acetylcholine จับกับ receptor จะทำให้ช่องโซเดียมเปิดออก ทำให้โซเดียมไอออนที่มีอยู่มากภายนอกเซลล์ ไหลเข้าสู่ภายในเซลล์อย่างรวดเร็ว

เมื่อมีโซเดียมไอออน (ประจุบวก) ไหลเข้าสู่เซลล์อย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง จะทำให้ภายในเซลล์มีประจุสุทธิเป็นลบน้อยลงเมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในระยะพัก เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์แบบ depolarization ขึ้นซึ่งถ้าหาก depolarization ถึงระดับ threshold ก็จะทำให้เกิด action potential ต่อไปได้

ในบริเวณช่องว่างระหว่างเซลล์จะมีเอนไซม์ที่สามารถย่อยสลายสารสื่อประสาทที่จับกับ receptor แล้วเพื่อนำเอาสารเคมีหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ และยังป้องกันไม่ให้สัญญาณกระแสประสาทอยู่นานจนเกินไปอีกด้วย

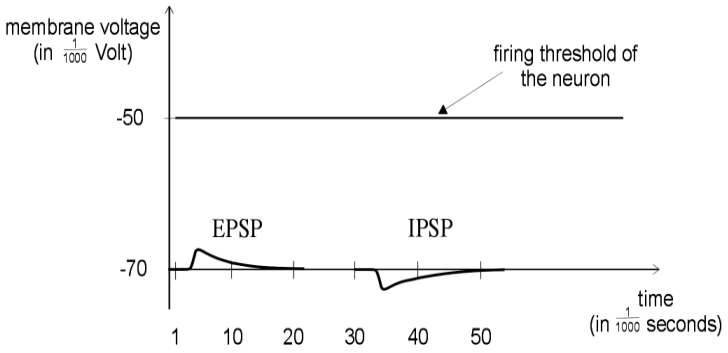
การถ่ายทอดกระแสประสาทผ่าน chemical synapse ทาให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าแบบค่อยเป็นค่อยไป หรือ graded potential ซึ่งอาจเรียกให้จำเพาะต่อบริเวณที่พบว่า synaptic potential

การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์แบบ IPSP และ EPSP ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์

เซลล์ประสาทแต่ละชนิดอาจใช้สารสื่อประสาทแตกต่างกัน ซึ่งแต่ละชนิดก็จะมี receptor ที่จำเพาะของตนเอง การที่ receptor ทำหน้าที่เป็น ion channel ด้วย ทำให้สารสื่อประสาทแต่ละชนิดควบคุมการผ่านเข้าออกของประจุไม่เหมือนกัน สัญญาณที่ส่งผ่าน chemical synapse จากเซลล์ประสาทต่างชนิดกัน จึงทำให้เกิดผลการตอบสนองที่แตกต่างกัน

ถ้าสารสื่อประสาทจับกับตัวรับที่ postsynaptic cell แล้วทำให้เกิดการนำประจุบวกเข้าจนทำให้เกิด depolarization จะเรียกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าว่า **Excitatory Postsynaptic potential** หรือ **EPSP**

แต่ถ้าสารสื่อประสาทจับกับตัวรับที่ postsynaptic cell แล้วทำให้เกิดการนำประจุบวกออก หรือ นำประจุลบเข้า จนทำให้เกิด hyperpolarization จะเรียกการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าว่าเป็น **Inhibitory Postsynaptic potential** หรือ **IPSP**



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell แบบ excitatory postsynaptic potential: EPSP และ inhibitory postsynaptic potential: IPSP

การประมวลผลระดับเซลล์

ในสภาวะที่เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์มีเซลล์ประสาทอื่นจำนวนมากมา synapse ด้วย หากเซลล์ประสาทที่มา synapse ส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดการกระตุ้น หรือ EPSP มาพร้อมๆ กันหลายเซลล์ในเวลาเดียวกัน ในที่นี้ คือ E_1 และ E_2 อาจทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทที่รับคำสั่งเปลี่ยนแปลงจนถึง threshold และทำให้เกิด action potential ได้

หากเซลล์ประสาทอื่นๆ ที่มา synapse ส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดการกระตุ้น หรือ EPSP ในที่นี้ คือ E_1 มาพร้อมกับเซลล์ประสาทที่ส่งสัญญาณที่ทาให้เกิดการยับยั้ง หรือ IPSP ในที่นี้คือ I_1 ก็จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทที่รับคำสั่งนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงไม่มีการตอบสนองใดๆ เกิดขึ้น

เซลล์ประสาทแต่ละเซลล์จึงมีความสามารถในการประมวลผลระดับเซลล์ได้ และมีการตอบสนองที่เหมาะสมต่อสถานการณ์

ที่มา

นพดล กิตนะ. 2555. **คู่มือประกอบสื่อการสอนวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย เรื่อง สมองสัตว์และคน.** ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. 2547. **ชีววิทยา สัตววิทยา 1.** ด่านสุทธาการพิมพ์, กรุงเทพมหานคร.

http://www.bio.miami.edu/tom/courses/bil255/bil255goods/15_mempot.html

คำอธิบายศัพท์

Action potential	กระแสประสาท หรือ การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้ประจุสุทธิของเซลล์เป็นลบน้อยลง (หรือกลายเป็นบวก) เมื่อเทียบกับเซลล์ในระยะพัก หรือ อาจเรียกว่าเป็น depolarization รูปแบบหนึ่ง Action potential แตกต่างจาก depolarization ทั่วไป ตรงที่ 1. เกิดขึ้นเมื่อเซลล์ได้รับการกระตุ้นจนศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์เปลี่ยนแปลงถึงค่า threshold เท่านั้น 2. มีการเปลี่ยนแปลงรุนแรงกว่ามาก จนทำให้ประจุสุทธิเป็นบวก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงแล้วทำให้ได้ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์สูงสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น ไม่มีการแปรตามความแรงของการกระตุ้น
Chemical synapse	Synapse ที่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทโดยใช้สัญญาณสารเคมี ในที่นี้คือ สารสื่อประสาทที่หลั่งจาก presynaptic cell ซึ่งมีผลต่อกิจกรรมของ postsynaptic cell
Electrical synapse	synapse ที่มีการติดต่อสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทโดยใช้สัญญาณไฟฟ้า ในที่นี้คือ action potential ที่ส่งจาก presynaptic cell ไปยัง postsynaptic cell ผ่านทางรอยต่อระหว่างเซลล์ชนิด gap junction
Excitatory postsynaptic potential	ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell เมื่อได้รับสัญญาณจาก presynaptic cell แล้วทำให้มีประจุสุทธิเป็นลบน้อยลงเมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในระยะพัก โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ภายหลังการเปลี่ยนแปลงจะแปรตามความแรงของตัวกระตุ้น
Gap junction	โครงสร้างของเซลล์ที่เกิดจากโปรตีน มีลักษณะเป็นช่องเชื่อมต่อไซโทพลาซึมของเซลล์ที่อยู่ติดกัน ทำให้ไอออนและสารโมเลกุลเล็กสามารถไหลผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้
Graded potential	การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้ประจุสุทธิของเซลล์แตกต่างจากเซลล์ในระยะพัก โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ภายหลังการเปลี่ยนแปลง จะแปรตามความแรงของตัวกระตุ้น

Inhibitory postsynaptic potential	ศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของ postsynaptic cell เมื่อได้รับสัญญาณจาก presynaptic cell แล้วทำให้มีประจุสุทธิเป็นลบมากขึ้นเมื่อเทียบกับเซลล์ประสาทในระยะพัก โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ภายหลังการเปลี่ยนแปลงจะแปรตามความแรงของตัวกระตุ้น
Ion channel	ช่องบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ที่เป็นทางผ่านเข้า-ออกเซลล์ของไอออน โดยทั่วไปมีความจำเพาะกับชนิดของไอออนที่ผ่านเข้า-ออก
Neurotransmitter	สารสื่อประสาท หรือ สารส่งผ่านประสาท หมายถึงสารเคมีที่ presynaptic cell ใช้ติดต่อกับ postsynaptic cell ผ่านทาง synapse
Postsynaptic cell	เซลล์ประสาทที่รับสัญญาณกระแสประสาทจาก synapse
Presynaptic cell	เซลล์ประสาทที่นำสัญญาณกระแสประสาทมายัง synapse
Receptor	โครงสร้างที่ผิวเยื่อเซลล์ หรือ ภายในเซลล์เป้าหมาย ทำหน้าที่จับอย่างจำเพาะกับสัญญาณสารเคมีแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงภายในเซลล์เป้าหมายนั้น ๆ
Synapse	จุดเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาทสองเซลล์ ที่ช่วยให้การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์หนึ่งมีผลกระทบต่อศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของอีกเซลล์หนึ่ง
All-or-none	คำคุณศัพท์แสดงการเปลี่ยนแปลงที่เกิดภายใต้เงื่อนไขที่ว่า ถ้าเกิดก็จะเกิดสูงสุด หรือ ไม่เกิดเลย
Continuous conduction	การนำกระแสประสาทอย่างต่อเนื่องไปตาม axon ชนิดที่ไม่มี myelin sheath หุ้ม เนื่องจาก action potential ที่เกิดบนเยื่อเซลล์ทำให้เยื่อเซลล์ตำแหน่งใกล้เคียงเกิด depolarization ถึง threshold และเกิดเป็น action potential ต่อเนื่องกันไปเป็นลำดับ
Functional unit	หน่วยทำงานของระบบใดระบบหนึ่ง เช่น เซลล์เป็นหน่วยทำงานของสิ่งมีชีวิต หรือ ในที่นี้หมายถึงเซลล์ประสาทเป็นหน่วยทำงานของระบบ

	ประสาท
Graded potential	การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ของเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อ ทำให้ประจุสุทธิของเซลล์แตกต่างจากเซลล์ในระยะพัก โดยค่าศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ภายหลังการเปลี่ยนแปลง จะแปรตามความแรงของตัวกระตุ้น
Membrane potential	ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ ซึ่งเป็นสมบัติพื้นฐานของเซลล์ทุกชนิดในร่างกายของสัตว์
Myelin sheath	ชั้นของเยื่อเซลล์ที่พันรอบ axon แล้วปิดกั้นการแลกเปลี่ยนสารระหว่าง axon ของเซลล์ประสาทกับของเหลวภายนอกเซลล์ เซลล์ที่สามารถดัดแปลงโครงสร้างให้เป็น myelin sheath ได้ คือเซลล์ในเนื้อเยื่อประสาทที่ทำหน้าที่ช่วยการทำงานของเซลล์ประสาท เช่น Schwann cell และ oligodendrocyte
Neuron	เซลล์ประสาท หรือ เซลล์ในระบบประสาทที่สามารถเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าเยื่อเซลล์ และทำหน้าที่จำเพาะในการสร้างและส่งกระแสประสาท
Node of Ranvier	Axon บริเวณที่เป็นรอยต่อระหว่าง myelin sheath จึงมีเยื่อเซลล์สัมผัสกับของเหลวภายนอกเซลล์ และสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนสารระหว่างภายใน axon กับของเหลวภายนอกเซลล์ได้
Resting membrane potential	ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ในสภาวะที่ไม่มีปัจจัยภายนอกมากระตุ้น โดยทั่วไปใช้กับเซลล์ประสาทและเซลล์กล้ามเนื้อ
Saltatory conduction	การนำกระแสประสาทแบบกระโดดไปตาม axon ที่มี myelin sheath หุ้ม เนื่องจากเกิด action potential ได้เฉพาะบริเวณรอยต่อของ myelin sheath หรือ node of Ranvier ซึ่งเป็นบริเวณที่สัมผัสกับของเหลวภายนอกเซลล์ และมี ion channel หนาแน่น