

# Concept 14-1

เนื้อหา: บทนำ

การรับรู้และการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของโพรโตซัวและสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังบางชนิด  
เซลล์ประสาท

การทำงานของเซลล์ประสาท

ก. การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในเซลล์ประสาท

ข. การถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง

1. สิ่งมีชีวิตทุกชนิดสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ (โดยเฉพาะคนและสัตว์ ชัดเจนที่สุด)
2. โครงสร้างและการทำงานของระบบประสาทจะแตกต่างกันไปในสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิด

อะมีบา	รับรู้และตอบสนองโดย protoplasm (ไม่มีโครงสร้างเกี่ยวกับระบบประสาท)
พารามีเซียม (โพรโตซัว; เซลล์เดียว)	ไม่มีเซลล์ประสาทและเส้นประสาท ใช้เส้นใยประสานงาน (coordinating fiber; contractile fibril; nerve fibril $\Rightarrow$ Neuromotor system) เชื่อม โคนซิเลีย ควบคุมการพัดโบก
ฟองน้ำ	ไม่มีระบบประสาท
ไฮดรา	เริ่มมีระบบประสาท (ที่มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด) = มีเซลล์ประสาท ใช้ร่างแหประสาท (nerve net; neuron network) (เซลล์ประสาทเชื่อมโยกัน) <ul style="list-style-type: none"> <li>• ไม่มีปมประสาท dendrite และ axon และ synapse</li> <li>• I เคลื่อนที่ไปทุกส่วน (ตอบสนองต่อสิ่งเร้าทั้งตัว) ของร่างกายซ้ำ ๆ <math>\Rightarrow</math> ไม่มีการกำหนดทิศ</li> </ul>
สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง พวก พลานาเรีย แมลง กุ้ง ปู ไส้เดือนดิน	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตอบสนองเฉพาะส่วน</li> <li>• ventral nerve cord (เส้นประสาททางด้านท้อง) 2 เส้น เป็นแท่งตัน (คล้ายแท่งวุ้น)  <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ ไส้เดือนดิน ชิดกันมาก, mollusca ไม่มี ventral nerve cord</li> </ul> </li> <li>• มีปมประสาท (nerve ganglion) (เป็นคู่; <math>\geq 1</math> คู่) (เริ่มมีในพลานาเรีย เป็นศูนย์รวมของระบบประสาท (ถ้าอยู่บริเวณหัว อาจเรียกสมอง) <ul style="list-style-type: none"> <li>• platyhelminthes : พลานาเรีย <math>\Rightarrow</math> หัว 2 ปม ใกล้เคียง eye spot</li> <li>• annelid : ไส้เดือนดิน, arthropod : แมลง, mollusk : หอย <math>\Rightarrow</math> ปมประสาทใหญ่หลายปม  <ul style="list-style-type: none"> <li>◇ แมลง, ไส้เดือนดิน มี segmental ganglion</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>◇ Ladder-type system (ระบบประสาทแบบขั้นบันได) ของพลานาเรีย มี transverse nerve เชื่อม ventral nerve cord ซึ่งแยกกันตั้งแต่ปมประสาท</li> </ul>
echinodermata : ปลาดาว	ระบบประสาทวงแหวน (nerve ring) รอบ ๆ ปาก มีแขนงแยกออกไปตามแฉกทั้ง 5 แฉกรัศมี, ไม่มีปมประสาท
สัตว์มีกระดูกสันหลัง	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ระบบประสาทประกอบด้วย brain + spinal cord มีหน่วยย่อยที่สำคัญคือ เซลล์ประสาท</li> <li>• dorsal nerve cord (เส้นประสาททางด้านหลัง) อยู่ในช่องของกระดูกสันหลัง (neural canal) 1 เส้น เป็นท่อกลวง ภายในมีเส้นประสาททอดตามยาว</li> </ul>

## CONCEPT 14-1

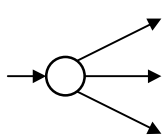
- ร่างประสาทในสัตว์มีกระดูกสันหลัง  $\Rightarrow$  พบที่ผนังลำไส้ ควบคุมเพอริสทอลซิส
- ◇ แมลง เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่มีการพัฒนาของระบบประสาทสูงที่สุด
- 1. เซลล์ประสาท (neuron, nerve cell)  $\Rightarrow$  หน่วยที่เล็กที่สุดของระบบประสาทที่สามารถทำงานได้  $\Rightarrow$  คนมีหมื่นล้านเซลล์ (ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการรับรู้และการตอบสนอง), เกิดจาก ectoderm
  - ◇ แต่ละเซลล์อาจจะมีการเชื่อมโยงเกี่ยวพันกับเซลล์ประสาทอื่น ๆ เป็นพัน ๆ เซลล์, ทุกชนิดมีหน้าที่นำกระแสประสาท, ทุกส่วนมีสมบัติเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า, ไม่มี regeneration (CNS), มี interphase ยาว
  - ◇ ลักษณะพิเศษของเซลล์ประสาท  $\Rightarrow$  Nissl substance (RER + ribosome)  $\Rightarrow$  พบใน perikarya และ ที่ส่วนต้นของ dendrite
- 2. โครงสร้างของเซลล์ประสาท

ตัวเซลล์ : cell body, soma, perikaryon	<ul style="list-style-type: none"> <li>● nucleus (ตรงกลางเซลล์, รูปกลม/ไข่, มี nucleolus) + neuroplasm (cytoplasm)</li> <li>● <math>\phi \Rightarrow 4 - 25 \mu\text{m}</math></li> </ul>		
ใยประสาท : nerve fiber, neurite $\Rightarrow$ ส่วนของเซลล์ที่ยื่นออกจากตัวเซลล์ มีลักษณะเป็นแขนงเล็ก ๆ	<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; text-align: center;">                             dendrite (เดนไดรต์-เข้า)                              แดกกิ่งก้านมาก, 1 ใย/เซลล์ ขึ้นไป, <math>\phi</math> ไม่เท่ากันตลอด, ปล่อยสารสื่อประสาทไม่ได้                         </td> <td style="width: 50%; border: none; text-align: center;">                             axon (แอกซอน-ออก)                              มักไม่มีกิ่ง ถ้ามี แยกฉาก, 1 ใย/เซลล์ เท่านั้น, <math>\phi</math> เท่ากันตลอด, ปลายพอง เป็น synaptic knob (ปุ่มไซแนปส์) ภายใน cytoplasm มี synaptic vesicle (ถุง) บรรจุ สารสื่อประสาท (neurotransmitter)                         </td> </tr> </table>	dendrite (เดนไดรต์-เข้า) แดกกิ่งก้านมาก, 1 ใย/เซลล์ ขึ้นไป, $\phi$ ไม่เท่ากันตลอด, ปล่อยสารสื่อประสาทไม่ได้	axon (แอกซอน-ออก) มักไม่มีกิ่ง ถ้ามี แยกฉาก, 1 ใย/เซลล์ เท่านั้น, $\phi$ เท่ากันตลอด, ปลายพอง เป็น synaptic knob (ปุ่มไซแนปส์) ภายใน cytoplasm มี synaptic vesicle (ถุง) บรรจุ สารสื่อประสาท (neurotransmitter)
dendrite (เดนไดรต์-เข้า) แดกกิ่งก้านมาก, 1 ใย/เซลล์ ขึ้นไป, $\phi$ ไม่เท่ากันตลอด, ปล่อยสารสื่อประสาทไม่ได้	axon (แอกซอน-ออก) มักไม่มีกิ่ง ถ้ามี แยกฉาก, 1 ใย/เซลล์ เท่านั้น, $\phi$ เท่ากันตลอด, ปลายพอง เป็น synaptic knob (ปุ่มไซแนปส์) ภายใน cytoplasm มี synaptic vesicle (ถุง) บรรจุ สารสื่อประสาท (neurotransmitter)		

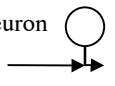
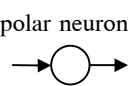
- ภายใน cytoplasm ของ axon มี mitochondria จำนวนมาก (ให้พลังงานในการส่ง I)
- ◇ neuroglia  $\Rightarrow$  เซลล์ที่อยู่ระหว่างเซลล์ประสาท ครอบคลุมเกือบทุก surface ของเซลล์ประสาท  $\Rightarrow$  สร้าง ms หุ้ม axon, ฯลฯ
- 1. myelin sheath  $\Rightarrow$  cell membrane ของ schwann cell ใน PNS , cell membrane ของ oligodendrocyte ใน CNS
  - ไขมัน (phospholipid), ฉนวน, ไม่มีการแลกเปลี่ยนไอออน, หุ้ม axon ที่มีขนาดยาว
  - ◇ ใน pNS schwann cell 1 ตัว หุ้มได้ 1 axon, ใน CNS oligodendrocyte 1 ตัว ให้ myelin หุ้ม axon ได้  $>1$  ตัว
  - embryo เซลล์ประสาทยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ ใยประสาทเส้นที่ยาว ๆ ยังไม่มี ms หุ้ม
- 2. node of Ranvier  $\Rightarrow$  บริเวณรอยต่อของเซลล์ชวานแต่ละเซลล์, ระยะห่าง 200-2000  $\mu\text{m} \Rightarrow$  ไม่มี ms

เซลล์ประสาทที่ไม่มี ms หุ้ม : non-myelinated neuron	เซลล์ประสาทที่มี ms หุ้ม : myelinated neuron
schwann cell หุ้มเพียงรอบเดียว, core conduction (I ต่อเนื่อง), 12 m/s, สีเทา ๆ	ส่วนใหญ่ในระบบประสาทของคน, saltatory/hopping conduction (I กระโดด noR $\rightarrow$ noR), 120 m/s, สีขาวแกมเหลือง (white fiber)

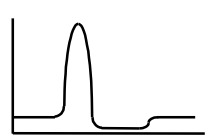
1. type of neuron
  - 1.1. จำแนกตามโครงสร้าง (จำนวนใยประสาทที่ยื่นออกจาก cell body)  $\Rightarrow$  uni, bi และ multi
  - 1.2. จำแนกตามหน้าที่  $\Rightarrow$  รับความรู้สึก, สั่งการ และ ประสานงาน

เซลล์ประสาทรับความรู้สึก sensory neuron, afferent neuron	เซลล์ประสาทหลายขั้ว multipolar neuron 
---	--

## CONCEPT 14-1

<ul style="list-style-type: none"> <li>• uni &gt; bi</li> <li>• มักเป็นเซลล์ประสาทขนาดเล็ก</li> <li>• ตัวเซลล์อยู่ที่สมองและปมประสาท</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a ยาวกว่า d</li> <li>• ระบบประสาทของคนเราประกอบด้วยเซลล์ประสาทหลายชิ้นมากที่สุด</li> </ul>		
เซลล์ประสาทขั้วเดียว unipolar neuron 	เซลล์ประสาทสองขั้ว bipolar neuron 	เซลล์ประสาทสั่งการ, นำคำสั่ง motor neuron, efferent neuron	เซลล์ประสาทประสานงาน association neuron, interneuron
<ul style="list-style-type: none"> <li>• d มักยาวกว่า a</li> <li>• ในสัตว์ชั้นสูง พบที่ dorsal root ganglion of spinal cord</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• d และ a ยาวใกล้เคียงกัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• มีใยประสาทยาวที่สุด (ใย axon)</li> <li>• ตัวเซลล์อยู่ที่สมองและไขสันหลัง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ตัวเซลล์และใยประสาทอยู่ที่สมองและไขสันหลัง</li> </ul>

- ใยประสาทของ เซลล์ประสาทรับความรู้สึก และ เซลล์ประสาทสั่งการ อยู่รวมกันเป็นมัด, มัดใยประสาทหลาย ๆ มัด รวมกันเป็นเส้นประสาท (nerve)
  - มัดของใย axon หลายมัดรวมกัน เป็นเส้นประสาทสมองเท่านั้น
  - มัดของใย dendrite หลายมัดรวมกัน เป็นเส้นประสาทสมองเท่านั้น
  - มัดของใย dendrite และ มัดของใย axon รวมกันหลายมัด เป็น เส้นประสาทสมองหรือเส้นประสาทไขสันหลัง
  - มีปมประสาทอยู่บนเส้นประสาท เป็นเส้นประสาทของ ANS
- หน่วยปฏิบัติงาน (effector)  $\Rightarrow$  กล้ามเนื้อ (ยึดกระดูก) หรือ ต่อม
- การทดลองของ ฮอดจกิน (A.L. Hodgkin) และ ฮักซเลย์ (A.F.Huxley)  $\Rightarrow$  ใช้ 2 microelectrode อันหนึ่งสอดปลายเข้าไปใน axon ของหมึก  $\phi$  ประมาณ 1 mm อีกอันแตะอยู่ที่ผิวของ axon ปลายอีกด้านของทั้ง 2 อัน ต่ออยู่กับเครื่องวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (cathode ray oscilloscope : CRO)
- การเกิดกระแสประสาท (nerve impulse, action potential)

polarization, resting state $\Rightarrow$ สภาพปกติ หรือ ขณะพัก 	ไม่มี I <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Na}^+\text{-K}^+</math> pump <math>\Rightarrow</math> active transport (ใช้ ATP) <math>\Rightarrow</math> ขับ <math>\text{Na}^+</math>, ดึง <math>\text{K}^+</math> <math>\Rightarrow</math> ภายนอกเซลล์ <math>\text{Na}^+</math> (<math>\text{Cl}^-</math>) สูง เป็น +, ภายใน <math>\text{K}^+</math> สูง (+ organic anion) เป็น - <math>\Rightarrow</math> ความต่างศักย์ (potential difference) ในนอก -60 mV (resting membrane potential, resting potential) (วัดโดย EEG : electroencephalogram)</li> <li>• ภายในเป็น - เพราะ มี anion (โปรตีน และ กรดนิวคลีอิก) ประจุลบ และขนาดใหญ่ ผ่านออกไปนอกเซลล์ไม่ได้</li> </ul> $\diamond$ เอนไซม์ $\text{Na}^+\text{-K}^+$ activated ATPase ทำให้ ATP แตกตัว ได้พลังงานไปใช้ใน $\text{Na}^+\text{-K}^+$ pump
---	--

## CONCEPT 14-1

depolarization	<p>มีสิ่งเร้ามากระตุ้นแรงถึงระดับที่ตอบสนองได้ (threshold level)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\text{Na}^+\text{-K}^+</math> pump หยุดชั่วคราว, <math>\text{Na}^+</math> แพร่เข้า (<math>\frac{1}{1000}</math> วินาที) <math>\Rightarrow</math> ใน + นอก -, ความต่างศักย์ +60 mV (action potential : ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีขนาดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเพิ่มค่าความเข้มของตัวกระตุ้น)</li> <li>• all or none rule (ไม่เกิดถ้าสิ่งเร้าไม่แรงถึงระดับ และเมื่อเกิดแล้ว จะเกิดในอัตราสม่ำเสมอ ไม่สูญหาย), สิ่งเร้าแรงมาก ๆ ไม่ทำให้ I เร็วขึ้น (การเกิดและการเคลื่อนที่ของ I อาศัยพลังงานจาก metabolism ของเซลล์ประสาทโดยตรง ไม่ได้อาศัยพลังงานจากสิ่งเร้า)</li> <li>• แม้ว่า I แต่ละระลอกภายในเซลล์ประสาทแต่ละชนิด มี v คงที่ก็ตาม แต่อาจแตกต่างกันในด้าน f, ระยะเวลาของการกระตุ้น, จำนวนและชนิดของหน่วยรับความรู้สึก ตลอดจนศูนย์รับความรู้สึกในสมอง ซึ่งช่วยให้รับรู้ชนิดของสิ่งเร้า</li> </ul>
repolarization	<p><math>\text{Na}^+</math> หยุดแพร่เข้า (จุดเริ่มต้นของ repolarization), <math>\text{K}^+</math> แพร่ออก (<math>\frac{2}{1000}</math> วินาที) จนเท่ากับ <math>\text{Na}^+</math> ที่แพร่เข้า <math>\Rightarrow</math> ใน - นอก +</p>
polarization	<p><math>\text{Na}^+\text{-K}^+</math> pump</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ถ้าไม่มีการนำ <math>\text{Na}^+</math> และ <math>\text{K}^+</math> กลับที่ดั้งเดิม โยประสาทก็จะไม่สามารถทำหน้าที่นำกระแสประสาทได้อีก <math>\Rightarrow</math> refractory state (ระยะดื้อ)</li> </ul>

1. ความเร็วของ I ขึ้นอยู่กับ 1) มีms (ปัจจัยสำคัญที่สุด) 2) ระยะห่าง noR มาก 3)  $\Phi$  มาก (ความต้านทานต่ำลง)
2. ไชแนปส์ : synapse  $\Rightarrow$  บริเวณที่ ปลาย axon ของเซลล์ประสาทเซลล์หนึ่ง อยู่ติดกับ dendrite, cell body(, axon) ของเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง (หรือติดกับ effector) (จะเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์  $e^-$  เท่านั้น)
3. synaptic cleft (ช่องไซแนปส์)  $\Rightarrow$  บริเวณร่องรอยต่อระหว่างเซลล์ประสาท
4. การถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์ประสาทหนึ่งไปยังเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง ผ่าน synapse
  - 4.1. chemical synapse
  - 4.2. electrical synapse  $\Rightarrow$  ถ่ายทอดในรูปกระแสไฟฟ้าผ่านโดยตรง  $\Rightarrow$  เกิดเมื่อบริเวณ synapse มีระยะแคบมาก
5. chemical synapse
  - 5.1. synaptic vesicle ที่ปลาย axon ของ presynaptic neuron รวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ ปล่อย สารสื่อประสาท (neurotransmitter, neurohumor) ออกมาทั่ว synaptic cleft (ช่อง synapse)
  - 5.2. สารสื่อประสาทรวมตัวกับ receptor ที่ dendrite ของ post synaptic neuron เกิด depolar. และ I
  - 5.3. ปลาย axon ของ presynaptic neuron ปล่อย เอนไซม์ สลาย สารสื่อประสาท (ไม่ออกสู่กระแสโลหิต) ได้สารที่ไม่มีคุณสมบัติเป็นสารสื่อประสาทอีก อาจถูกนำกลับไปสร้างสารสื่อประสาทใหม่ หรือ เข้าสู่ระบบหมุนเวียนเลือดเพื่อกำจัดออก
    - dendrite จึงถูกกระตุ้นเฉพาะเวลาที่ axon ปล่อยสารสื่อประสาทออกมาเท่านั้น
    - acetylcholine  $\xrightarrow{\text{cholinesterase}}$  acetic acid + choline
6. สารสื่อประสาท (สร้างจาก synaptic knob แล้ว เก็บไว้ใน synaptic vesicle; เป็น neurohormone)  $\Rightarrow$  acetylcholine, noradrenalin (เป็นทั้งสารสื่อประสาทและฮอร์โมนประสาท), epinephrine, norepinephrine, endorphine, serotonin, dopamin

## CONCEPT 14-1

7. ปลายของ dendrite ไม่มีการผลิตสารสื่อประสาท  $\Rightarrow$  ช่วยให้การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทข้ามเซลล์ มีทิศทางที่แน่นอนไปทางเดียว (คือจาก axon ไปยัง dendrite ของเซลล์ประสาทถัดไป) ถ้าไม่มี synapse กระแสประสาทอาจเคลื่อนที่ย้อนทิศได้ (synapse เป็นตัวกำหนดทิศทางของกระแสประสาทในวงจรประสาท)
8. สารที่มีผลต่อการถ่ายทอด I ที่ synapse

สารพิษจาก bac. $\rightarrow$ อาหารเป็นพิษ	ยับยั้ง axon ไม่ให้ปล่อยสารสื่อประสาท $\rightarrow$ กล้ามเนื้อไม่หดตัว $\rightarrow$ อัมพาต
ยาระงับประสาท	สารสื่อประสาทปล่อยออกมาน้อย $\rightarrow$ I ส่งไปยังสมองน้อย $\rightarrow$ สงบ ไม่วิตกกังวล
สารนิโคติน คาเฟอีน แอมเฟตามีน	กระตุ้น axon ให้ปล่อยสารสื่อประสาทออกมามาก $\rightarrow$ ตื่นตัว หัวใจเต้นเร็ว (กระตุ้นประสาทซิมพาเทติก)
ยาฆ่าแมลงบางชนิด, ยานอนงของคนป่าที่ใช้ล่าสัตว์	ยับยั้งเอนไซม์สลายสารสื่อประสาท เช่น จับกับ cholinesterase $\rightarrow$ acetylcholine ไม่ถูกทำลาย $\rightarrow$ หน่วยปฏิบัติงานถูกกระตุ้นตลอดเวลา $\rightarrow$ ชักกระตุก $\rightarrow$ อัมพาต